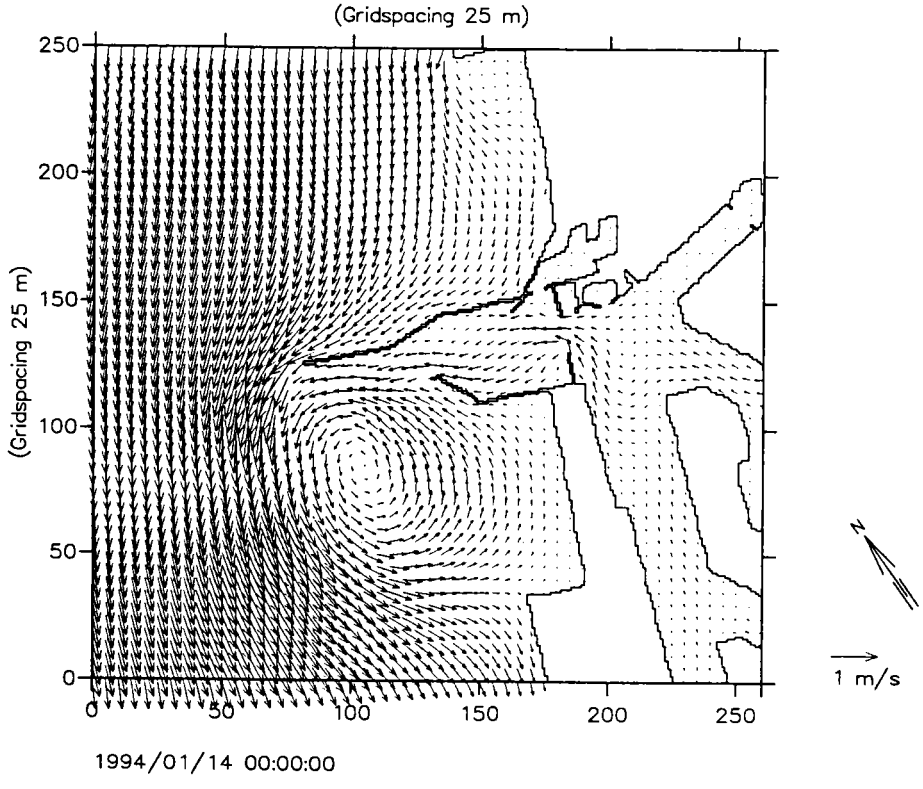
專刊第 148 號

台中港港口段航道設置減風設施可行性研究



委託單位：台灣省政府交通處台中港務局

承辦單位：台灣省政府交通處港灣技術研究所

中華民國 八十六 年 六 月

台中港港口段航道設置減風設施可行性研究

執行單位：數學模式組

計畫主持人：莊文傑　副研究員

共同主持人：陳明宗　副研究員

參與人員：江中權　助理研究員

陳毓清　技工

行政督導：張金機　所長

蘇青和　研究員兼組長（數學模式組）

王慶福　研究員兼組長（規劃設計組）

委託單位：台灣省政府交通處台中港務局

承辦單位：台灣省政府交通處港灣技術研究所

協辦單位：國立台灣海洋大學操船模擬機室

鼎興工程顧問股份有限公司

中華民國 八十六 年 六 月

台中港港口段航道設置減風設施可行性研究

目　錄

頁次

英文摘要 v
表目錄 vii
圖目錄 x
前言 0-1
壹、 計畫背景 0-1
貳、 研究性質與項目 0-1
參、 大型船舶之界定 0-3
肆、 工作流程與預期研究目標 0-3
第一章 報告摘要及結論與建議 1-1
1-1 報告摘要 1-1
1-2 結論與建議 1-7
第二章 港口段航道現況之基本資料 2-1
2-1 航道現況資料蒐集及分析 2-1
2-1-1 航道水深及寬度 2-1
2-1-2 航道長度 2-1
2-1-3 導航及通信設施 2-2
2-2 海、氣象資料蒐集及分析 2-2
2-2-1 氣象 2-2
2-2-2 海象 2-4
2-3 目前進泊船隻噸位、船型資料蒐集及分析 2-9
2-3-1 台中港歷年進港船舶噸級 2-10
2-3-2 台中港歷年進港船舶種類 2-10
2-3-3 台中港各類船舶進港分佈現況 2-10
2-4 目標對象大型船舶 2-11
第三章 船舶進出港障礙探討 3-1
3-1 風力 3-1
3-2 波浪 3-2
3-3 海流 3-3
3-4 漁船干擾 3-4
3-5 港口段航道之限制 3-4

3-6 領港登輪 3-6
3-6-1 台中港船舶接引領港作業規定摘要 3-6
3-6-2 惡劣海況之領港登輪方式 3-6
3-7 拖船 3-9
3-8 導航設施 3-9
第四章 台中港港口波浪與海流數值模擬 **4-1**
4-1 概述 4-1
4-2 台中港海象調查回顧 4-1
4-2-1 波浪調查回顧 4-1
4-2-2 海流調查回顧 4-1
4-3 台中港海流數值模擬計算回顧 4-9
4-4 台中港現況波浪與海流數值模擬 4-10
4-5 近岸波浪數值模擬 4-11
4-5-1 近岸波浪模式 4-11
4-5-2 模式建立與計算限制 4-12
4-5-3 參數與邊界條件設定 4-13
4-5-4 計算範圍配置與條件 4-15
4-5-5 近岸波浪計算結果及驗證 4-15
4-6 港口靜穩度數值模擬 4-16
4-6-1 港口靜穩度計算模式 4-16
4-6-2 模式建立與計算限制 4-18
4-6-3 參數與邊界條件設定 4-18
4-6-4 計算範圍配置與條件 4-19
4-6-5 港口遮蔽計算結果及驗證 4-20
4-7 海流數值模擬 4-21
4-7-1 海流計算模式 4-21
4-7-2 模式建立與計算限制 4-23
4-7-3 參數設定 4-23
4-7-4 計算範圍 4-24
4-7-5 邊界條件 4-25
4-7-6 潮汐特性比較 4-25
4-7-7 計算條件 4-27
4-7-8 大域網格潮流模擬結果與驗證 4-27
4-7-9 小域網格潮流之模擬結果 4-28
4-7-10 局部區域網格潮流模擬結果 4-28

4-7-11 局部區域網格潮流模擬驗證 4-29
4-7-12 局部區域網格季風與潮汐影響之海流模擬 4-30
4-7-13 台中港季風期海流模擬驗證 4-31
第五章 操船模擬 5-1
5-1 引言 5-1
5-2 操船目標 5-1
5-3 操船內容及方式 5-2
5-4 台中港船舶進出港航行現況 5-2
5-4-1 地理位置及配置 5-2
5-4-2 錨地與分道航行制 5-3
5-4-3 台中港船舶之進港 5-3
5-4-4 台中港船舶之出港 5-4
5-5 操船模擬設備概述 5-5
5-6 台中港海域環境條件 5-7
5-7 操船模擬環境設定 5-7
5-7-1 水深 5-7
5-7-2 風速與風向 5-8
5-7-3 波浪 5-8
5-7-4 海流 5-8
5-8 操船模擬之進港方式與航向 5-9
5-9 接領港之操航計劃與資料分析依據 5-10
5-10 操船模擬結果及分析 5-10
5-10-1 接領港後直接進港之模擬結果 5-10
5-10-2 接領港後直接進港之模擬結果分析 5-11
5-10-3 領港登輪位置調整建議 5-13
5-10-4 船舶直接進出港之操船與結果 5-13
5-10-5 船舶直接進出港操船資料之分析 5-15
5-10-6 船舶直接進出港90度航向之安全評估 5-16
5-10-7 船舶直接進出港60度航向之安全評估 5-19
5-10-8 起始航向差異之操航評估比較 5-22
5-10-9 出港操船模擬 5-23
5-10-10 操船模擬失敗個案分析 5-24
5-10-11 操船模擬結論與建議 5-27
第六章 減風設施可行性研究 6-1
6-1 港口段風力條件分析 6-1

6-2 風力對船航行與靠泊之影響 6-1
6-3 操航之安全風力限制 6-2
6-4 國內外減風設施研究與案例 6-2
6-4-1 減風設施型式之試驗研究 6-2
6-4-2 減風設施風洞試驗研究 6-3
6-4-3 減風設施實設案例 6-5
6-5 港口及航道之減風目標研擬 6-7
6-6 減風設施之型式研擬 6-8
6-7 減風設施規劃 6-9
6-7-1 減風設施佈置方案 6-9
6-7-2 減風設施之長度 6-9
6-7-3 減風設施高度研擬 6-10
6-7-4 設計參數之選定 6-11
6-7-5 減風設施初步設計 6-14
6-7-6 經費概估 6-16
6-8 減風設施之成本效益及可行性評估 6-16
第七章 港口段航道設施改善對策研究 **7-1**
7-1 改善對策研擬 7-1
7-1-1 風速影響之改善對策 7-1
7-1-2 波浪影響之改善對策 7-2
7-1-3 水流影響之改善對策 7-3
7-1-4 其他改善對策 7-4
7-2 改善對策之方案研擬與規劃 7-6
7-3 改善對策方案之評估與比較 7-8
7-3-1 近程改善方案評估與比較 7-8
7-3-2 遠程改善方案評估與比較 7-9
7-4 綜合評估與建議 7-10
參考文獻
附　　錄 「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」相關座談會、審查會會議紀錄與意見辦理情形、答覆及說明

Accessment Study of Setting Wind Break Facility along Navigation Channel of Port of Taichung

ABSTRACT

To ensure the large scale ships such as 3,000TEU vessels and 60,000 DWT bulkers safely enter the Taichung port, series study such as tidal analys, waves and currents simulation, ship manoeuvring simulation and wind reduction facility settled assessment had been carried out. Potentially emerged troubles and obstacles which the large scale ships might be encounted during port entrance approaching and passthrough were explored. Many conclusions were arrived and listed as following:

1. Due to large tidal range and strong monsson wind blowing, there is strong and large scale circulation exist around the lee sea area of north outer breakwater.
2. Synthetic affects from strong winds, waves and currents will challenge the ship handling skill of the captain to retain the steady ship course and introduce difficulties for pilot people on board.
3. Effects of monsoon wind, most frequently come from NNE, and currents exist at the entrance between the north and south inner breakwater always cause in-port ship deflect to north part of main navigation channel line where ship accidents may happen.
4. To enhance and raise port accessibility all times, re-elongating the outer north breakwater 713 meters and dismantling the inner south breakwater 50 meters are the best fundamental solutions.
5. When sea and weather condition are severe, the manner of in-port ship approach to port entrance must be split into two step, for the first approaching, the in-port ship need to pick up pilots then make a U-turn and sail to sea; for the second approaching, under the instruction of local pilots, the in-port ship can directly using high speed to pass through the outer entrance. To slow down the ship speed and prevent ship deflect to north part of inner entrance, tug boat must get ready and prepare to tug or push on ship side in the outer entrance. Moreover, real time information of currents, wind and waves also need to be fully

supplemented such that ship related operators can make correctly decisions and raising the efficiency of team work.

6. The benefit-cost ratio is too low to construct the wind reduction facilities in present stage.

表 目 錄

表2-2-1 台中港既有風力測站資料 2-12
表2-2-2 台中港北堤測站夏季風速風向分佈統計表 2-13
表2-2-3 台中港北堤測站冬季風速風向分佈統計表 2-14
表2-2-4 台中港風速大於22m/sec發生次數及所佔百分比 2-15
表2-2-5 台中港北堤測站風力吹風延時機率統計表 2-16
表2-2-6 中央氣象局梧棲測站霧日統計表 2-17
表2-2-7 中央氣象局梧棲測站降雨日數統計表 2-17
表2-2-8 中央氣象局梧棲測站降水量統計表(1976～1990) 2-17
表2-2-9 民前15年(1897年)至民國79年(1990年)颱風侵襲台灣各月次數 ... 2-18
表2-2-10 1994年1月～3月於台中港觀測之潮波波高及週期分佈分月統計量 2-19
表2-2-11 台中港各月波向統計 2-20
表2-3-1 台中港歷年輪船進港噸級分佈 2-21
表2-3-2 台中港歷年輪船進港種類及艘次 2-21
表2-3-3 民國83年台中港各類貨輪進港船型 2-22
表2-3-4 民國83年台中港各類貨輪進港船噸分佈 2-22
表2-3-5 民國83年台中港各類貨輪進港船長分佈 2-23
表2-4-1 貨櫃輪之規格 2-24
表2-4-2 大型煤輪之規格 2-24
表2-4-3 對象大型船舶航道寬深需求與台中港港口段航道現況比較 2-25
表3-6-1 地面風力及蒲福風級表 3-15
表3-6-2 台中港務局舊有領港船性能一覽表 3-16
表3-6-3 台中港務局現有領港船性能一覽表 3-16
表3-6-4 台中港民國83年領港船使用情形統計表 3-17
表3-7-1 台中港現有營運拖船性能一覽表 3-18
表4-7-1 芳苑驗潮站60個分潮之調和常數表 4-32
表4-7-2 台中港驗潮站39個分潮之調和常數表 4-33
表4-7-3 新竹漁港驗潮站25個分潮之調和常數表 4-34
表5-10-1a 60,000噸級散裝船之本船特性資料 5-30
表5-10-1b 3000TEU級貨櫃輪之本船特性資料 5-31
表5-10-1c 4000TEU級貨櫃輪之本船特性資料 5-32
表5-10-2 領港登輪模擬之操船結果分析 5-33
表5-10-3 進港航向90度之航跡與基準線之平均(公尺)
(外海部份:依船舶類型之差異作分析) 5-34

表5-10-4 進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(外海部份:貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析) 5-35
表5-10-5 進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(主航道部份:依船舶類型之差異作分析) 5-36
表5-10-6 進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(主航道部份:貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析) 5-37
表5-10-7 進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(外海部份:依船舶類型之差異作分析) 5-38
表5-10-8 進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(外海部份:貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析) 5-39
表5-10-9 進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(主航道部份:依船舶類型之差異作分析) 5-40
表5-10-10 進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(主航道部份:貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異
作分析) 5-41
表5-10-11 進港船舶之航跡與基準線之平均距離
(外海部份:依起始航向之差異作分析) 5-42
表5-10-12 進港船舶之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(外海部份:依各類型船舶依起始航向之差異作分析) 5-43
表5-10-13 進港船舶之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(外海部份:漲潮與退潮依起始航向之差異作分析) 5-44
表5-10-14 進港船舶之航跡與基準線之平均距離(公尺)
(主航道部份:依起始航向之差異分析) 5-45
表6-5-1 不同貨櫃船裝載水線上風壓中心計算表 6-18
表6-7-1 減風設施高度試算表 6-19
表6-7-2 減風設施所需高度 6-20
表6-7-3 減風牆寬度及間距計算表 6-20
表6-7-4 台中港颱風波浪推算結果 6-20
表6-7-5 台中港不同復現期之示性波高極端值 6-21
表6-7-6 台中港颱風波高包絡線推估值 6-21
表6-7-7 防波堤前之代表性波高 6-21
表6-7-8 台中港颱風週期包絡線推估值 6-21
表6-7-9 Cd & Cm 6-22
表6-7-10 波力計算 6-22
表6-7-11 流力計算 6-23

表6-7-12 擋風牆厚度計算 6-23
表6-7-13 N值估算 6-23
表6-7-14 承載力檢核 6-24
表6-7-15 樁長評估 6-24
表6-7-16 樁帽厚度計算 6-25
表6-7-17 減風設施數量概估 6-25
表6-7-18 減風設施經費概估 6-25
表6-7-19 減風設施主要尺寸,數量及經費概估 6-26
表7-1-1 各類型碼頭之風力限制 7-12
表7-1-2a ST.1波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國83年10月～民國84年3月） 7-13
表7-1-2b ST.1波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國84年10月～民國85年3月） 7-14
表7-1-2c ST.1波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國83年及84年之平均） 7-15
表7-1-3a ST.2波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國83年10月～民國84年3月） 7-16
表7-1-3b ST.2波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國84年10月～民國85年3月） 7-17
表7-1-3c ST.2波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國83年及84年之平均） 7-18
表7-1-4a ST.4波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國83年10月～民國84年3月） 7-19
表7-1-4b ST.4波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國84年10月～民國85年3月） 7-20
表7-1-4c ST.4波浪站全冬季各月份示性波高發生率
（民國83年及84年之平均） 7-21
表7-3-1 近程改善方案工程費估算 7-22
表7-3-2 遠程改善方案工程費估算 7-23

圖 目 錄

圖一 工作流程圖 0-4
圖2-1-1a 台中港海域水深圖 2-26
圖2-1-1b 台中港民國83年港口及航道水深圖 2-27
圖2-1-2 台中港港區平面配置圖 2-28
圖2-1-3 台中港進出港海圖 2-29
圖2-2-1 台中港既有風力測站位置示意圖 2-30
圖2-2-2 台中港北堤24M測站全年風玫瑰圖 2-31
圖2-2-3 台中港北堤測站逐時平均風速 2-32
圖2-2-4 台中港北堤測站夏季(4～9月)逐時風速超值機率 2-33
圖2-2-5 台中港北堤測站冬季(10月至翌年3月)逐時風速超值機率 2-34
圖2-2-6 中央氣象局梧棲測站霧日統計圖 2-35
圖2-2-7 中央氣象局梧棲測站降雨日數(>0.1mm)統計圖 2-36
圖2-2-8 中央氣象局梧棲測站降水量統計圖 2-37
圖2-2-9 侵台颱風路徑分類圖(1897-1990) 2-38
圖2-2-10 台中港港口擴建後海氣象調查研究儀器佈置示意圖 2-39
圖2-2-11 1994年1月～4月間於台中港潮位測站觀測之逐時潮位變化圖 2-40
圖2-2-12 1994年及1996年1月間之台中港逐時潮位變化圖 2-41
圖2-2-13 1994年1月～3月間於台中港潮位測站觀測之分月潮位能譜圖 2-42
圖2-2-14a 1995年7月於ST-1, ST-2,ST-4三站觀測之波浪($H_1/3$及$T_1/3$)逐時變化圖 2-43
圖2-2-14b 1995年8月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪($H_1/3$及$T_1/3$)逐時變化圖 2-43
圖2-2-15a 1995年8月於ST-4站觀測之示性波高($H_1/3$)統計方塊圖 2-44
圖2-2-15b 1995年8月於ST-4站觀測之示性週期($T_1/3$)統計方塊圖 2-44
圖2-2-16a 1995年1月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪($H_1/3$及$T_1/3$)逐時變化圖 2-45
圖2-2-16b 1995年2月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪($H_1/3$及$T_1/3$)逐時變化圖 2-45
圖2-2-17a 1995年1月於ST-2站觀測之示性波高($H_1/3$)統計方塊圖 2-46
圖2-2-17b 1995年1月於ST-2站觀測之示性週期($T_1/3$)統計方塊圖 2-46
圖2-2-18a 1994年1月於台中港觀測之風速及風向(指來向)逐時變化圖 2-47
圖2-2-18b 1994年1月於台中港觀測風速東西分量及南北分量逐時變化圖 2-47
圖2-2-19a 1995年6月於台中港觀測之風速及風向(指來向)逐時變化圖 2-48

圖2-2-19b 1995年6月於台中港觀測風速東西分量及南北分量逐時變化圖...2-48
圖2-2-20 台中港冬夏季波浪波高、週期分佈圖.....2-49
圖2-2-21(a) 台中港海氣象資料變化歷時圖(1994.12.1-15) 2-50
圖2-2-21(b) 台中港海氣象資料變化歷時圖(1994.12.16-31) 2-51
圖2-2-22 台中港示性波高、週期比值逐時分佈圖(1994.12) 2-52
圖2-2-23 台中港冬季主要實測流況分佈圖 2-53
圖2-2-24 台中港夏季主要實測流況分佈圖 2-53
圖2-2-25a 1994年12月於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖...2-54
圖2-2-25b 1994年12月於ST-1站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖2-54
圖2-2-25c ST-1站流速統計方塊圖.....2-55
圖2-2-25d ST-1站流向統計玫塊圖 2-55
圖2-2-25e 1994年12月於ST-1站觀測之流速東西分量統計方塊圖.....2-55
圖2-2-25f 1994年12月於ST-1站觀測之流速南北分量統計方塊圖.....2-55
圖2-2-25g 1994年12月於ST-1站觀測之海流向量進行圖 2-56
圖2-2-26a 1994年12月於ST-2站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖...2-57
圖2-2-26b 1994年12月於ST-2站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖2-57
圖2-2-26c ST-2站流速統計方塊圖.....2-58
圖2-2-26d ST-2站流向統計玫塊圖 2-58
圖2-2-26e 1994年12月於ST-2站觀測之流速東西分量統計方塊圖.....2-58
圖2-2-26f 1994年12月於ST-2站觀測之流速南北分量統計方塊圖 2-58
圖2-2-26g 1994年12月於ST-2站觀測之海流向量進行圖 2-59
圖2-2-27a 1994年12月於ST-4站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖...2-60
圖2-2-27b 1994年12月於ST-4站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖2-60
圖2-2-27c ST-4站流速統計方塊圖.....2-61
圖2-2-27d ST-4站流向統計玫塊圖 2-61
圖2-2-27e 1994年12月於ST-4站觀測之流速東西分量統計方塊圖.....2-61
圖2-2-27f 1994年12月於ST-4站觀測之流南北分量統計方塊圖.....2-61
圖2-2-27g 1994年12月於ST-4站觀測之海流向量進行圖 2-62
圖2-2-28a 1995年7月於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖....2-63
圖2-2-28b 1995年7月於ST-1站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖2-63
圖2-2-28c ST-1站流速統計方塊圖.....2-64
圖2-2-28d ST-1站流向統計玫塊圖 2-64
圖2-2-28e 1995年7月於ST-1站觀測之流速東西分量統計方塊圖.....2-64
圖2-2-28f 1995年7月於ST-1站觀測之流速南北分量統計方塊圖 2-64
圖2-2-28g 1995年7月於ST-1站觀測之海流向量進行圖 2-65

圖2-2-29a 1995年7月於ST-2站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖....2-66
圖2-2-29b 1995年7月於ST-2站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖2-66
圖2-2-29c ST-2站流速統計方塊圖....2-67
圖2-2-29d ST-2站流向統計玫塊圖....2-67
圖2-2-29e 1995年7月於ST-2站觀測之流速東西分量統計方塊圖....2-67
圖2-2-29f 1995年7月於ST-2站觀測之流速南北分量統計方塊圖....2-67
圖2-2-29g 1995年7月於ST-2站觀測之海流向量進行圖....2-68
圖2-2-30a 1995年7月於ST-4站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖....2-69
圖2-2-30b 1995年7月於ST-4站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖2-70
圖2-2-30c ST-4站流速統計方塊圖....2-70
圖2-2-30d ST-4站流向統計玫塊圖....2-70
圖2-2-30e 1995年7月於ST-4站觀測之流速東西分量統計方塊圖....2-70
圖2-2-30f 1995年7月於ST-4站觀測之流速南北分量統計方塊圖....2-70
圖2-2-30g 1995年7月於ST-4站觀測之海流向量進行圖....2-71
圖2-3-1 台中港民國74、79及83年輪船進港噸級分佈圖....2-72
圖2-3-2 台中港民國74、79及83年貨輪分佈圖....2-73
圖2-3-3 民國83年台中港各類船舶進港艘數、平均噸位及平均船長分佈圖..2-74
圖3-1-1 風對船舶運動之影響....3-19
圖3-6-1 船舶形成之登輪水域(Makeing a Lee)示意圖....3-20
圖3-8-1 台中港港口段航道現有燈塔及導航設施位置圖....3-21
圖4-2-1 台中港往昔之海象調查點位置及期間....4-35
圖4-2-2 台中港B,D站流況及波浪,潮位,風力變化
(民國70/11/6-70/11/11)....4-36
圖4-2-3 台中港B,C站流況及波浪,潮位,風力變化
(民國70/11/24-70/11/29)....4-37
圖4-2-3(續) 台中港B,C站流況及波浪,潮位,風力變化
(民國70/11/29-70/12/4)....4-38
圖4-2-4 台中港B,C站流況及波浪,潮位,風力變化
(民國71/5/5-71/5/10)....4-39
圖4-2-5 BU及BD測站流速與潮位變化圖....4-40
圖4-2-6 台中海域夏季海流及風向量行徑....4-41
圖4-2-7 台中海域冬季海流及風向量行徑....4-42
圖4-3-1 各種計算網格涵蓋範圍圖....4-43
圖4-3-2 台中港波浪折射圖....4-44
圖4-3-3 台中港口擴建方案流況計算結果....4-45

圖4-4-1 波浪及海流數值模擬程圖.....4-46
圖4-5-1 近岸波場之大域計算範圍.....4-47
圖4-5-2 近岸波場之局部計算範圍.....4-48
圖4-5-3 台中港現況大域近岸波浪場.....4-49
圖4-5-4 台中港現況局部區域近岸波浪場.....4-50
圖4-6-1 台中港現況港口遮蔽計算範圍.....4-51
圖4-6-2a 台中港現況冬季經常性波浪週期8秒,NWN波向計算之Kd圖.....4-52
圖4-6-2b 台中港現況冬季經常性波浪週期8秒,NWN波向計算之Kd灰階圖.4-53
圖4-6-3a 台中港現況颱風波浪週期8秒, WSW波向計算之Kd圖.....4-54
圖4-6-3b 台中港現況颱風波浪週期8秒, WSW波向計算之Kd灰階圖.....4-55
圖4-6-4a 台中港現況颱風波浪週期10秒, WSW波向計算之Kd圖 4-56
圖4-6-4b 台中港現況颱風波浪週期10秒, WSW波向計算之Kd灰階圖.....4-57
圖4-6-5a 台中港現況颱風波浪週期12秒, WSW波向計算之Kd圖.....4-58
圖4-6-5b 台中港現況颱風波浪週期12秒, WSW波向計算之Kd灰階圖.....4-59
圖4-6-6 台中港現況WSW向波浪實驗之波高係數 4-60
圖4-7-1 台中港區海流數值計算範圍.....4-61
圖4-7-2 海流大域計算範圍、網格及水深.....4-62
圖4-7-3 海流小域計算範圍、網格及水深.....4-63
圖4-7-4 海流局部區域計算範圍、網格及水深.....4-64
圖4-7-5 芳苑驗潮站潮汐實測及驗潮結果比較.....4-65
圖4-7-6 台中港驗潮站潮汐實測及驗潮結果比較.....4-66
圖4-7-7 新竹漁港驗潮站潮汐實測及驗潮結果比較.....4-67
圖4-7-8 台中港、新竹漁港與芳苑驗潮站潮位比較圖.....4-68
圖4-7-9a 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 00:00:00).....4-69
圖4-7-9b 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 02:00:00).....4-70
圖4-7-9c 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 03:00:00).....4-71
圖4-7-9d 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 04:00:00).....4-72
圖4-7-9e 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 06:00:00).....4-73
圖4-7-9f 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 08:00:00).....4-74
圖4-7-9g 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 09:00:00).....4-75
圖4-7-9h 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 10:00:00).....4-76
圖4-7-9i 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 12:00:00).....4-77
圖4-7-10 台中港大域計算區域計算與實測潮位比較.....4-78
圖4-7-11a 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 00:00:00).....4-79
圖4-7-11b 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 02:00:00).....4-80

圖4-7-11c 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 03:00:00).....4-81
圖4-7-11d 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 04:00:00) 4-82
圖4-7-11e 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 06:00:00).....4-83
圖4-7-11f 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 08:00:00).....4-84
圖4-7-11g 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 09:00:00) 4-85
圖4-7-11h 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 10:00:00) 4-86
圖4-7-11i 台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 12:00:00).....4-87
圖4-7-12a 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 00:00:00) 4-88
圖4-7-12b 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 01:00:00) 4-89
圖4-7-12c 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 02:00:00).....4-90
圖4-7-12d 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 03:00:00) 4-91
圖4-7-12e 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 04:00:00).....4-92
圖4-7-12f 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 05:00:00).....4-93
圖4-7-12g 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 06:00:00) 4-94
圖4-7-12h 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 07:00:00) 4-95
圖4-7-12i 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 08:00:00).....4-96
圖4-7-12j 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 09:00:00).....4-97
圖4-7-12k 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 10:00:00) 4-98
圖4-7-12ℓ 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 11:00:00).....4-99
圖4-7-12m 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 12:00:00).....4-100
圖4-7-12n 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 13:00:00) 4-101
圖4-7-12o 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 14:00:00) 4-102
圖4-7-12p 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 15:00:00) 4-103
圖4-7-12q 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 16:00:00) 4-104
圖4-7-12r 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 17:00:00) 4-105
圖4-7-12s 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 18:00:00) 4-106
圖4-7-12t 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 19:00:00).....4-107
圖4-7-12u 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 20:00:00) 4-108
圖4-7-12v 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 21:00:00) 4-109
圖4-7-12w 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 22:00:00).....4-110
圖4-7-12x 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 23:00:00) 4-111
圖4-7-12y 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/14 00:00:00) 4-112
圖4-7-13 台中港夏季#4A碼頭測站(ST8)實測與近似位置上計算水位驗證 4-113
圖4-7-14 台中港夏季ST1近似測站水流水位模擬結果.....4-114
圖4-7-15 台中港夏季ST2近似測站水流水位模擬結果.....4-115

圖4-7-16 台中港夏季ST4近似測站水流水位模擬結果.....4-116
圖4-7-17 台中港夏季漁港港口計算與1996年1月7日實測流速流向之比較.4-117
圖4-7-18a 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 00:00:00).....4-118
圖4-7-18b 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
1994/01/13 01:00:00).....4-119
圖4-7-18c 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 02:00:00).....4-120
圖4-7-18d 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 03:00:00).....4-121
圖4-7-18e 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 04:00:00).....4-122
圖4-7-18f 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 05:00:00).....4-123
圖4-7-18g 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 06:00:00).....4-124
圖4-7-18h 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 07:00:00).....4-125
圖4-7-18i 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 08:00:00).....4-126
圖4-7-18j 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 09:00:00).....4-127
圖4-7-18k 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 10:00:00).....4-128
圖4-7-18ℓ 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 11:00:00).....4-129
圖4-7-18m 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 12:00:00).....4-130
圖4-7-18n 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 13:00:00).....4-131
圖4-7-18o 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 14:00:00).....4-132
圖4-7-18p 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 15:00:00).....4-133
圖4-7-18q 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬

(1994/01/13 16:00:00) 4-134
圖4-7-18r 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 17:00:00) 4-135
圖4-7-18s 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 18:00:00) 4-136
圖4-7-18t 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 19:00:00) 4-137
圖4-7-18u 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 20:00:00) 4-138
圖4-7-18v 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 21:00:00) 4-139
圖4-7-18w 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 22:00:00) 4-140
圖4-7-18x 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 23:00:00) 4-141
圖4-7-18y 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/14 00:00:00) 4-142
圖4-7-19 台中港冬季季風期計算與實測水位比較 4-143
圖4-7-20 台中港冬季ST1近似測站水流水位模擬結果 4-144
圖4-7-21 台中港冬季ST2近似測站水流水位模擬結果 4-145
圖4-7-22 台中港冬季ST4近似測站水流水位模擬結果 4-146
圖4-7-23 台中港冬季漁港港口計算與1996年1月7日實測流速流向比較 ... 4-147
圖5-2-1 4,000TEU級巴拿馬極限型貨櫃輪 5-46
圖5-2-2 大型貨櫃輪之貨櫃裝載 5-47
圖5-2-3 陽明海運公司之大型貨櫃輪 5-48
圖5-2-4 德國Bremer Vulkan船廠製造之大型貨櫃輪 5-48
圖5-2-5 長榮海運公司(a)GL型(b)GX型之大型貨櫃輪 5-49
圖5-4-1 台中港位置及配置圖 5-50
圖5-5-1 模擬機各系統之主要設備 5-51
圖5-5-2 操船模擬之主要構件 5-52
圖5-7-1 領港登輪操船模擬之流況環境 5-53
圖5-7-2 直接進出港漲潮順流之操船水流環境 5-54
圖5-7-3 直接進出港退潮頂流之操船水流環境 5-55
圖5-9-1 港口佈置與操船計劃 5-56
圖5-9-2 操船模擬結果分析定義 5-57

圖5-10-1a 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-58
圖5-10-1b 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-59
圖5-10-1c 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-60
圖5-10-1d 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-61
圖5-10-1e 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-62
圖5-10-1f 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-63
圖5-10-1g 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-64
圖5-10-1h 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果 5-65
圖5-10-2a 3,000TEU級貨櫃輪出港之真實模擬結果 5-66
圖5-10-2b 3,000TEU級貨櫃輪出港之真實模擬結果 5-67
圖5-10-3 3,000TEU級貨櫃輪60度航向之真實操航模擬總航跡 5-68
圖5-10-4 領港登輪位置分佈圖 5-69
圖5-10-5 領港抵達駕駛台位置分佈圖 5-70
圖5-10-6a 大型散裝貨輪90度航向順流模擬操航航跡 5-71
圖5-10-6b 大型散裝貨輪90度航向順流模擬操航航跡 5-72
圖5-10-6c 大型散裝貨輪90度航向頂流模擬操航航跡 5-73
圖5-10-6d 大型散裝貨輪90度航向頂流模擬操航航跡 5-74
圖5-10-7a 大型貨櫃輪90度航向順流模擬操航航跡 5-75
圖5-10-7b 大型貨櫃輪90度航向順流模擬操航航跡 5-76
圖5-10-7c 大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡 5-77
圖5-10-7d 大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡 5-78
圖5-10-7e 大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡 5-79
圖5-10-8a 大型貨櫃輪90度航向順流模擬操航航跡 5-80
圖5-10-8b 大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡 5-81
圖5-10-9a 大型散裝貨輪60度航向順流模擬操航航跡 5-82
圖5-10-9b 大型散裝貨輪60度順流模擬操航航跡 5-83
圖5-10-9c 大型散裝貨輪60度頂流模擬操航航跡 5-84
圖5-10-11a 大型貨櫃輪60度航向順流模擬操航航跡 5-85
圖5-10-10b 大型貨櫃輪60度航向順流模擬操航航跡 5-86
圖5-10-10c 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡 5-87
圖5-10-10d 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡 5-88
圖5-10-10e 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡 5-89
圖5-10-11a 大型貨櫃輪60度航向順流模擬操航航跡 5-90
圖5-10-11b 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡 5-91
圖5-10-11c 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡 5-92

圖5-10-11d 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡 5-93
圖5-10-12a 船舶直接進出港操船資料分析之基準線設定 5-94
圖5-10-12b 船舶直接進出港操船資料分析之門線設定 5-95
圖5-10-13 90度進港模擬操航之總航跡 5-96
圖5-10-14 90度進港之巴拿馬極限型散裝船航跡 5-97
圖5-10-15 90度進港之3,000TEU貨櫃船航跡 5-98
圖5-10-16 90度進港之4,000TEU貨櫃船航跡 5-99
圖5-10-17 90度進港之漲潮順流航跡 5-100
圖5-10-18 90度進港之退潮頂流航跡 5-101
圖5-10-19 60度進港模擬操船之總航跡 5-102
圖5-10-20 60度進港之巴拿馬極限型散裝船航跡 5-103
圖5-10-21 90度進港之3,000TEU貨櫃船航跡 5-104
圖5-10-22 90度進港之4,000TEU貨櫃船航跡 5-105
圖5-10-23 60度進港之漲潮順流航跡 5-106
圖5-10-24 60度進港之退潮頂流航跡 5-107
圖6-4-1 減風設施試驗之構造物型式 6-27
圖6-4-2 減風墻之減風機制及效果 6-28
圖6-4-3 防風設施二維風洞試驗佈置及結果 6-29
圖6-4-4 防風設施二維風洞試驗結果 6-30
圖6-4-5 防風設施三維風洞試驗結果 6-31
圖6-4-6 荷蘭鹿特丹港港口與加蘭運河 6-32
圖6-4-7 荷蘭加蘭運河,加蘭橋及布里坦尼亞港區 6-33
圖6-4-8 加蘭橋及加蘭運河旁減風墻由南向北透視全景 6-34
圖6-4-9 加蘭橋及加蘭運河旁減風墻由西向東透視全景 6-35
圖6-4-10 加蘭橋及加蘭運河旁減風墻由東向西透視全景 6-36
圖6-4-11 汽車船通過加蘭橋及拖船協助全景 6-37
圖6-4-12 減風墻中段與加蘭橋交接段全景 6-38
圖6-4-13 減風墻南段由北向南透視全景 6-39
圖6-4-14a 減風墻南段之透視與結構型式 6-40
圖6-4-14b 減風墻中段與加蘭橋 6-41
圖6-4-14c 減風墻中段南面之結構型式 6-42
圖6-4-14d 減風墻中段北面之正反向結構型式 6-43
圖6-4-14e 減風墻中段北面之正反向結構型式 6-44
圖6-4-14f 減風墻中段與其北段構造型式 6-45
圖6-4-14g 減風墻北段及其南段之施工 6-46

圖6-5-1 一般貨櫃船裝載受風示意圖 6-47
圖6-6-1 天蓬式氣幕減風設施示意圖 6-48
圖6-6-2 環形式氣幕減風設施示意圖 6-48
圖6-6-3 防風林帶之遮蔽緩衝作用 6-49
圖6-6-4 擋風牆(網)遮蔽範圍圖 6-49
圖6-6-5 設置擋風網後之等風速線變化圖 6-49
圖6-6-6a 擋風網在風速爲15m/sec與7.5/sec下之遮風效果 6-50
圖6-6-6b 擋風網在不同孔隙率下之遮風效果 6-50
圖6-6-7 設於英法隧道Coquelles附近之擋風網 6-50
圖6-6-8 矩形阻風牆下游離水面10M處在北北東風向之等減風係數分佈 6-51
圖6-6-9 矩形阻風牆下游離水面20M處在北北東風向之等減風係數分佈 6-52
圖6-6-10 半圓形阻風牆下游離水面10M處在北北東風向之等減風係數分佈 6-53
圖6-6-11 半圓形阻風牆下游離水面20M處在北北東風向之等減風係數分佈 6-54
圖6-7-1 減風設施方案一配置圖 6-55
圖6-7-2 北防波堤拋石堤標準斷面圖(0k+562.50m ～ 0k+650.10m) 6-56
圖6-7-3a 北防波堤沉箱合成堤標準斷面圖(0k+650.10m ～ 1k+646.03m) 6-56
圖6-7-3b 北防波堤850M延長段標準斷面圖(0k+100.00m) 6-56
圖6-7-4 減風設施方案二配置圖 6-57
圖6-7-5 減風設施高度研擬流程圖 6-58
圖6-7-6 減風設施方案一遮蔽區域示意圖 6-59
圖6-7-7 減風設施方案二遮蔽區域示意圖 6-60
圖6-7-8 不同透風率(porosity)擋風牆下游段等風速係數圖 6-61
圖6-7-9 減風牆設計載重相關位置圖 6-62
圖6-7-10 颱風模式圖 6-63
圖6-7-11 各波向示性波高分佈圖 6-64
圖6-7-12 NNE向波高折射圖 6-65
圖6-7-13 NNE向堤前波高分佈圖 6-66
圖6-7-14 L_A/L_{AO} vs d/gT^2 6-67
圖6-7-15 拖曳力係數C_D vs雷諾數Re 6-68
圖6-7-16 Φ_m vs H/gT^2及d/gT^2 (W=0.1) 6-69
圖6-7-17 Φ_m vs H/gT^2及d/gT^2 (W=0.5) 6-70
圖6-7-18 α_m vs $H/g\ T^2$及$d/g\ T^2$ (W=0.1) 6-71
圖6-7-19 α_m vs H/gT^2及$d/g\ T^2$ (W=0.5) 6-72
圖6-7-20 流力拖曳力係數C_D, vs雷諾數Rey 6-73
圖6-7-21 北防波堤附近海域鑽探圖 6-74

圖6-7-22 樁基礎基本設計圖 6-75
圖7-1-1a 間接進港之操船與登輪 7-24
圖7-1-1b 間接進港之操航與配置 7-25
圖7-2-1 近程改善方案一及方案二配置圖 7-26
圖7-2-2 遠程改善方案二配置圖 7-27
圖7-2-3 遠程改善方案三配置圖 7-28
圖7-3-1a 台中港現況南內堤拆除50公尺颱風波浪週期10秒, WSW波向計算之kd圖 7-29
圖7-3-1b 台中港現況南內堤拆除50公尺颱風波浪週期10秒, WSW波向計算之kd灰階圖 7-30
圖7-3-2a 台中港現況與南內堤拆除50公尺颱風波浪週期12秒, WSW波向計算之kd圖 7-31
圖7-3-2b 台中港現況與南內堤拆除50公尺颱風波浪週期12秒, WSW波向計算之kd灰階圖 7-32
圖7-3-3a 台中港冬季現況與南內堤拆除50公尺港口主航道上之流況比較 ... 7-33
圖7-3-3b 台中港冬季現況與南內堤拆除50公尺港口內主航道中點之流況比較 7-34
圖7-3-3c 台中港冬季現況與南內堤拆除50公尺內港口南北堤口中點之流況比較 7-35
圖7-3-4 遠程改善方案二及方案三N向波浪繞射係數圖 7-36
圖7-3-5 遠程改善方案二及方案三NNW向波浪繞射係數圖 7-37
圖7-3-6 遠程改善方案二及方案三W向波浪入射反射圖 7-38
圖7-3-7 遠程改善方案二及方案三WSW向波浪入射反射圖 7-39
圖7-3-8 遠程改善方案二及方案三SW向波浪入射反射圖 7-40
圖7-3-9a 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺颱風波浪週期10秒, WSW波向計算之kd圖 7-41
圖7-3-9b 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺颱風波浪週期10秒, WSW波向計算之kd灰階圖 7-42
圖7-3-10a 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺颱風波浪週期12秒, WSW波向計算之kd圖 7-43
圖7-3-10b 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺颱風波浪週期12秒, WSW波向計算之kd灰階圖 7-44
圖7-3-11a 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬 (1994/01/13 00:00:00) 7-45

圖7-3-11b 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 01:00:00) 7-46
圖7-3-11c 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 02:00:00) 7-47
圖7-3-11d 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 03:00:00) 7-48
圖7-3-11e 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 04:00:00) 7-49
圖7-3-11f 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 05:00:00) 7-50
圖7-3-11g 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 06:00:00) 7-51
圖7-3-11h 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 07:00:00) 7-52
圖7-3-11i 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 08:00:00) 7-53
圖7-3-11j 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 09:00:00) 7-54
圖7-3-11k 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 10:00:00) 7-55
圖7-3-11ℓ 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 11:00:00) 7-56
圖7-3-11m 台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風15m/sec月大潮期間之流場計算模擬

(1994/01/13 12:00:00) 7-57
圖 7-3-12 台中港況與北外防波堤延伸600公尺南內堤拆除50公尺後之水流評估比較位置 7-58
圖 7-3-13a 台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺新登輪區之流況比較 7-59
圖 7-3-13b 台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺現況登輪區之流況比較 7-60
圖 7-3-13c 台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港口主航道上之流況比較 7-61
圖 7-3-13d 台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港口內主航道中央之流況比較 7-62
圖 7-3-13e 台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺內港口南北堤口中央之流況比較 7-63
圖 7-3-13f 台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港內中泊渠口之流況比較 7-64

前　言

壹、 計畫背景

台中港爲本省中部西海岸之重要國際港埠，港區主要有商港區、工業專業區及漁港區等三大部份。規劃興建始自民國46年初，當時海運量不大，貨輪船型較小，故以最大進港船舶噸位3萬載重噸爲規劃建港目標。近年來，由於海運之發展及運輸型態之改變，船舶已朝向大型化發展。爲配合海運整體發展之趨勢，且爲配合台中港南端工業專業區開發及因應台電台中火力電廠燃煤運輸之需求，台中港務局遂自民國七十二年起即積極籌劃港口第二階段擴建計畫，並以12.5萬〔後經修正爲六萬〕載重噸型煤輪及第三代大型貨櫃輪得以安全進港泊靠爲目標。

民國七十八年左右,大型船泊進泊台中港所須面對之最大困難及最重要之安全考量爲在冬季東北季風盛行期間，當船舶接近現有南防波堤堤端與進入南北內堤間之航道時，由於強風與因堤頭束縮形成之強大流速影響，大型船泊在港口段航道內之水域操航時均須格外謹慎，爲此，台中港務局曾於台中港港口第二階段擴建計畫評估研究[1]中研擬北防波堤延伸擴建工程，現今北防波堤延伸850公尺已擴建完成，爲確立其成效並提昇大型船舶進出港口段航道之安全度，港口段航道間之其他港灣設施是否必要再配合改善宜及早研究因應，俾能爭取大型船舶進泊台中港之意願，進一步增進台中港機能，同時並提昇營運績效。鑑此，台中港務局於民國84年成立本研究計劃，並委託本所研究辦理。

貳 研究性質與項目

本研究計畫係台中港務局依據「台灣省委託研究實施要點」（刊台灣省政府公報八十三年春字第二十五期第五頁）委託本所辦理之一年期（84/06～85/09）研究計畫[10,11]。在目前船舶大型化之發展趨勢下，研究台中港於第二期擴建工程中，北防波堤完成延伸850公尺後，針對現況港口及航道等既有港灣設施對於提供大型船舶進泊之安全性進行評估研究。倘若現況港口對允許大型船舶進泊台中港尚有安全性之顧忌或障礙，則研擬現況港口段必要及可能之改善方案，俾提供未來擴建及相關改善工程規劃之參考。爲達上述之要求，本研究預定從事之研究項目包括如下：

(一)港口段航道現況面臨問題研究

1. 航道現況資料蒐集及分析
2. 海、氣象資料蒐集及分析
3. 目前進泊船隻噸位、船型資料蒐集及分析
4. 目前船舶進出港遭遇之困難探討
5. 未來對象大型船舶進出港可能遭遇之困難探討

(二)港口段航道設施改善對策研究

1. 港口段航道設施改善對策檢討
2. 減風設施可行性研究
   (1) 港口段風力條件分析
   (2) 國內外減風設施案例考察、觀摩及研討
   (3) 減風設施方案研擬
3. 消浪設施改善可行性研究
   (1) 港口段波浪條件分析
   (2) 消浪設施數值模擬
   (3) 消浪設施改善方案研擬
4. 台中港對象大型船舶之操船特性及進泊可行性研究
5. 其他替代改善方案可行性研究
   (1) 拖船能力及港口航道配置改善
   (2) 船舶進出港及通行航道作業改善

(三)操船模擬試驗研究

(四)綜合評估

1. 改善方案評估及比較
2. 改善方案建議
3. 初步規劃
4. 效益評估

(五)結論與建議

1. 改善方案綜合結論及建議
2. 總報告撰寫及編印

總計以上五大項之研究項目，除研究項目（三）限於設備、專業及人力考量必須委託國立台灣海洋大學操船模擬機室辦理操船模擬外，其他項目部份並由本所與鼎興工程顧問股份有限公司共同合作研究辦理。

參、 大型船舶之界定

根據「台中港整體規劃及未來發展計劃」[3]研究結果內所訂定之台中港第二階段整體發展目標應集中於下列目標上，即：

（一）應付台灣環島「東泥西運」及「南油北運」之船運需求。

（二）滿足台灣中部大宗散貨進口需求，並彌補北部基隆港能量之不足。

（三）提供台灣中部區域貨櫃化貨源就近進出口之通道。

（四）準備因應兩岸進出口貨運直接通航之契機。

（五）積極開發工商港區，以港區內廣大土地吸引高附加價值之產業或貨物流通業進駐。

（六）積極開發港埠用地及碼頭設施，以因應未來大型產業引入之需求。

而在以上之目標上，有關航道水域設施之規劃，未來則有第二港口開闢之計畫，因此，對現有第一港口主航道水域設施規劃之最大進泊船舶將以冬季季節風期巴拿馬極限輪及遠洋大型貨櫃船得以安全進港泊靠爲目標。航道最窄處寬度暫定爲300公尺，最寬處爲600公尺，航道水深規劃爲EL.-15公尺。依據以上第一港口航道水域進泊船型之規劃目標，於本研究中，大型船舶將以相當60,000DWT巴拿馬極限輪低潮時候潮進港，或3,000TEU級貨櫃輪全天候可安全進出港爲界定。

肆、工作流程與預期研究目標

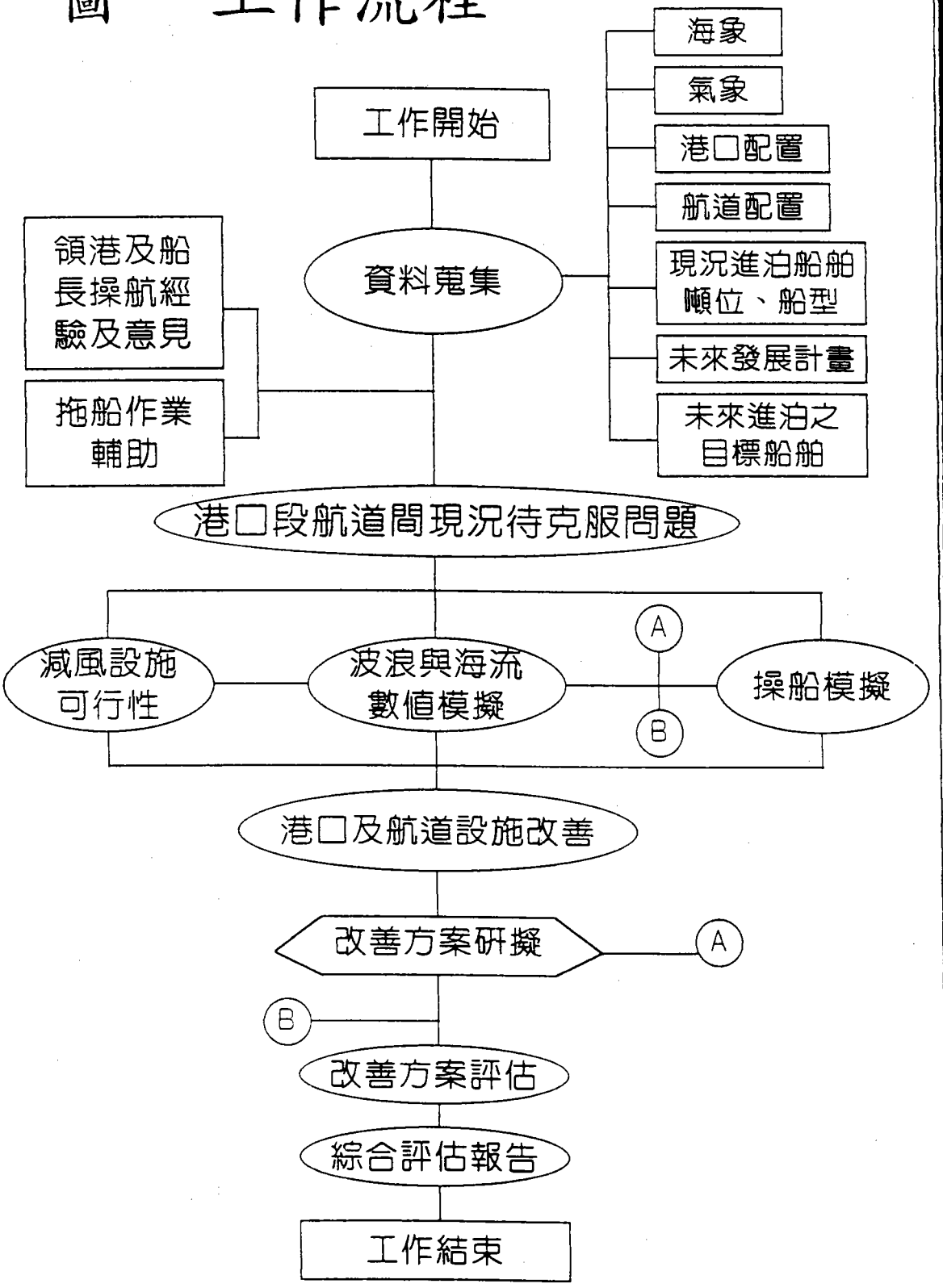
本研究工作流程如圖一所示，預期達成之研究目標如下：

（一）確立冬季季節風期60,000DWT級巴拿馬極限輪及第三代（3000TEU級）遠洋大型貨櫃輪進出現況台中港港口段航道間可能遭遇之困難、所須面對之問題及必須克服解決之障礙。

（二）針對水面上之風與浪及水面下之流等不利於現況台中港港口段航道內之大型船舶操泊限制因素研擬改善對策，俾提供台中港務局從事相關擴建或改善工程規劃之參考。

（三）提昇現況大型船舶進出台中港港口段航道間之安全且有效率之操泊「無障礙空間」，俾利爭取擁有大型船舶之航商及貨主靠泊台中港之意願，進一步增進港灣機能，提昇營運績效。

圖一 工作流程


工作開始
資料蒐集
海象
氣象
港口配置
航道配置
現況進泊船舶噸位、船型
未來發展計畫
未來進泊之目標船舶
領港及船長操航經驗及意見
拖船作業輔助
港口段航道間現況待克服問題
減風設施可行性
波浪與海流數值模擬
操船模擬
A
B
港口及航道設施改善
改善方案研擬
A
B
改善方案評估
綜合評估報告
工作結束

第一章 報告摘要及結論與建議

1-1 報告摘要

一、台中港自然環境資料整理

(一)風力

. 每年10月至翌年3月爲東北季風盛行期,風向以北北東(NNE)爲主,風速15～20m/sec之發生機率較國內其他港埠爲高,約佔全冬季14.3%左右,超過8級風之機率佔冬季7.1%,每年約有13日。

. 冬、夏季下午時刻風力均明顯增強,每日清晨風速最小,上午10點以後風速逐漸增強,至下午3、4點達最強後,再逐漸減弱。

. 10分鐘最大陣風約爲平均風速之1.5倍。

(二)霧日

. 平均每年發生霧日6.8天,以3月份出現霧日最多,平均約2.0天。

(三)降雨

. 大於0.1mm之降雨日數以3月份最多,平均有24日。10月份降雨日數最少,平均僅5.0日。

. 降雨量多集中4～8月,年平均降雨量約1,317mm。

(四)颱風

. 平均每年約有3.54個颱風侵襲本省,以2、5路徑對台中港影響較大。

. 台中港東有中央山脈屏障,颱風風力較其他各地爲小,氣象局現有颱風風力記錄,最大平均風速達39.0m/sec。

(五)潮位

. 各種潮位基準如下

最高高潮位 H.H.W.L. = 5.86m(60.9.23)
平均高潮位 M.H.W.L. = 4.42m
平均潮位 M.W.L. = 2.65m
平均低潮位 M.L.W.L. = 0.88m
最低低潮位 L.L.W.L. = -0.55m(76.1.2)
平均潮差 AVE. TIDAL RANGE = 3.54m

(六)北外防波堤口附近波浪

. 冬季波高以1.0～3.0公尺出現機率最高,波高大於1.0公尺之機率,約佔全冬季73.39%;其中波高在2.0至3.0公尺間之平均機率爲46.28%,全年約有83.3日。週期主要集中於5～7秒。

. 夏季波高以小於1.0公尺出現機率最高,約佔95%;週期集中於4～6秒。

. 東北季風期港口外水深20餘公尺處水域之波向絕大多數介於355°～5°(N向)之間。三月以後波高變小,西或西南向波浪出現機率增多。

(七)北外防波堤口附近海流

. 台中港海域流況主要受恒流、潮流、風驅流及沿岸流等多重因素影響,港口外潮流,風趨流作用明顯,港內以潮流爲主。

. 冬季港口附近流場受風驅流影響極大,外海最大流速約2～3節。向西之流向約佔44%,北北西及北向約32%,港口附近漲潮期間有逆時鐘方向旋轉環流發生,環流對船隻進港影響極大。

. 冬季港口環流發生之時間與風力及潮汐關係極大,強流多發生於滿潮位前後1～2小時。

. 夏季海域流場主要受由南向北之恒流及潮流所影響,最大流速約在1節以上。

(八)漂沙

. 台中港北外防波堤完成延伸850公尺後,漂沙對港口已不致構成淤塞之威脅。

(九)波浪水流調查站

. 港灣技術研究所在港口外所設之波浪水流測站: ST1位於北防沙堤堤頭西北西方約800公尺; ST2位於北外防波堤堤頭外約200公尺; ST4: 位於南防波堤堤頭以南之水域。

二、台中港港埠營運概況

. 歷年進港船隻至民國83年主要以中小型輪船爲主,總噸位在1萬噸以下,佔全部進港船數之54.8%, 2萬噸級以上佔17.9%, 4萬噸至6萬噸級則有34艘以上。

. 一般雜貨輪約佔進港船數之19.0%,貨櫃輪約爲27%,散裝貨輪約有23%。

. 民國83年,進港貨櫃輪船長100～200公尺計有965艘,煤輪船長200～250公尺計有108艘,船長250～300公尺計有7艘。

三、現況港口目標進泊對象大型船舶

. 第三代(3,000TEU級)大型貨櫃輪及60,000DWT級巴拿馬極限型散裝貨輪。

四、海氣象條件惡劣之定義

月大潮期間,水流具滿潮及干潮之極端流況,平均風速大於20m/sec,波浪爲大浪,波高約2.5公尺。

五、海流數值模擬計算

. 模擬計算現況港口及航道水域月大潮期間潮流之逐時流場。
. 模擬計算現況港口及航道水域月大潮期間潮流與風趨流共同影響之逐時流場。
. 現況港口段及航道，水流受風與漲退潮影響，流況將逐時變化，水流強度與方向隨潮汐漲落而互異。
. 南北內防波堤口間水流強度約可達1節上下，漲潮時水流向港內流動，退潮時則向港外流動。
. 滿潮與平潮期間港口外有逆時鐘方向旋轉之環型海流。
. 平潮與干潮期間，港口外水流由南向北流動。

六、南北內防波堤口間流速估算

現況堤口寬度350公尺，水深15公尺；取潮汐最大水位時變率1公尺/小時，假設港區水域面積爲500公頃，堤口流量係數爲0.5，推估可得堤口平均流速約52.91公分/秒。與計算模擬及實測所得甚爲接近。

七、真時操船模擬

(一) 操船方式：真時(Real Time)操船模擬。
(二) 操船人員：台中港現職引水人員領港，海洋大學助教操船。
(三) 操船地點：國立台灣海洋大學操船模擬機室
(四) 操航計畫：按現況60度進港航向，設定領港登輪位置及抵達駕駛台時間。
(五) 操航船舶：3,000TEU級與4,000TEU級大型貨櫃輪及60,000DWT級超巴拿馬極限型散裝貨輪。
(六) 進港航向：60度及90度。
(七) 進港方式及操航次數：
. 進港船舶搭接引水人員後直接進港(60度航向)操航30航次。出港4航次。
. 進港船舶不搭接引水人員直接進港，60度航向操航41航次；90度航向操航45航次。出港4航次。
. 總計進港操航116航次，出港8航次。
. 按現況操航，皆無拖船助航。
(八) 操航環境：
. 水流：分漲潮(順流)及退潮(頂流)兩類，流況環境由海流數值模擬結果選取。

. 水深:依據台中港民國83年實測水深再配合海圖及規劃進港船舶吃水調整。
. 風速:平均風速20m/sec(8級風速極限)、16.5m/sec及25m/sec。輔以陣風模擬。
. 風向: NE, NNE與SW
. 波浪:相當波高2.5公尺之大浪。

(九) 操船結果及建議

. 進港船舶搭接引水人員後直接進港,採現況60度航向:登輪位置太靠近港口,領港調整船位及航向時空餘裕不足,建議在惡劣海氣象條件下,領港登輪位置應自現況東經120°28'57";北緯24°17'35"調整至東經120°28'33";北緯24°17'20",調整方向與距離爲依現有60度航向沿西南西移動約824公尺。
. 調整移動後之登輪位置,其現有北外防波堤對正北方向波浪遮蔽區不足長度約爲713公尺。
. 在惡劣海氣象條件下,大型船舶進港後於通過南北內防波堤口間,因大風與水流影響將可能偏北航行而有安全顧慮。
. 在惡劣海氣條件下,大型船舶在進港接近港口階段,航向不易保持穩定,即受風、浪及水流影響,航向不易依預定航線操航,以致登輪延遲及船位太接近港口。
. 進港船舶不搭接引水人員而直接進港:由於可採行較高速進港,風、浪及水流影響可減輕,在進港安全上沒有顯著之差異,但以搭接引水人員難易及維持應有航線之偏移量評估,60度航向之操航將優於90度航向。船舶進港後在南北內防波堤口間亦有偏北航行之趨勢與問題。
. 海氣象條件良好,規劃進泊之目標大型船舶進港安全性應可接受。
. 4,000TEU級大型貨櫃輪進泊現況台中港仍甚困難,進港安全性尚待提昇。
. 港口內主航道線應透過設施改善使其向南遷移或輔以拖船助航,藉以減低水流、風及操航影響之偏北航行問題,增大操航之安全水域空間。
. 研擬拖船助航措施。

八、減風設施可行性

. 以港口及內堤口航道水域爲減風設施可行性研究之標的水域。
. 減風目標風速15m/sec,基準風速25m/sec,減風目標係數0.6。
. 減風目標高度依貨櫃船甲板上貨櫃裝載層數3至5層估算,其高度約爲10公尺;貨櫃船裝載6層貨櫃時,減風目標高度爲13.5公尺。
. 減風目標距離約350公尺,減風設施長度約須1.58公里以上。

- 減風結構形式:矩形或半圓形RC擋風牆。
- 擋風牆透風率(孔隙率)取10%至30%間。
- 擋風牆尺寸、數量與造價

  最大:高65公尺,寬45公尺,厚45公分,牆間距6.0公尺,需6座,含基樁基礎,單價約陸仟捌佰萬元。

  最小:高25公尺,寬17.1公尺,厚17.5公分,牆間距8.4公尺,需8座,含基樁基礎,單價約壹仟陸佰萬元。
- 設置方向以NNE向爲主,總長度若爲1,585公尺,則總造價約須13億元。
- 減風設施效益:提供港口段主航道線以北水域合乎國際標準之一般風速限制(15m/sec)。
- 減風設施評估:未能解決大型進港船舶登輪區之風速問題,港口及航道水域仍須面臨15m/sec以上陣風,遮蔽範圍有限,必須考慮颱風與地震之安全性,對漁港可能造成風速加大之顧忌。
- 綜合評估:減風設施在結構建築上可行,但效用有限,適用期不長,益本比甚低,尙非建置之良好時機,現階段當急之務爲解決海氣象條件惡劣期間領港人員之登輪問題。

九、現況港口及航道設施,在惡劣海氣象條件下,主要面對之問題及必須克服解決之障礙爲:

(一)領港艇外航至防波堤遮蔽區外甚爲冒險。

(二)領港艇靠近進港對象大型船舶不易。

(三)引水人員登輪困難且易生危險。

(四)登輪區太靠近港口。

(五)引水人員因登輪困難以致登輪時間延遲,致使部分船舶必須自行操航進入港口,引水人員調整船位與航向之時空餘裕不足。

(六)大型船舶在進港階段常受風、浪及水流影響而無法保持穩定航向,船長進港心理壓力甚大,領港登輪及領港艇配合更加困難。

(七)大型進港船舶通過南北內防波堤口附近水域易受風及水流作用而偏北航行,北內防波堤口附近港灣設施對進港船舶操航安全具潛在之威脅。

(八)拖船僅提供轉向及靠泊協助,未發揮助航功能。

(九)無充分即時之海氣象資訊供港埠相關作業人員參考,致使無法及早採行應變及配合措施。

(十)尙無惡劣海氣象極限限制條件規範,暫停港埠作業條件無具體依據。

十、改善對策與規劃

(一) 近程改善對策

對策一:

就現況港灣設施與佈置,調整並改變惡劣海氣象條件下船舶進港與領港登輪方式。船舶進港時,拖船必須發揮助航功能,且於南外防波堤堤口內或/及漁港港口附近水域備便助航。

對策二:

同近程改善對策(2),若拖船備便助航無法配合,則拆除南內防波堤50公尺,以使主航道線可向南偏移。

對策三:

訂定惡劣海氣象條件下,船舶暫停進出港作業之限制規範,並施行港內拖船助航措施。

(二) 遠程改善對策

對策一:

在惡劣海氣象條件下,大型船舶統合於未來規劃闢建之第二港口進出。

對策二:

達遠程改善階段(以第二港口闢建完成期爲階段界限),若尚未實施近程改善對策,則北外防波堤宜適度再延長且南內防波堤拆除50公尺,並參考近程改善對策二,輔以拖船助航。

對策三:

同遠程改善對策二,但將再適度延長之北外防波堤向北偏移50公尺,並拆除南內防波堤50公尺,仍須輔以拖船助航。

十一、綜合評估

- 爲兼顧船舶進港安全與投資效益,近程之改善對策應優先考量試行。
- 遠程對策係輔助近程改善對策之不足,若近程對策可順利推展並發揮預期功效,則遠程對策可備而不用。
- 近程及遠程對策之施行以近程對策三最優,近程對策一其次。
- 遠程對策一可徹底根本地解決惡劣海氣象條件下現況港口及航道面臨之各項問題與待克服之障礙。
- 北外防波堤再延伸將改變港口附近海域環流之中心位置與強度,主航道線及內外港口水流大小亦會增強。

南內防波堤拆除50公尺可稍減緩南北內防波堤口間之流速大小。

1-2 結論與建議

一、 台中港北外防波堤延伸850公尺擴建工程完成後，依波浪遮蔽數值模擬、海流數值模擬計算及實際海象調查分析結果得知，東北季風期間北外防波堤已發揮對波浪應有之遮蔽效果，以往不利船舶進出港之堤頭橫流，目前方向已偏西流動。但因防波堤之延伸突出，在滿潮前後，北外防波堤南側水域將存在有逆時鐘方向旋轉之環流，加上強風之影響，對大型船舶進港操航及航線保持穩定仍甚不利。

二、 依據真時操船模擬結果，台中港現況港口設施，在海氣象條件不佳時，北外防波堤對北向波浪之遮蔽範圍仍嫌不足，以致領港登輪困難，登輪時間延遲，領航時空餘裕有限，大型船舶進泊易生危險。

三、 依據民國七十七年「台中港港口擴建計畫評估研究」對領港登輪區預期效果評估結論認爲：北外防波堤延伸850公尺其遮蔽區雖可讓中小型船舶駛近港口搭接領港，但對大型船舶而言，並無足夠緊急應變空間，經國內外港航專家研商後認爲，大型船舶船長在海氣象惡劣情況下，絕大多數將不敢主動駛進防波堤遮蔽區搭接領港並進港。以上結論與本研究現況真實操船模擬結果一致。

四、 世界上各大國際港埠對進泊大型船舶皆訂有其天然與環境條件之限制，台中港現況港口經完成北外防波堤延伸850公尺工程後，在海氣象條件良好下，3,000 TEU級大型貨櫃輪及60,000載重噸級巴拿馬極限型散裝貨輪進泊之安全性已可被接受與認同。唯主航道中線北側至北防波堤間水域尙應積極浚深。

五、 在海氣象條件不良或惡劣情況下，現況港口對進泊規劃標的大型船舶仍有部分問題及障礙待港灣設施局部調整改善以及採取必要措施之配合。

六、 依據改善對策研擬之評估結果，台中港現況若以8級風速爲暫停船舶進出港之限制條件，則全年平均約有14.76天，全冬季約有12.78天無法作業。而近程期間內，進港船並未以標的大型船舶爲主，克服惡劣海氣象條件下，大型船舶進出港所面臨之問題應以研訂海氣象限制條件爲主。

七、 在未研訂大型船舶進出港之海氣象限制條件前，近程期間內大型船舶在惡劣海氣象條件下進出港，其進港與領港登輪方式應改變調整，尤其，拖船在港口內備便助航措施應配合試行。

八、 在惡劣海氣象條件下，進港船舶之進港與領港登輪方式及拖船備便助航措施可依據本研究近程改善對策各方案試行調整。

九、 拖船在南外防波堤口內側或/及漁港港口附近水域備便助航之作業協調與配合應積極推展、演練並試行。

十、 大型船舶進港在通過南北內防波堤口附近水域時,若無拖船助航措施,南內防波堤宜拆除50公尺以避免船舶偏北航行之危險,增進進港船舶之安全。

十一、 南內防波堤拆除50公尺,WSW方向之颱風波浪對港內靜穩度影響甚爲有限,但可減緩堤口間流速。

十二、 台中港現況在惡劣海氣象條件下進泊大型船舶,若近程改善對策無法克服現況面臨之問題,則遠程改善對策應以移泊大型船舶至將闢建之第二港口進出爲主。

十三、 在惡劣海氣象條件下進泊大型船舶,因北外防波堤延伸850公尺其對北向波浪之遮蔽範圍仍嫌不足,長遠根本解決之道爲適度再延伸北外防波堤,延伸長度應在713公尺以上。唯北外防波堤再延伸將影響環流流場流態與主航道線上流速之大小,宜再審慎評估。

十四、 由於特殊的天然及地理環境,台中港海氣象條件普遍較劣於國內基、高兩港,進泊大型船舶時,港務管理單位應提供港務相關作業人員充分的海氣象資訊,俾利及早採行應變及協調配合措施,此除可激勵團隊士氣,增進港務機能外,尙可爭取擁有大型船舶之航商及貨主靠泊台中港意願,促使營運績效得以大幅提昇。

十五、 減風設施建置雖對港口段主航道水域風力之減阻可有良好成效,但因遮蔽範圍有限,適用期不長,無法有效解決領港登輪問題且所需建置經費龐大,施工及維修困難度甚高,對規劃標的進港船舶所能達成之安全改善效益不大,故建議暫緩採用此設施以克服強風對進港船舶之影響。

十六、 減風設施現階段對於改善船舶進泊問題雖不急切,但預估其對飛沙之減輕與防止應有其功效,仍值得進一步進行理論、實驗與應用性之研究。

十七、 爲避免大型船舶進港後在主航道偏北航行之危險,現況主航道以北至北防波堤間之水域應積極大範圍浚深。

十八、 在海氣象狀況不良時,現有部分導航設施高度及亮度仍稍嫌不足,設置之位置及數量尙有待加強改善。

十九、 台中港船舶交通管理系統(VTMS)建置時,宜將海氣象實測資料納入資料庫,並以即時方式提供港埠相關作業人員有關水流、潮位、波浪、風速與能見度等相關之資訊,俾能對海況作正確之判斷及採行必要之應變措施。

二十、 爲評比海陸氣象條件之差異與影響,可利用現況北外防波堤之離岸特性,於其堤頭與堤身上適當位置建置標準的風速測站,此除可提供真實的海上風速資

料外，尙可做爲導航標竿使用。

第二章 港口段航道現況之基本資料

爲瞭解大型貨櫃輪進泊台中港其於港口段航道間所可能面臨之困難及障礙，進而研擬港灣設施之改善對策，本章因此先就台中港現有港口段航道設施、海氣象資料、目前進泊船舶之船型、噸位及操泊情形進行資料蒐集及分析，並探討船舶大型化之發展趨勢。

2-1 航道現況資料蒐集及分析

2-1-1 航道水深及寬度

台中港海域及港口段航道現況如圖2-1-1a、b所示，依民國83年水深測量結果得知，於港口段航道上，除南北外防波堤堤頭連線上，堤端附近存在有局部沖刷坑洞，水深大於19公尺外，主航道水深多介於13公尺至15公尺之間，水深大於10公尺之主航道寬約420公尺，航道方向爲WNW向(N65°40′23.8"W),航道寬度於南北外防波堤間寬約350公尺，水深約14公尺，南北內防波堤口間寬度則較窄，水深達14公尺之航道寬度約270公尺。由於台中港於東北季風盛行期間，海氣象條件並不十分良好，在北防波堤未延長850公尺之前，原北防堤堤頭附近之強流伴隨約與航道垂直之強盛季風作用，造成船舶進港時，船艏極易偏離航向，並有碰觸北防波堤之虞，但在北防波堤延長後，此一問題已獲得較大之改善。

台中港現正從事港口第二階段擴建計畫,工程完工後，港外航道水深將保持在20公尺左右，港口段航道配合台中港整體規劃及未來發展計畫之施行，主航道水深將浚深至15公尺，滿足6萬噸級巴拿馬極限輪在航道上候潮操航所需之水深16公尺，進港航道最窄處將爲300公尺，大於6萬噸級巴拿馬極限輪之1倍船長。另爲因應船舶在主航道上航行時，船身受風影響常有偏離航道之障礙，現有港口段主航道亦將採橢圓弧狀加寬並浚深，最大航道寬度可達600公尺[3],[4]，如圖2-1-2所示[5]。

2-1-2 航道長度

台中港在北防波堤延長850公尺後，主航道從北防波堤頭至南北內防波堤口間長約2,500公尺，而港口段航道(港口至南北內防波堤口之間)長約1,600公尺。依照航道設計規範，自港口至迴船池之航道長度，即停船之安全距離至少應等於5倍船長以上之長度，且須視港口環境而酌予增加。台中港在進行港口第二階段擴建工程之前，因主航道與海流、恆風方向約略垂直，大型船舶進港後船身受風

通常易向北偏離航道，另船舶爲能安全通過內港口，船舶常需保持適當航速，因此進入內港口後停船距離稍嫌不足。北外防波堤延長850公尺後，船舶進港在港口段航道已能調整船身，航線對準內港口，並進行減速進港之動作，停船距離相對增加，船舶已可在迴船池內停車待轉。目前台中港已配合實施加強拖船拖帶服務，擴建後之航道長度應可滿足6萬載重噸級巴拿馬極限輪進港之操船安全需求[3]。

2-1-3 導航及通信設施

台中港主航道附近現有導航設施爲#1碼頭遠東穀倉屋頂之台中港燈塔及雷達燈杆〔雷達標〕一座，南北防波堤燈桿、南北內防波堤燈桿、漁港外內防波堤燈桿、淺水船渠防波堤燈桿、工作船渠東西堤燈桿及北防沙堤堤頭燈桿等10座。在北突堤前有前後導標各一座，船舶進港時在主航道上對正設於#8A碼頭後線之前後導標(並參考電視鐵塔)前進通過南北內堤港口。出港時，則依南北內防波堤堤頭燈桿對正主航道駛出台中港[3]。漁港外環碼頭有前後導燈各2座，一組導引漁船進出梧棲漁港，另一組則爲工作船渠船舶進出港口標示之用。另在南防波堤與南海堤交接處設有信號台一座，爲台中港船岸通信之主要設施。

港埠無線電話(VHF)通信有台中港埠電台及海岸電台，都是24小時值守，隨叫隨應。台中港埠電台位於台中港信號台，呼號爲"台中港埠電台"。所採用之頻道計有三個：頻道16(156.8MHz)供呼叫值守之用;頻道14(156.7MHz)供工作通信之用;頻道12(156.6MHz)供港勤船及引水人員之用。通話距離爲10浬。海岸電台位於北緯24°17′;東經120°31′，呼號爲"XSW2"，呼叫頻率500KHz，工作頻率爲476KHz[1]。整體導航設施位置分佈如圖2-1-3[1,4,6]。

2-2 海、氣象資料蒐集及分析

船舶進出港口及操航於航道上所須有關之自然環境背景資料，主要可概分爲氣象及海象兩部份，其中包括風力、霧日、降雨、颱風、潮位、流況、波浪及漂沙等，工程應用以風力、潮位、波浪及流況最爲重要。分述如后：

2-2-1 氣象

1. 風力

台中港對風觀測具較長期記錄之測風站有三處，分別處於北防波堤堤跟處，即梧棲漁港後側(A站)、海港大樓樓頂(B站)及北防沙堤防風林觀測站(C站)。各測站位置如圖2-2-1，而各測站設置之有關資料則詳如表2- 2-1[3]。對本計畫

而言，因A站距港口航道最近，且受地形影響最小，記錄期間也較長,故本計畫使用北防波堤堤跟處A站高程爲+24m所測得之風力資料爲依據。

(1) 風速、風向分佈

台中港北防波堤堤跟處風測站民國61年至民國70年統計之全年風玫瑰圖如圖2-2-2所示。民國65年至69年夏季(4至9月)及冬季(每年10月至翌年3月)風速風向發生比例及超值比例如表2-2-2及表2-2-3所示[3]。夏季中每年4、5月及9月爲季風轉型期，風向仍以NNE爲主，南向次之；6月至8月風向以S向爲主，SSW及SW向次之。平時風力均小，風速平均5.7m/sec，但颱風來襲時則風力增強。冬季期間受東北季風影響，風向以NNE爲主，NE方向次之，兩者共佔79%以上。再其次爲N向，約佔6%左右，風速大於15m/sec以上者，佔全冬季約14.3%，記錄中最大季風風速爲34m/sec,發生於民國67年10月12日18時,如表2-2-4所示。就操航觀點而言，強風影響船舶進港航行、靠泊碼頭及相關裝卸作業，而台中港操航極限風速約爲15m/sec[4]。

(2) 吹風延時

台中港北防波堤堤跟處風測站之吹風延時分佈如表2-2-5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2.7%之發生機率，而吹風延時持續超過8小時者更少，僅有1.6%；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小時之機率分別爲18.4%及12.6%[3]。

(3) 逐時風力分佈

由北防波堤堤跟處風堤測站之逐時資料顯示，無論夏季或冬季，夜間風速較白天低且分佈較爲穩定，白天風速隨日照強度而明顯增強，夏、冬季之逐時平均風速分佈如圖2-2-3，一天當中風速通常在午後3～5時達到巔峰。圖2-2-4及圖2-2-5爲夏、冬季不同強度風速於24小時內各時刻之出現機率，夏季強風出現之機率遠小於冬季。以20m/sec以上強風出現之機率爲例，冬季下午3～5時之超值機率約爲6%，爲傍晚或清晨時之3～5倍，故港務局多利用清晨或傍晚風浪稍微平穩之時刻引領船舶進港[1],[3]。

2.霧日

據中央氣象局梧棲測候站資料，霧日時能見度小於一公里之月平均及月最多之霧日數如圖2-2-6及表2-2-6[3]。全年月平均霧日數最多者爲3月份，平均數約兩天，而2月份曾發生最多霧日數有9天；年平均霧日數爲6.8天，年發生最多霧日數爲13天，最少者僅有一天。

3. 降雨

表2-2-7及圖2-2-7爲中央氣象局梧棲測站統計歷年各月平均降雨日數(>0.1mm)與各月最多降雨日數。各月中降雨日數最多者爲3月份，平均有24日，10月份最少，平均僅5日，年平均降雨日數爲97.1日。表2-2-8及圖2-2-8爲梧棲測站歷年各月平均降水量與各月最大降水量之統計。降雨量多集中於4～8月，而以10月份最少，平均僅4.0mm，而年平均降雨量約爲1,317.3mm。

4. 颱風

颱風是臺灣最常見的自然災害之一，大多數出現在夏季及秋季，冬、春兩季較少，經統計自1897年至1990年間共94年之颱風資料，如表2-2-9所示[7]。平均每年侵台之颱風次數約爲3.54次，颱風年侵台次數最多達8次，最少爲零次。且以8月份出現機率最多佔30.3%，七月份次之佔25.0%，9月份佔22.6%，其餘各月分則較少。圖2-2-9爲侵台颱風路徑分類，大致上可劃分爲7種，其中以2及5路徑颱風中心可能通過台中港附近，共佔所有路徑之18%[7]。第1、3路徑颱風掠過臺灣南北兩端，亦可能在台中港引起不小之陣風。依氣象局梧棲測候站颱風記錄所得之最大平均風速爲33.0m/sec，最大瞬間風速49.7m/sec，風向都是NNE，爲民國75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爲39.0m/sec。該颱風由台東新港間登陸，從梧棲北方出海，對台中港造成甚大之災害[1]。

2-2-2 海象

影響近岸海域之海象因素，主要有潮汐、波浪、風、流體剪應力、科氏力、地形邊界效應、底床摩擦力等項目，而流體密度變化、污染質濃差效應，除在某些特定地區會造成較大影響外，一般其影響均不考慮。此外，有些地區洋流及其支流也會有些微之影響。探討近岸地區之流況，首先必須了解當地之潮汐、風及波浪等主要影響因素之特性。潮汐一般而言可將其視爲一種淺水長波，其引致之潮流一般均較爲規則化，而颱風產生之暴潮及流況則較複雜。風剪力所引起之風吹流，其影響之深度一般則皆限於水體表面一定之深度內。波浪引起之近岸流，則亦多限於近岸一定範圍內。有關潮位、風、波浪及海流之現場觀測資料，本所於1994至1996年間曾作較長期之觀測，此處僅取典型之代表資料綜合整理並分析於后。

1. 潮位

台中港附近設置之海象調查測站，相關位置與測站編號如附圖2-2-10所示，潮位測站(ST-8)位於四號碼頭附近。圖2-2-11分別爲1994年1月至4月間，於潮測站

觀測之典型逐時潮位變化圖，表2-2-10爲1994年1月至3月間，於潮測站觀測之潮位按潮波波高大小排列之月潮波波高及週期分佈之統計結果。圖2-2-11顯示台中港潮位變動範圍約在0至5米之間，表2-2-10顯示平均潮差（即潮波波高）接近4米左右，平均潮波週期約爲12.5時左右（半日潮）。最大潮差（即潮波波高）約可達5米左右，示性潮差（即潮波波高1/3），則約爲4.5米。圖2-2-12爲1994及1996年1月份台中港之月逐時潮位比較圖，由圖可知，台中港大潮每月約有1至2次。

整體而言，台中港地區之潮差甚大。圖2-2-13a、b、c分別爲1994年1月至3月間，於潮測站觀測之月潮位能譜圖，依潮位能譜之分析結果可知台中港潮位月能譜的相對尖峰出現在週期12小時及24小時附近，亦即台中港的潮汐主要爲半日潮及全日潮，而半日潮又較全日潮爲大，全日潮振幅約爲半日潮之1/8至1/10間，半日潮之振幅約爲3.0米左右。

根據以往台中港所測得之潮位資料，各項潮位基準統計分析結果如下[3]

最高高潮位	H.H.W.L	=	5.86m (60.9.23)
平均高潮位	M.H.W.L	=	4.42m
平均潮位	M.W.L	=	2.65m
平均低潮位	M.L.W.L	=	0.88m
最低低潮位	L.L.W.L	=	-0.55m (76.1.2)
平均潮差	AVE. RANGE	=	3.54m

2. 波浪

台中港港口附近之波浪觀測站共有三處，測站編號分別爲ST-1, ST-2及ST-4，如圖2-2-10所示，測站ST-1位於北防沙堤堤頭西北西方約800公尺，水深13米處，其型式爲浮球式波向波高波浪儀，主要用作長期波浪觀站；ST-2測站設於台中港北防波堤外距堤頭約200公尺處，ST-4測站則位於南防波堤以南之海域，兩者亦皆爲浮球式波浪儀，測站資料涵蓋期間自1994年9月底至1996年3月底。以下僅就各站典型之資料綜合整理分析於后。

在1995年7月及8月夏季西南季風期間各觀測時期之波浪（$H_{1/3}$及$T_{1/3}$）逐時變化圖，如圖2-2-14a,b，因爲西南季風影響所產生的風浪，先到達台中港海域ST-4站及ST-2站，而ST-1站因受北防波堤遮蔽波浪較小。因此夏季係以ST-4站爲分析對象，由1995年8月間$H_{1/3}$及$T_{1/3}$之統計方塊圖（圖2-2-15a,b）得知，$H_{1/3}$平均爲0.5米，最大$H_{1/3}$爲1.7米，$H_{1/3}$小於0.5米約佔67%，$H_{1/3}$介於0.5米～1.0米約佔28%，平均$T_{1/3}$爲4.2秒，最大$T_{1/3}$爲9.9秒，$T_{1/3}$介於3秒～4秒約佔41%，$T_{1/3}$介

於4秒～5秒約佔23%, $T_{1/3}$ 介於5秒～6秒約佔17%,顯示夏季除颱風外期間,波浪並不大。

在1995年1月及2月冬季東北季風期間,觀測波浪 $H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 之逐時變化如圖2-2-16a,b所示,由於冬季東北季風影響所產生的風浪,先到達台中港海域ST-2站及ST-1站,而ST-4站則受北防波堤遮蔽波浪較小,因此冬季係以ST-2站爲分析對象,於1995年1月間由ST-2站 $H_{1/3}$ 統計方塊及 $T_{1/3}$ 統計方塊圖(圖2-2-17a,b)得知,平均 $H_{1/3}$ 爲1.9米,最大 $H_{1/3}$ 爲3.4米, $H_{1/3}$ 大於2.0米約佔53%, $H_{1/3}$ 介於1.0米～2.0米約佔33%,平均 $T_{1/3}$ 爲6.0秒,最大 $T_{1/3}$ 爲7.9秒, $T_{1/3}$ 介於4秒～5秒約佔12%, $T_{1/3}$ 介於5秒～6秒約佔31% , $T_{1/3}$ 介於6秒～7秒約佔43% 。

以上初步分析顯示冬季之波高及週期皆較夏季期間爲大。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,致使波高及波週期皆明顯較夏季爲高,圖2-2-18a,b及圖2-2-19a,b即分別爲台中港冬夏季典型之風速、風向逐時記錄圖。

台中港遠自民國60年7月起，即曾採用超音波式波高計進行波浪觀測，當時儀器置於北防波堤外海低潮位下19公尺處。以歷年波浪資料記錄統計分析，可得北防波堤延伸前夏季及冬季示性波高與週期之機率分佈，分別如圖2-2-20(a)及(b)所示[3],[4] 。由圖可知，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5～7秒之間。在歷年記錄中冬季示性波高最大可達4.95公尺，週期8.9秒。夏季波浪以小於1.0公尺之波高出現機率最多，約佔全夏季之79% ，週期較冬季略小，集中於4～6秒之間。記錄中夏季最大之示性波高爲5.62公尺，週期10.9秒。由上述波浪統計特性可知，台中港海域夏季時平均波高較小。而冬季時風速增強波浪變大，對領港登輪及操船時所造成的心理壓力相對亦增加。

根據台中港海域雷達波向觀測調查結果(如表2-2-11)顯示[4] ，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月份以後爲季風轉換期，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。

北防波堤延長850公尺後，依據本所1994年12月份實測所得之台中港海氣象資料變化歷時圖(圖2-2-21)分析可知，當風速超過10m/sec時， ST.1北防沙堤測站及ST.2北防波堤堤頭測站之示性波高大致均在2公尺～3公尺之間，且以ST.2站示性波高較大。ST.4南防波堤測站示性波高雖仍隨風速變化而改變，但大致均在2公尺以下。

根據本所就觀測期間有關波浪資料分析之結論可知，台中港海域之波浪主要由冬季東北季風所造成，風速與波浪有很好之相關。以ST.1站來看，風速在5m/sec左右時，$H_{1/3}$在1公尺以下，$T_{1/3}$在4～5秒；風速在10m/s左右時，H1/3在1～2公尺，T1/3爲5～7秒；風速在15m/s左右時，$H_{1/3}$在3～4公尺，T1/3爲6～8秒，波向在北北西～北北東之間[8]。圖2-2-22爲本所對台中港進行海氣象調查期間所得各測站示性波高及示性週期之比值圖。由圖可知，ST.2站之示性波高大於ST.1站，平均約爲ST.1站波高之1.3倍；ST.4站與ST.2站之示性波高比值平均約爲0.6，即北防波堤至錨泊區波高衰減率約爲0.6。各測站示性週期的比值相差不大，平均接近於1。由以上之討論可知，北防波堤延伸850公尺後，對季風期來自北向之波浪已產生明顯之遮蔽效果。

3. 流況

台中港海域在冬季遇冷鋒面過境時，一般風力將增強，外海流速最大可達2～3節。北防波堤尚未延長850公尺之前，港口附近因流場束縮及受沿岸流之作用，於低潮之前後時段，港口流速最大可達4～5節，流向幾乎與航道垂直，對船舶進港構成極大之威脅[1]。故於東北季風期間鋒面過境時，船舶多儘量避開此段時刻，選擇高潮時再行進出港口。對港口而言，一般橫流大於3節以上時，船舶進港即有潛在危險。圖2-2-23爲台中港北外防波堤延伸850公尺前冬季外海實測各點主要流向及最大流速分佈狀況[1]。

台中港海域夏季風力微弱，流況主要由恆流(黑潮)及潮流所控制，圖2-2-24爲北外防波堤延伸前夏季之流況變化，近海流向均朝向NE或ENE向(40～60度)，港口流向受防波堤影響，大部分時刻朝向N或NNE流動。每天最大流速介於40～60cm/sec間，在高潮位時流速最小，在最低潮位開始漲潮後1～2小時之間流速最大。而依台電公司於台中港以南之外海海域觀測結果，夏季時每日最大流速約介於20～100cm/sec之間，8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。

爲瞭解台中港北防波堤延伸850公尺後，外廓防波堤之阻流及遮蔽效果，台中港務局於1994年9月至1995年3月冬季期間曾委託本所在港口附近從事海氣象調查研究，本所設置之海象調查測點共三站，測點編號及位置爲ST.1站(北防砂堤堤外)、ST.2站(北防波堤堤頭)及ST.4站(南防波堤以南)，如圖2-2-10所示[8]。圖2-2-21a,b爲1994年12月份台中港海氣象資料變化歷時圖。由圖中可知，當風向爲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ST.1北防砂堤測站而言，流向約爲240°(西南向)，

最大流速約達70cm/sec ： ST.2北防波堤堤頭測站流向則約爲270°(西向)，最大流速約爲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。以下僅就觀測期間各站之典型資料整理分析如后。

台中港北外防波堤延伸850公尺工程於民國83年完成,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, ST-1 、 ST-2及ST-4測站之水流資料經整理分析後,結果可得如圖2-2-25至圖2-2-30所示[26],各圖中圖a顯示測站之逐時流速及流向記錄、流向以正北爲零度,並以順時鐘夾角表示,圖b爲流速之東西(U)及南北(V)分量逐時圖,正值表示向東或向北分量;向西或向南分量則以負值表示。圖c爲圖a中流速大小之統計方塊圖,流向以圖d之玫瑰圖表示,圖e及圖f分別爲流速東西及南北分量之統計方塊圖,圖g則爲圖a及圖b對應之海流向量進行圖。

於冬季期間,由ST-1測站之逐時記錄,圖2-2-25a至圖2-2-25g,分析可知,本站平均流速爲21.2cm/sec,最大流速可達65.9cm/sec,主要流向爲西南,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ST-2測站之逐時記錄,圖2-2-26a至圖2-2-26g,分析可知,本站平均流速爲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,一般主要流向爲北北西至北向間,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,則主要流向爲西向,此與強盛季風造成之風趨流受沿伸之北外防波堤(N65°40'23.8"W,約爲WNW向)導引與恒流之共同影響應甚明顯。再由ST-4測站之逐時記錄,圖2-2-27a至圖2-2-27g,分析可知,本站平均流速爲20.6cm/sec,最大流速66.5cm/sec,平均流速與最大流速皆與ST-1測站相當,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ST-2測站造成偏西之水流時,必於北外防波堤南側形成反時鐘方向旋轉之環流,而ST-4測站恰位於環流影響範圍內,故雖其季風風速之直接影響不如ST-1與ST-2測站,但其流速大小卻與ST-1相當,此點對照比較圖2-2-27a與圖2-2-25a及圖2-2-26a後即可明顯得知,當季風風速不強且ST-2測站流速低於平均值時,則ST-4之流速流向影響因素與特性應與ST-1站相類似。

於夏季期間,由ST-1測站之逐時記錄,圖2-2-28a至圖2-2-28g,分析可知,本站平均流速爲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ST-2測站之逐時記

錄，圖 2-2-29a 至圖 2-2-29g，分析可知，本站平均流速爲 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 ST-2 測站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爲向北之恒流與潮汐。再由 ST-4 測站之逐時記錄，圖 2-2-30a 至圖 2-2-30g，分析可知，本站平均流速爲 12.9cm/sec，最大流速爲 43.9cm/sec，絕大部份流速均小於 25cm/sec，水流之強度與 ST-1 測站之結果頗爲相似，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。

根據本所就觀測期間所得有關海流之結論可知，北防沙堤 ST-1 測站海流成分主要爲風驅流，流向爲西南方向，最大流速約可達 70cm/sec。北外防波堤堤頭 ST-2 測站海流成份主要爲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，流向則轉爲西向；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 ST-4 測站海流成份主要爲潮流及恆流，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。

4. 漂沙

臺灣西部海岸多爲坡度平緩且岸線平直之灘岸，受冬季強烈東北季風及夏季颱風波浪作用，漂沙活動劇烈，因此防止漂沙侵入港內，爲台中港外廓堤防之主要功能之一。台中港沿岸漂沙的主要來源爲北部大甲溪及南部大肚溪之河川輸砂。依水資會民國 76 年水文年報資料可得，大甲溪歷年平均輸沙量約 3.82×10^6 噸（約 $1.78\times10^6 m^3$），大肚溪則爲 6.85×10^6 噸（約 $3.19\times10^6 m^3$），故知該海域之漂沙活動極爲活躍。另由歷年實測資料統計，該海域之漂沙方向，夏季大多由南向北，冬季則由北向南，且以後者爲優勢方向。依據民國 68 年台中港漂沙評估報告，台中港沿岸地區每年漂沙量約在 $1.0\times10^6 m^3$ 至 $1.5\times10^6 m^3$，洪水季則高達 $2.0\times10^6 m^3$。依台電公司於台中火力發電廠灰塘附近海域（水深在 10m 以內）地質鑽探結果顯示，海底表層沙粒平均粒徑約爲 0.1 ～ 0.2mm[1]。台中港北外防波堤延伸 850 公尺後，漂沙及港口淤積問題應已獲得大幅改善。

2-3 目前進泊船隻噸位、船型資料蒐集及分析

為瞭解現階段及未來台中港港口段航道設施是否滿足進港船舶之需求，除了必要之航道現況及海氣象資料蒐集分析外，尚需了解台中港進港船舶噸位與船型之分佈與發展趨勢。

2-3-1 台中港歷年進港船舶噸級

表2-3-1及圖2-3-1為台中港歷年進港輪船噸級分佈，進港船舶總艘次由民國74年之1,160艘次增加至83年之3,780艘次，平均年成長率為14.2%，成長相當快速。民國74年10,000噸級(不含)以下船舶佔進港船舶之76.9%，79年降為58.7%，83年再降為54.8%，小型船佔有比率逐漸降低；10,000～19,999噸級船舶在民國74年佔進港船舶之12.8%，民國79年上升至24%，83年再提升至27.3%，目前已為台中港主要之進港船型；另20,000噸級以上船舶佔有比率亦自民國74年之10.3%，提昇至民國83年之17.9%，其中4萬～6萬噸級船型之進港船數，在民國74年僅7艘，民國79年時為21艘，到民國83年時則有34艘，此一結果顯示了台中港進港船舶有日漸大型化之趨勢[3]。

2-3-2 台中港歷年進港船舶種類

依據台中港務局之統計資料，進港貨輪可區分為貨櫃輪、穀類輪、油輪(含油品、化學品及非危險管道貨)、散裝輪、煤輪、木材輪、冷藏輪及一般貨輪等11種。表2-3-2及圖2-3-2為台中港歷年輪船進港種類及艘次之統計。台中港民國74年進港貨輪以一般貨輪為主，約佔進港船舶之37%，79年降為31%，83年僅有19%，而民國74年，貨櫃輪佔進港船舶之8%，民國79年為23%，83年則提昇至27%，為目前台中港主要進港船舶種類，顯示台中港雜貨貨櫃化比例逐年提高。此外散裝輪亦由民國74年之11%，提昇至83年之23%[3]。

2-3-3 台中港各類船舶進港分佈現況

表2-3-3及圖2-3-3為台中港民國83年各類船舶進港艘數、平均噸位及平均船長之分佈情形[3]。其中平均船噸最大者為台電煤輪之35,417噸，被歸類為"其他"類別之船舶則以平均船噸33,995居次，第三則為穀類輪之平均船噸31,336。以進港艘數而言，貨櫃船年進港1,011艘次，居各類輪進港船數之首，平均船長為146公尺；其次為一般雜貨輪703艘次，平均船長127公尺。第三為化學品輪554艘次，平均船長117公尺。

表2-3-4及表2-3-5分別為台中港民國83年各類進港船舶之船噸及船長分佈[3]。其中貨櫃輪船型以5000總噸至10000總噸之398艘次最多，約佔總貨櫃輪之

39.4%，1萬總噸至1.5萬總噸級及1.5萬總噸至2萬總噸兩級亦佔相當之比例，佔有率分別爲26.3%及20.5%；船長則多在250公尺以下，其中以100～200公尺長之貨櫃輪最多，計有965艘。台電煤輪以3萬至4萬總噸級之105艘次最多，佔有率爲88.2%，爲典型之固定班輪型態；所有煤輪船長均在300公尺以下，船長在250～300公尺之間者有7艘，主要船數集中在200～250公尺之間，計有108艘。

由於台中港於民國83年10月完成港口段北外防波堤延伸850公尺之擴建計畫，最大進港船型已提昇爲6萬載重噸(相當於5萬總噸)，且進港條件因港口擴建及北防波堤延伸後已大幅改善，因此可預期台中港未來允許之進港船型仍將持續朝向大型化邁進[3]。

2-4 目標對象大型船舶

依前述台中港目前進港船舶噸位與船型之分析得知，未來可能進泊之大型船舶以貨櫃輪、散裝貨輪及煤輪爲主。一般貨櫃輪及大型煤輪相關船型規格如表2-4-1及表2-4-2所示,現況及未來航道寬深及長度需求如表2-4-3所示,本所曾於84年11月函[10]台中港港務局之『台中港港口段航道設置減風設施可行性研究修正工作項目說明書』中，對未來進港對象大型船舶由第四代貨櫃輪及12.5萬噸煤輪修正爲『以第三代貨櫃輪(3000TEU)爲台中港港口段航道設施改善之重點研究對象，第四代貨櫃輪及12萬5千噸煤輪則移爲相關研究之輔助參考並酌量辦理』。其後，依據本所「台中港整體規劃及未來發展計畫」研究結果，於84年12月，復函[11]修定『大型船舶將以相當60,000 DWT巴拿馬極限輪或3000TEU級貨櫃輪爲未來大型船舶研究之對象，12萬5千噸級煤輪停止辦理』。本研究未來大型船舶對象依此目標就港口段航道設施、風、波浪及海流等天然相關條件限制，探討該類船型進出現有港口航道可能遭遇之困難與障礙，進而擬定港口段航道設施建議之改善對策。

表2-2-1　台中港既有風力測站資料

風力測站	測站位址	測點高程	觀測期間	設置單位
北堤測站(A)	北防波堤堤根	+24 m +10 m	1970.10~1980.12 1973. 3~1976.11	台中港務局
梧棲測站(B)	海港大樓頂端	+40 m	1977年迄今	中央氣象局
防風林測站(C)	防風林內消防隊觀測塔塔頂	+27 m	1980年迄今	港灣技術研究所

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-2-2 台中港北堤測站夏季風速風向分佈統計表

測站:台中港北堤測站　　觀測期間： 1976.1～1980.12

風速 (M/SEC)	風向 NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	小計	超值機率
<1.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	1.1	97.3
1.0 - 1.9	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	1.2	0.9	0.8	0.4	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	7.7	89.8
2.0 - 2.9	0.6	0.9	0.7	0.6	0.5	1.1	1.4	1.6	0.6	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	11.3	78.4
3.0 - 3.9	0.9	1.2	0.5	0.4	0.2	0.5	1.6	2.6	0.8	0.5	0.4	0.6	0.4	0.8	0.9	0.9	13.2	65.2
4.0 - 4.9	1.2	1.3	0.2	0.1	0.1	0.2	1.1	2.9	0.8	0.5	0.3	0.6	0.5	0.9	1.0	1.0	12.7	52.5
5.0 - 5.9	1.2	1.3	0.1	0.0	0.0	0.1	1.0	3.2	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.6	0.6	1.1	12.2	40.4
6.0 - 6.9	1.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.2	0.1	0.3	1.0	9.4	30.9
7.0 - 7.9	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.1	0.5	0.7	0.5	0.4	0.0	0.0	0.1	0.8	7.8	23.0
8.0 - 8.9	1.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	0.5	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	5.8	17.2
9.0 - 9.9	1.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.3	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.1	13.1
10.0 - 10.9	1.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.4	9.7
11.0 - 11.9	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.1	7.4
12.0 - 12.9	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.7	5.7
13.0 - 13.9	1.0	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	0.0	0.1	1.3	4.2
14.0 - 14.9	0.8	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	0.0	0.1	1.1	3.1
15.0 - 15.9	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	2.2
16.0 - 16.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5
17.0 - 17.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.1
18.0 - 18.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7
19.0 - 19.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6
20.0 - 20.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
21.0 - 21.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
22.0 - 22.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
23.0 - 23.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
24.0 - 24.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
25.0 - 25.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
26.0 - 26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
>= 35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
小計	18.0	9.4	2.1	1.8	1.4	3.3	7.6	17.9	5.9	5.8	3.5	3.9	2.0	3.4	3.7	7.8		

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

靜風機率　1.5

最大風速　30.0

平均風速　5.7

表2-2-3 台中港北堤測站冬季風速風向分佈統計表

測站:台中港北堤測站　　觀測期間： 1976.1～1980.12

風速 (M/SEC)	風向 NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	小計	超值機率
< 1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	98.3
1.0 - 1.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	3.0	95.4
2.0 - 2.9	0.5	0.8	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	4.8	90.5
3.0 - 3.9	1.0	1.6	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	5.9	84.7
4.0 - 4.9	1.7	2.5	0.5	0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	7.0	77.7
5.0 - 5.9	2.3	2.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.8	7.4	70.3
6.0 - 6.9	2.9	2.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	6.6	63.6
7.0 - 7.9	3.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	6.3	57.3
8.0 - 8.9	3.4	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	6.0	51.4
9.0 - 9.9	3.3	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.3	46.1
10.0 - 10.9	4.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.9	40.2
11.0 - 11.9	3.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.5	34.7
12.0 - 12.9	3.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.4	29.3
13.0 - 13.9	3.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.2	24.1
14.0 - 14.9	3.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.7	19.4
15.0 - 15.9	3.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.2	14.3
16.0 - 16.9	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	10.3
17.0 - 17.9	2.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	7.1
18.0 - 18.9	1.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	4.7
19.0 - 19.9	1.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	3.0
20.0 - 20.9	1.0	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	0.0	0.0	1.2	1.8
21.0 - 21.9	0.7	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	0.0	0.0	0.9	1.0
22.0 - 22.9	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4
23.0 - 23.9	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	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
24.0 - 24.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
25.0 - 25.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
26.0 - 26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	0.0	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	0.0	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
>= 35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
小計	52.6	26.7	2.0	0.9	0.8	1.1	1.5	2.0	0.9	0.9	0.4	0.5	0.4	0.6	1.1	6.0		

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

靜風機率　1

最大風速　34.0

平均風速　9.6

表2-2-4 台中港風速大於22m/sec發生次數及所佔百分比

（資料來源：中華顧問工程司，1988）

項目 / 年	風速22M以上次數	全年觀測次數	22m/s以上風速所佔百分比(%)	最大十分鐘平均風速		
				風速(m/s)	風向	時間(月日時)
61*	71	8,784	0.81	31.0	NNE	12.12.10
62*	59	5,671	1.04	25.4	NNE	1.27.23
63*	25	3,217	0.78	30.0	NNE	10.12. 2
64*	97	5,528	1.75	26.8	NNE	12.14. 4
65*	62	7,423	0.84	24.7	NE	12.27.10
66*	110	8,505	1.29	24.8	NE	2.16.14
67*	57	8,644	0.66	34.0	NNE	10.12.18
68*	28	8,649	0.32	25.0	NNE	10.17.14
69*	24	8,626	0.28	22.3	NNE	11. 2.15
70*	60	4,153	1.44	24.6	NE	11.26.17
71**	0	8,749	0	20.8	NNE	7.28.20
72**	3	4,128	0.07	22.9	NNE	11.25.21
73**	3	8,388	0.36	23.1	缺	11.19.19
74**	2	8,579	0.02	22.3	N	10. 3.20
75**	49	8,116	0.60	39.0	ENE	9.19.8
76**	53	8,234	0.64	28.0	ENE	10.24.16

註：*61-70年為台中港務局北堤24m測站(A站)之統計資料。

**71-76年為港研所測站(C站)之統計資料。

表2-2-5　台中港北堤測站風力吹風延時機率統計表

風速 \ 月份 / 延時		一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	夏季	冬季
風速≧5M/SEC	2	78.0	70.4	66.8	60.0	50.7	52.0	45.1	47.9	40.7	68.1	70.3	80.3	49.4	72.3
	4	76.0	68.6	63.7	56.8	47.8	48.3	41.2	44.0	38.1	65.8	69.2	78.9	46.0	70.4
	6	74.7	66.9	61.3	53.0	45.3	44.6	36.7	40.8	35.2	63.6	68.5	78.2	42.6	68.9
	8	74.2	66.5	58.2	51.1	43.0	40.8	32.3	38.2	32.7	61.5	67.3	77.3	39.7	67.5
	12	69.6	63.8	53.0	46.8	36.7	31.7	25.4	32.0	27.1	58.1	64.2	71.4	33.3	63.4
	24	62.1	55.1	45.0	34.6	23.4	17.2	17.2	22.1	21.6	48.1	59.0	65.8	22.7	55.8
風速≧10M/SEC	2	51.0	46.3	31.1	21.9	13.4	4.2	5.9	7.9	18.8	36.5	57.5	46.5	12.0	44.8
	4	49.8	44.7	29.2	19.7	11.9	2.7	4.3	6.7	17.9	35.3	56.1	44.8	10.5	43.3
	6	48.5	42.8	27.6	18.5	10.8	2.0	3.1	6.1	16.8	34.1	54.2	43.1	9.5	41.7
	8	47.3	41.5	25.8	16.3	8.6	1.4	1.8	5.1	15.7	31.4	52.8	41.0	8.1	39.9
	12	44.0	36.3	22.9	13.8	5.1	0.7	1.2	3.1	12.6	22.5	47.3	34.5	6.1	34.6
	24	35.2	29.5	13.1	4.7	1.1	0.0	0.0	0.9	7.7	12.6	40.9	23.5	2.4	25.8
風速≧15M/SEC	2	22.3	19.3	8.8	3.4	1.8	0.2	0.7	2.6	7.6	15.5	26.5	17.9	2.7	18.4
	4	19.6	17.9	7.4	2.7	1.5	0.1	0.5	2.5	7.1	13.9	24.8	15.8	2.4	16.6
	6	18.1	16.5	6.1	2.3	1.4	0.0	0.5	2.1	5.6	12.7	23.2	12.7	2.0	14.9
	8	16.5	15.2	4.7	2.0	1.2	0.0	0.5	1.7	4.4	9.0	19.5	10.9	1.6	12.6
	12	13.7	10.6	3.5	0.4	0.4	0.0	0.5	0.8	2.6	5.0	16.5	7.7	0.8	9.5
	24	7.5	4.1	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	3.4	10.5	3.9	0.4	5.1
風速≧20M/SEC	2	3.6	2.7	0.8	0.2	0.1	0.0	0.1	0.7	2.2	3.3	3.7	2.0	0.6	2.7
	4	3.0	1.9	0.6	0.2	0.0	0.0	0.1	0.5	1.9	2.6	2.7	1.6	0.5	2.1
	6	2.7	1.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	1.9	2.2	1.8	0.8	0.4	1.5
	8	2.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.8	2.0	1.4	0.0	0.3	1.1
	12	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.2	1.0	0.0	0.2	0.6
	24	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.2

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-2-6　中央氣象局梧棲測站霧日統計表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
霧日(平均值)	0.6	1.7	2.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.5	0.4	0.9	6.8
最多霧日	2.0	9.0	8.0	2.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	3.0	3.0	5.0	-

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-2-7　中央氣象局梧棲測站降雨日數統計表

月　份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降水日數(>0.1mm)	6.8	10.4	12.0	11.2	11.9	10.7	7.9	10.8	5.9	2.1	3.9	3.5	97.1
最多降水日數	12.0	22.0	24.0	20.0	18.0	20.0	13.0	18.0	10.0	5.0	9.0	8.0	-

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-2-8　中央氣象局梧棲測站降水量統計表(1976～1990)

月　份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均降水量(mm)	29.3	74.6	111.7	136.3	217.2	217.4	169.4	234.8	83.1	4.0	20.9	18.6	1317.3
最大降水量(mm)	55.4	304.4	364.4	539.7	556.5	671.0	495.2	631.4	268.6	14.9	62.2	62.4	-

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-2-9　民前15年(1897年)至民國79年(1990年)颱風侵襲台灣各月次數

月　份	四　月	五　月	六　月	七　月	八　月	九　月	十　月	十一月	全　年
次　數	2	13	26	85	103	77	27	7	340
平　均	0.02	0.13	0.27	0.89	1.09	0.81	0.28	0.07	3.54
百分數	0.6	3.8	7.6	25.0	30.3	22.6	7.9	2.2	100

(資料來源:工業技術研究院能源與資源研究所,民國82年)

表2-2-10　1994年1月～3月於台中港觀測之潮波波高及週期分佈分月統計量

Tidal Wave Height H(m) and Period T(hour) in Tai-Chung

Date Y/M	HMAX (m)	TMAX (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	HMEAN (m)	TMEAN (sec)	NO.
1994/01	4.96	13.1	4.91	12.9	4.64	12.7	3.81	12.4	59
1994/02	4.98	12.4	4.85	12.5	4.46	12.6	3.67	12.4	53
1994/03	5.25	12.6	5.07	12.6	4.64	12.4	3.77	12.4	59

Tidal Wave Height and period (Descending)　25 wave

1994/01		1994/02		1994/03	
H(m)	T(sec)	H(m)	T(sec)	H(m)	T(sec)
4.96	13.1	4.98	12.4	5.25	12.6
4.93	12.8	4.97	12.6	5.17	12.7
4.93	12.7	4.83	12.7	5.09	12.9
4.91	13.0	4.81	12.2	4.98	12.3
4.83	12.9	4.65	12.5	4.88	12.5
4.82	12.6	4.64	12.1	4.87	12.1
4.79	13.0	4.47	12.5	4.71	12.3
4.75	13.2	4.45	12.8	4.71	12.5
4.71	12.9	4.39	12.7	4.71	12.3
4.71	12.7	4.38	13.0	4.59	12.0
4.55	12.9	4.35	13.0	4.58	12.7
4.55	12.8	4.31	12.4	4.54	12.1
4.55	12.9	4.25	12.5	4.49	12.5
4.54	13.2	4.10	12.8	4.37	12.3
4.50	12.1	4.09	12.0	4.31	12.6
4.35	12.8	4.07	12.1	4.26	11.9
4.32	11.8	4.04	13.2	4.25	12.4
4.25	12.7	4.04	11.8	4.19	12.1
4.22	11.8	4.03	12.2	4.17	12.5
4.18	13.0	4.01	12.1	4.11	12.6
4.13	11.7	3.97	12.3	4.10	12.1
4.10	13.3	3.97	11.9	4.09	12.9
4.09	11.6	3.93	11.9	4.07	12.2
4.08	11.9	3.86	12.4	4.06	12.8
4.08	12.7	3.81	12.5	4.00	12.1

rept1.dat

表2-2-11　台中港各月波向統計

		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 Total	No.	2	7	11	37	100	194	147	40	4	77	181	800
	%	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2-3-1　台中港歷年輪船進港噸級分佈

年別	輪船噸位分類								10,000噸以下佔有率	10,000-20,000噸佔有率	20,000噸以上佔有率
	合計	<1,000	1,000-4,999	5,000-9,999	10,000-19,999	20,000-39,999	40,000-59,999	>60,000			
74	1,160	110	657	125	148	113	7	—	76.9%	12.8%	10.3%
75	1,402	71	752	181	226	168	4	—	71.6%	16.1%	12.3%
76	1,564	68	774	211	276	220	14	1	67.3%	17.6%	15.0%
77	1,733	49	714	311	363	285	11	—	62.0%	20.9%	17.1%
78	1,916	41	777	383	365	333	17	—	62.7%	19.1%	18.3%
79	2,098	56	803	373	504	341	21	—	58.7%	24.0%	17.3%
80	2,620	77	1,030	489	602	401	21	—	60.9%	23.0%	16.1%
81	3,268	108	1,278	558	798	501	25	—	59.5%	24.4%	16.1%
82	3,538	140	1,189	664	918	603	24	—	56.3%	25.9%	17.7%
83	3,780	158	1,112	802	1,032	642	34	—	54.8%	27.3%	17.9%

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-3-2　台中港歷年輪船進港種類及艘次

年別	總計	客輪	客貨輪	貨櫃輪	穀類輪	油輪	木材輪	冷藏輪	散裝輪	一般貨輪	其他輪
74	1,160	—	—	88	38	350	121	2	125	425	11
75	1,402	—	—	216	54	388	106	9	112	489	28
76	1,564	—	—	274	72	415	114	11	156	498	24
77	1,733	1	—	426	74	319	115	2	158	608	30
78	1,916	—	—	453	100	364	129	18	189	620	43
79	2,098	—	—	488	105	477	106	11	228	645	38
80	2,620	1	—	649	115	641	133	1	343	685	52
81	3,268	6	—	877	118	677	169	7	545	745	124
82	3,538	2	—	905	113	678	118	14	784	762	162
83	3,780	0	—	1,014	92	740	88	8	879	724	235

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-3-3　民國83年台中港各類貨輪進港船型

船舶種類	01 水泥	02 食散	03 貨櫃	04 穀類	05 油品	06 化學品	07 木材	08 台電煤	09 民間煤	10 乾散	11 雜貨	12 其他	總計
船舶艘數	351	234	1,011	96	170	554	97	119	85	317	703	43	3,780
船噸合計	3,810,142	1,288,727	10,479,300	3,011,103	3,341,813	4,332,644	706,862	4,214,564	1,557,106	3,480,361	6,554,977	1,461,766	44,239,365
平均船噸	10,855	5,507	10,365	31,366	19,658	7,821	7,287	35,417	18,319	10,979	9,324	33,995	11,704
船長合計	50,396	24,753	147,436	20,547	28,011	64,723	11,716	26,730	14,286	43,868	89,247	7,825	529,537
平均船長	144	106	146	214	165	117	121	225	168	138	127	182	140

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-3-4　民國83年台中港各類貨輪進港船噸分佈

單位：艘次

船噸分佈（總噸）	船舶種類												
	水泥	食散	貨櫃	穀類	油品	化學品	木材	台電煤	民間煤	乾散	雜貨	其他	總計
<1000	-	50	-	-	3	62	3	-	-	7	32	1	158
1000-5000	40	128	130	-	35	292	46	1	15	109	315	-	1,111
5000-10000	123	22	398	-	5	40	28	1	11	57	115	1	801
10000-15000	123	8	266	1	-	24	7	1	20	47	65	2	564
15000-20000	43	10	207	9	18	60	9	-	3	43	63	7	472
20000-25000	22	14	10	23	6	63	3	0	9	34	65	0	249
25000-30000	0	2	0	1	102	13	0	3	2	10	31	5	169
30000-40000	0	0	0	57	1	0	1	105	25	10	16	7	222
40000-50000	0	0	0	5	0	0	0	8	0	0	1	20	34
總　　計	351	234	1011	96	170	554	97	119	85	317	703	43	3780

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-3-5　民國83年台中港各類貨輸進港船長分佈

船長分佈（公尺）	船舶種類												
	水泥	食散	貨櫃	穀類	油品	化學品	木材	台電煤	民間煤	乾散	雜貨	其他	總計
<50	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	16	1	19
50-100	4	76	36	-	23	233	13	1	10	72	200	-	668
100-150	236	126	482	-	19	175	64	1	20	108	266	-	1,497
150-200	111	32	483	32	126	146	20	1	28	120	199	42	1,340
200-250	-	-	10	53	1	-	-	108	27	17	22	-	238
250-300	-	-	-	11	-	-	-	7	-	-	-	-	18
總計	351	234	1,011	96	170	554	97	119	85	317	703	43	3,780

(資料來源:宇泰工程顧問公司,民國84年)

表2-4-1　貨櫃輪之規格

規格 / 船型		能量 (TEU)	載重噸 (DWT)	全長 (公尺)	寬 (公尺)	吃水 (公尺)
第一代貨櫃輪		750	14,000	180	25	9.0
第二代貨櫃輪		1,500	30,000	225	29	11.5
第三代貨櫃輪		2,500~3,000	40,000	275	32	12.5
第四代貨櫃輪	日本貨櫃協會, JCA	6,500	—	345	45	13.5
	德國Bremer Vulkan	5,300~6,000	49,000GT	271	39.4	13.5

(資料來源:中華顧問公程司,民國77年；港灣技術研究,民國84年)

表2-4-2　大型煤輪之規格

規格 / 船型	全長 (公尺)	寬 (公尺)	吃水 (公尺)
60,000 DWT	235	32.2	12.6
125,000 DWT	290	45	16

(資料來源:中華顧問公程司,民國81年)

表2-4-3　對象大型船舶航道寬深需求與台中港港口段航道現況

單位：公尺

項目 \ 船型				第三代貨櫃輪		第四代貨櫃輪		6萬 DWT		12.5萬 DWT		港口段航道現況
船舶尺寸	船長			275		308		235		290		
	船寬			32		42.2		32.2		45		
	吃水			12.5		13.5		12.6		16		
航道深度	水域別			港外航道	港口段航道	港外航道	港口段航道	港外航道	港口段航道	港外航道	港口段航道	
	設計深度	吃水		12.5	12.5	13.5	13.5	12.6	12.6	16	16	
		總餘裕	波浪造成船體浮沈	1.5	0.4	1.5	0.4	1.5	0.4	1.5	0.5	
			船艉載航吃水差	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	
			淨餘裕	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
		小計		15.2	14.1	16.2	15.1	15.2	14.1	18.7	17.7	
	超挖深度	測量誤差		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
		預留迴淤深度		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
		浚挖誤差		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
		小計		1	1	1	1	1	1	1	1	
	總計			16.2	15.1	17.2	16.1	16.2	15.1	19.7	18.7	13
航道寬度	單向航道			> 138		> 154		> 118		> 145		最窄 270
	雙向航道			275 ~ 413		308 ~ 462		235 ~352		290 ~ 435		—
航道長度	停船安全距離			> 1375		> 1540		> 1175		> 1450		1600 (港口段航道)

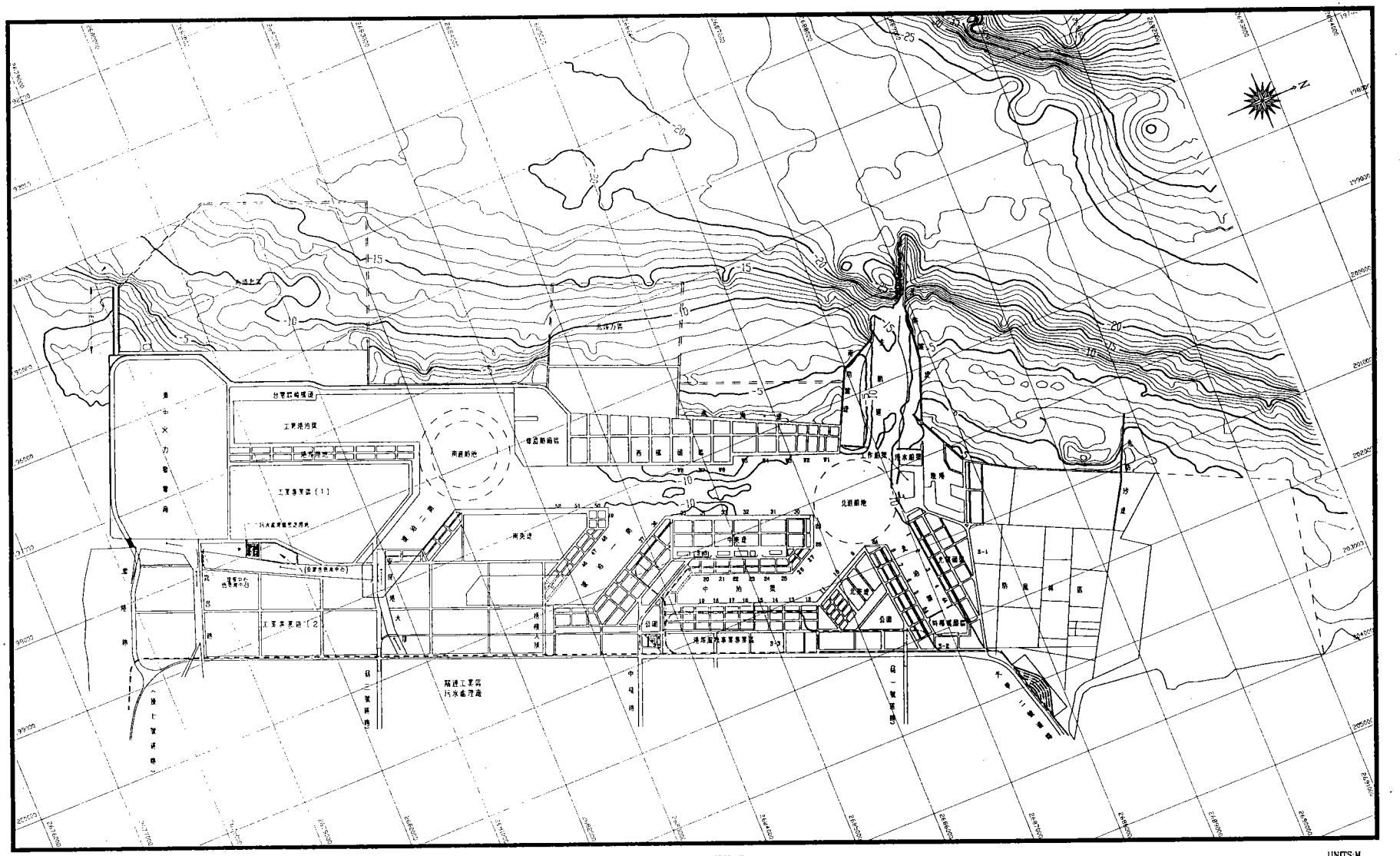


圖2-1-1a　台中港海域水深圖

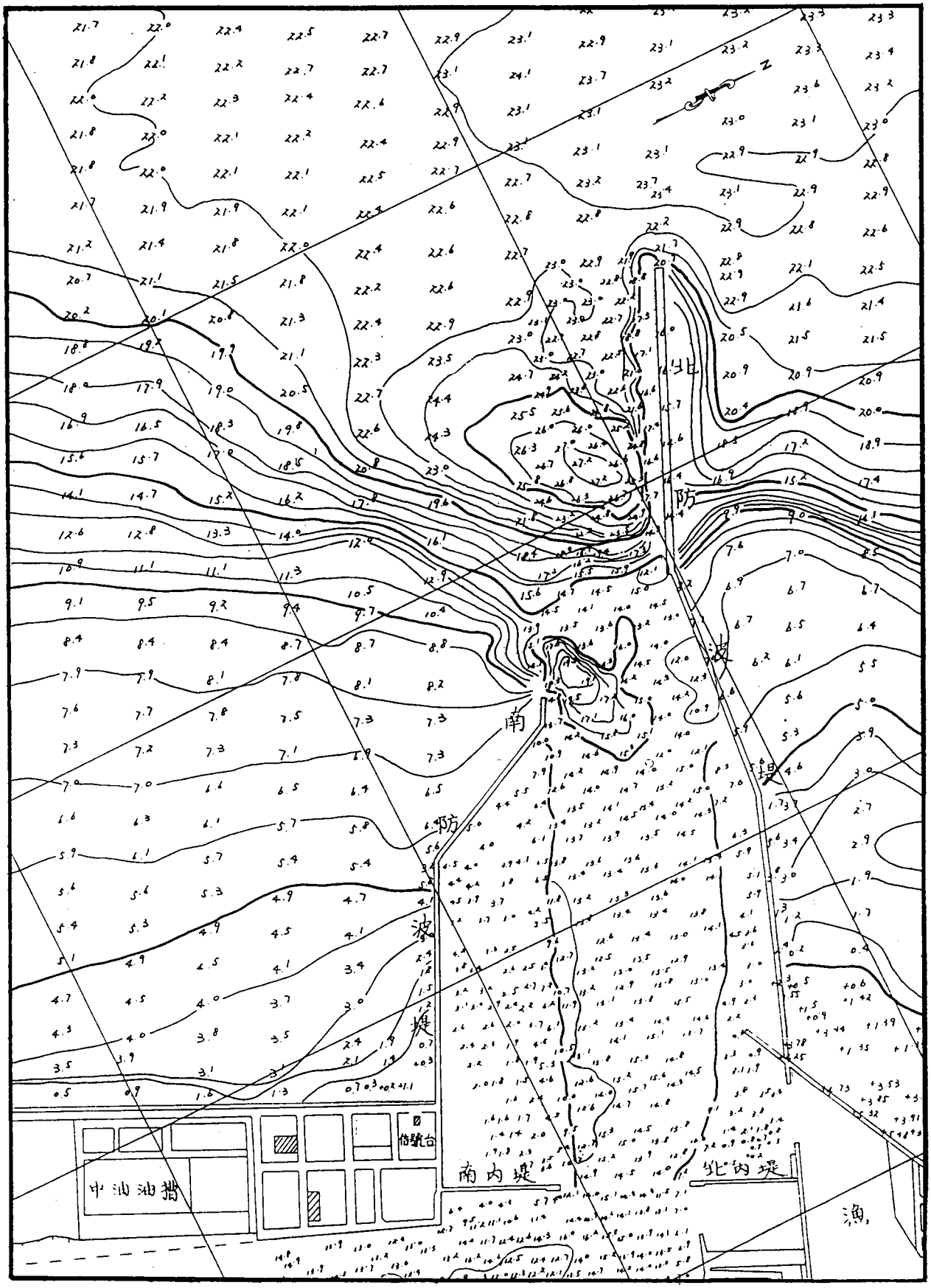


圖2-1-1b　台中港民國83年港口及航道水深圖

（資料來源：台中港務局提供，民國83年）

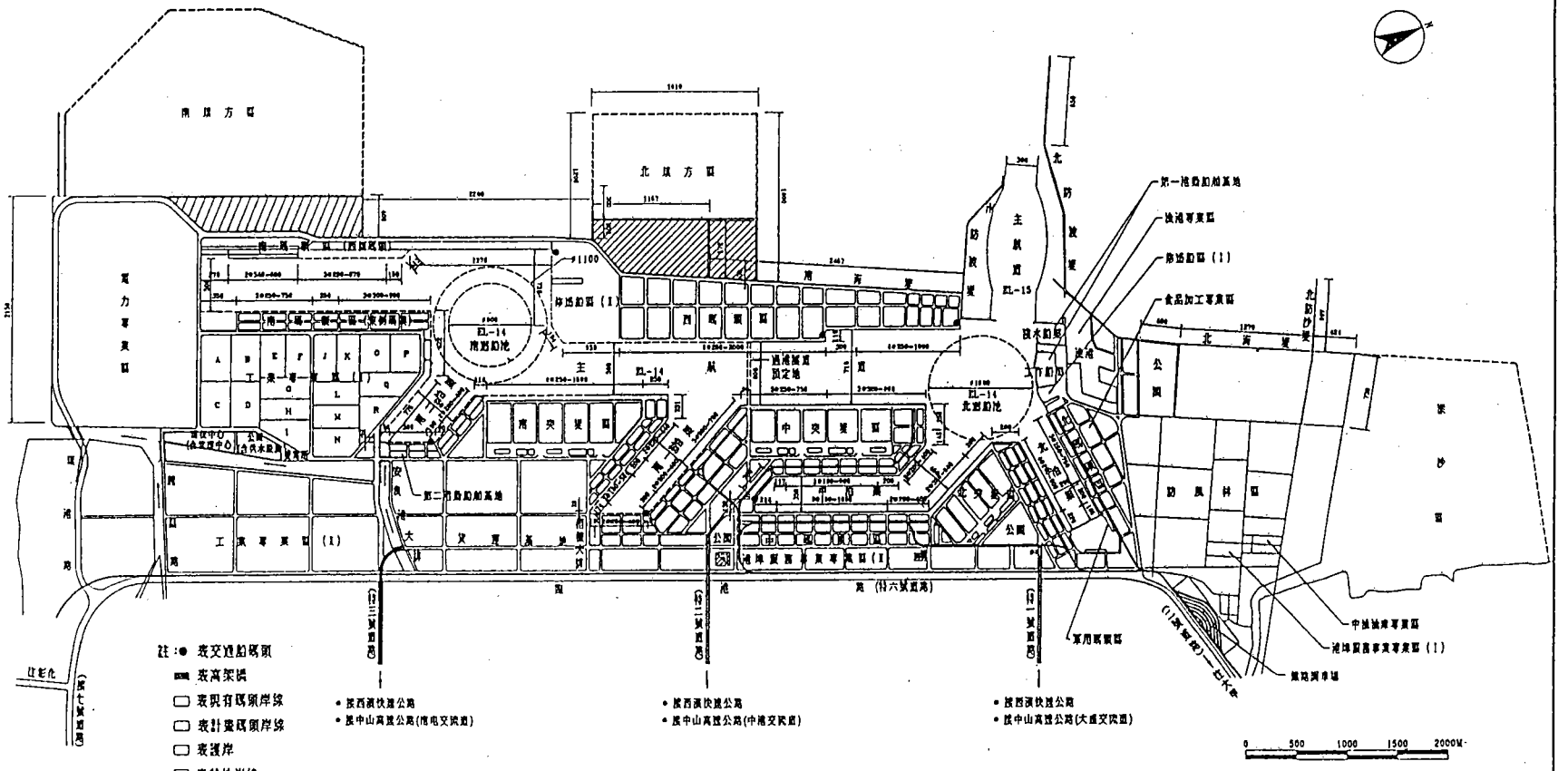


圖2-1-2　台中港港區平面配置圖

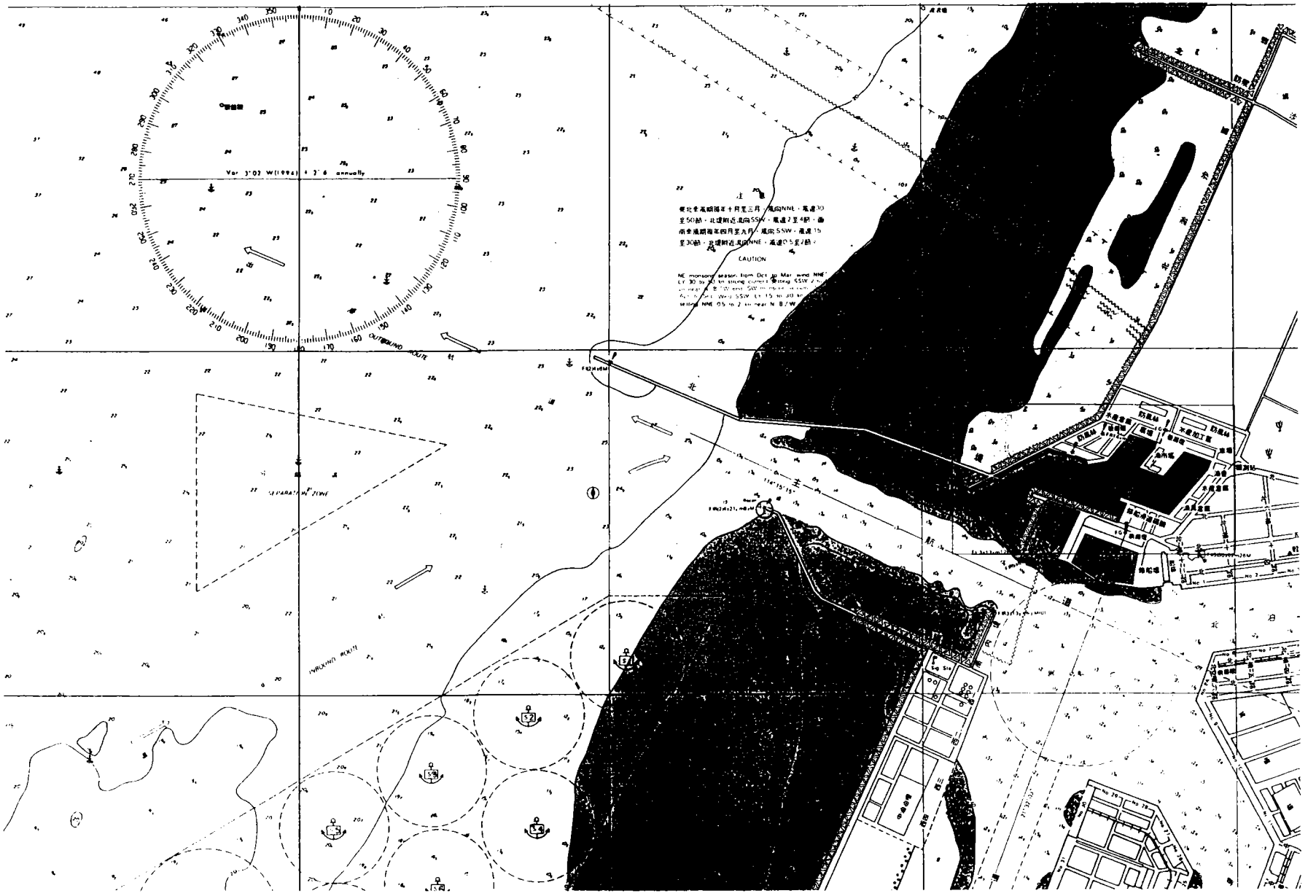


圖2-1-3　台中港進出港海圖

（資料來源：台中港務局，民國83年）

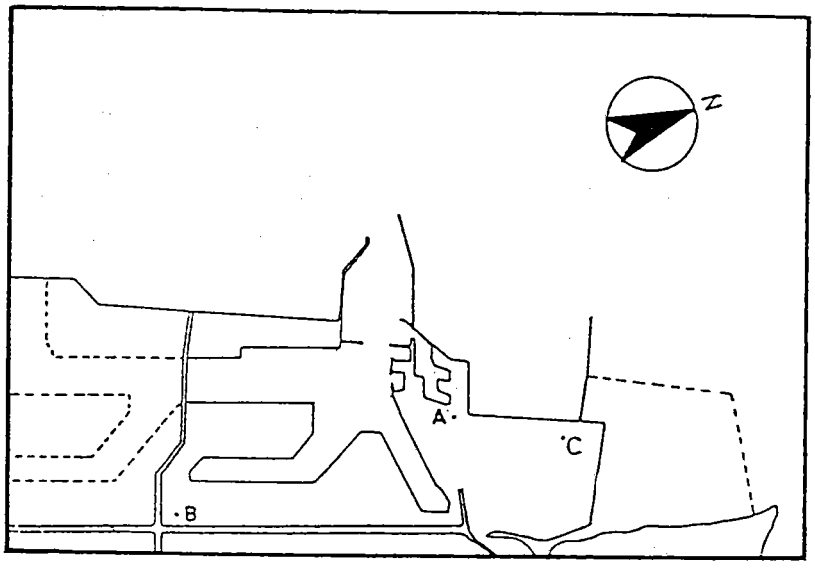


圖2-2-1　台中港既有風力測站位置示意圖

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

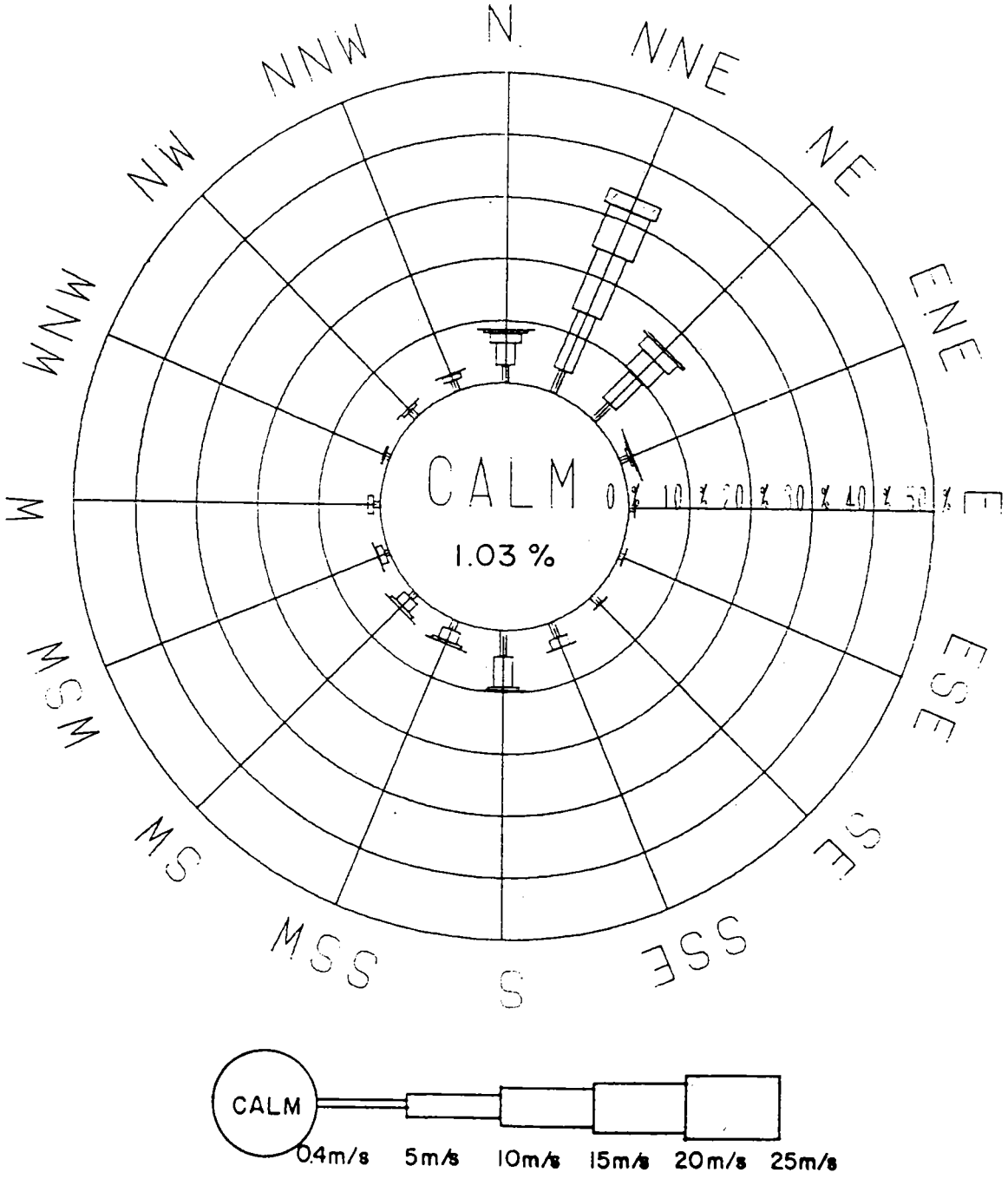


圖2-2-2　台中港北堤24M測站全年風玫瑰圖

（統計年限：民國61年～70年；資料來源：中華顧問工程司，1988）

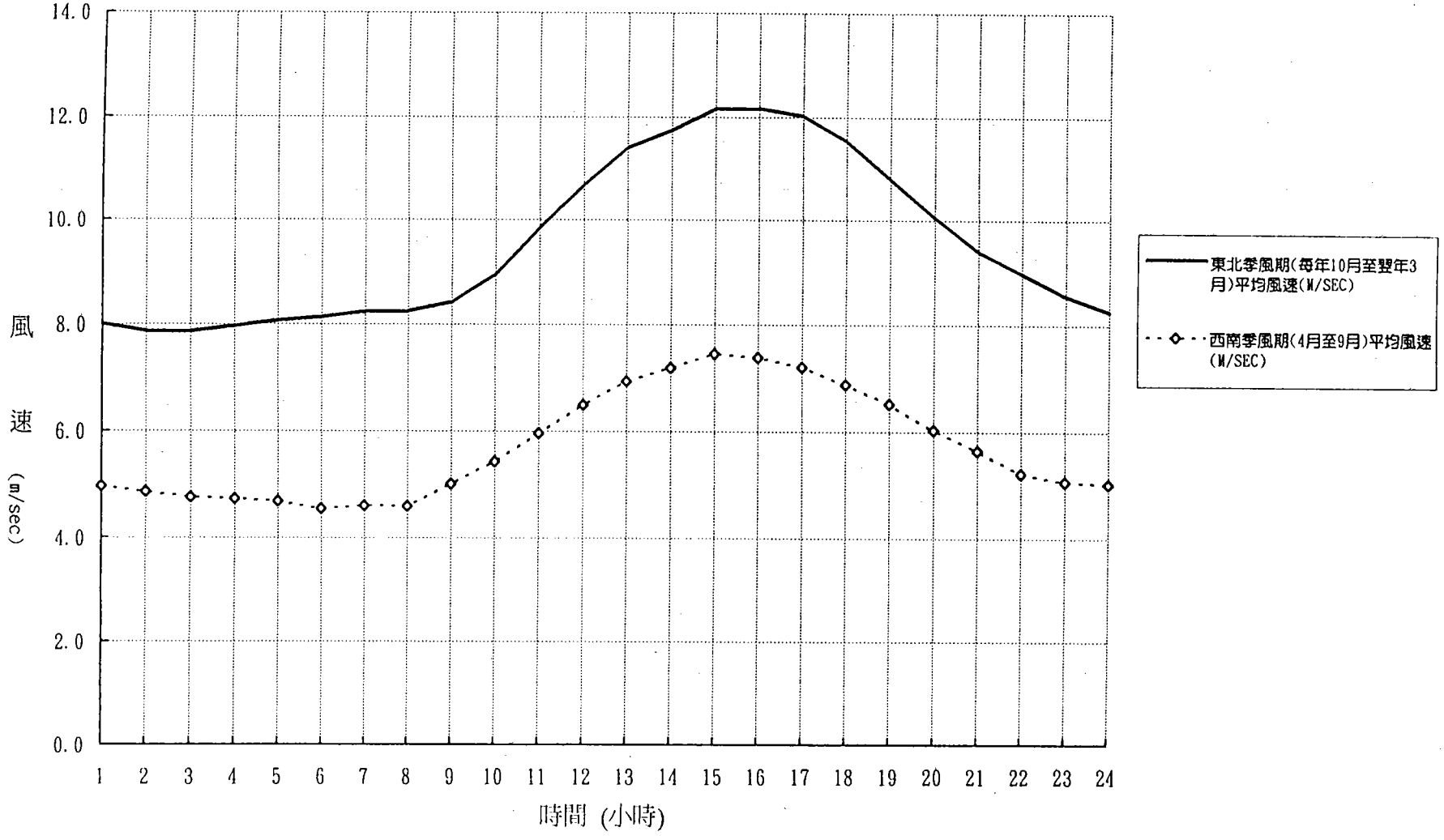


圖2-2-3　台中港北堤測站逐時平均風速

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

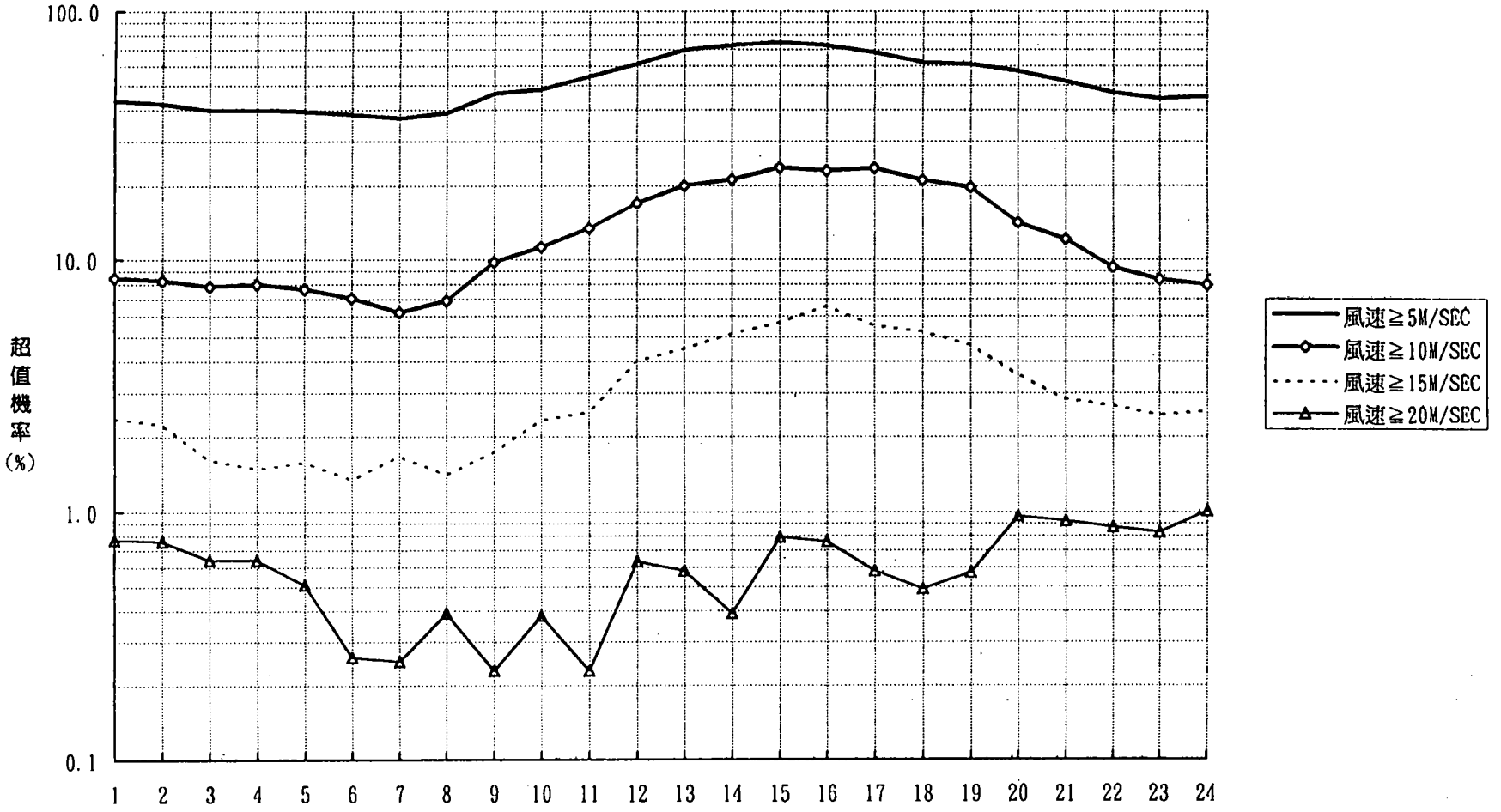


圖2-2-4　台中港北堤測站夏季(4～9月)逐時風速超值機率

(資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年)

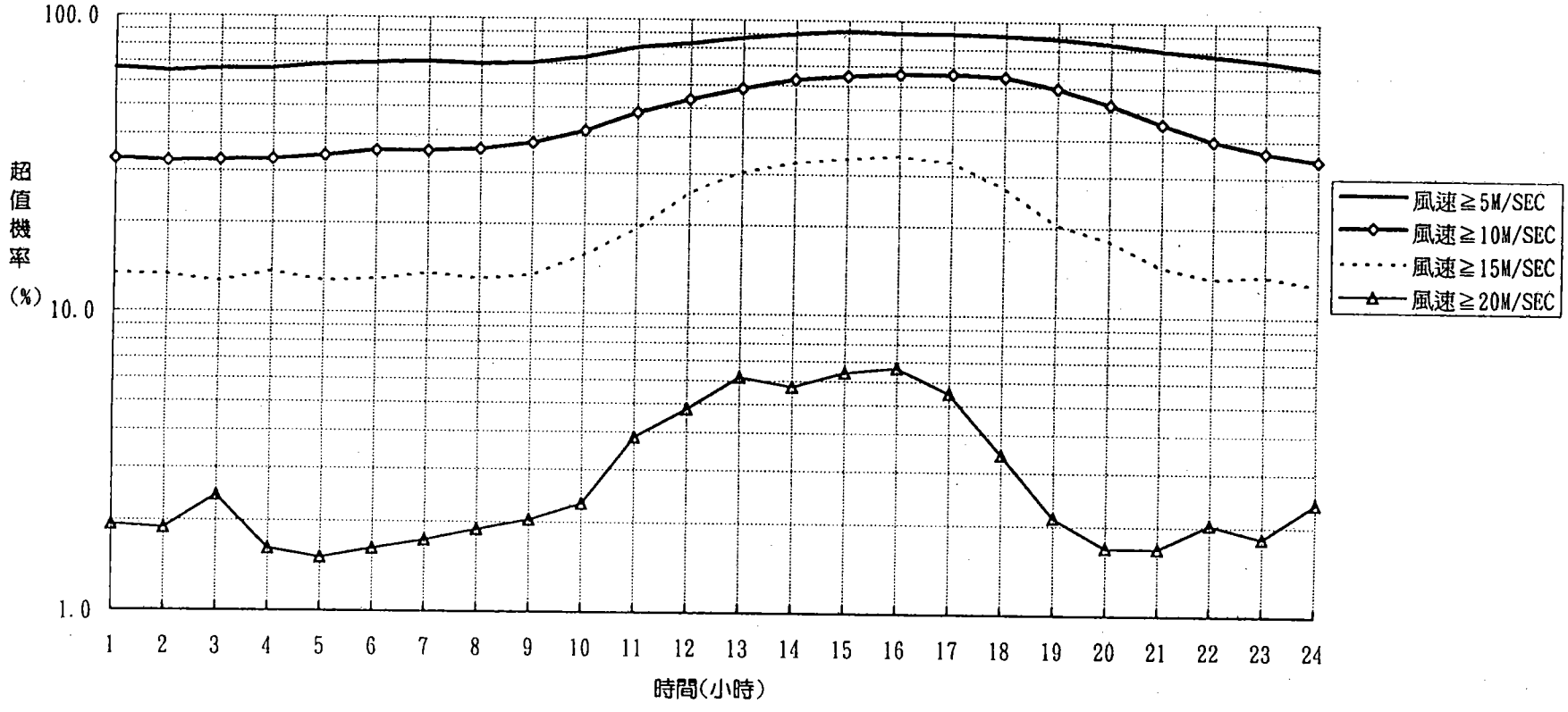


圖2-2-5　台中港北堤測站冬季(10月至翌年3月)逐時風速超值機率

(資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年)

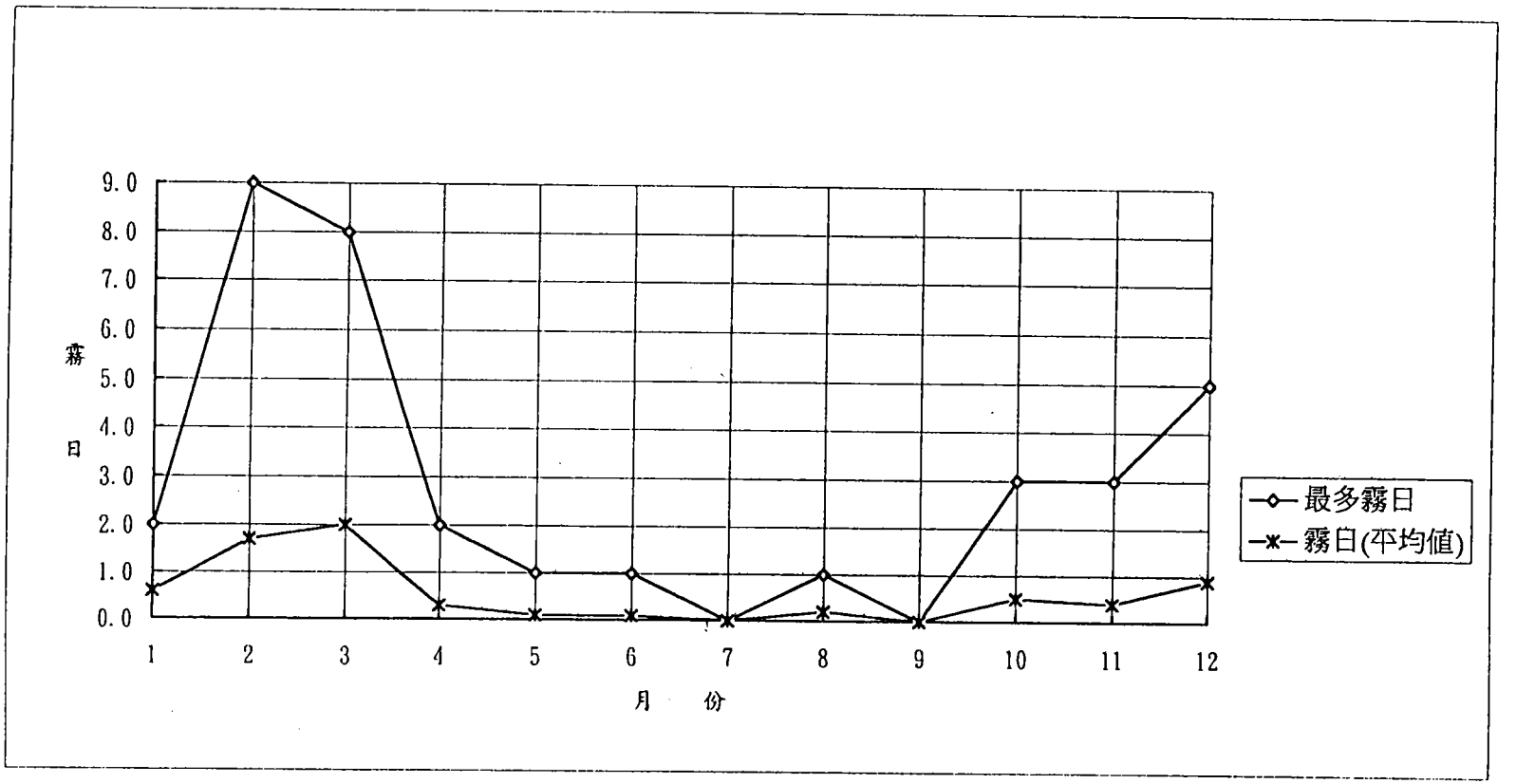


圖2-2-6　中央氣象局梧棲測站霧日統計圖

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

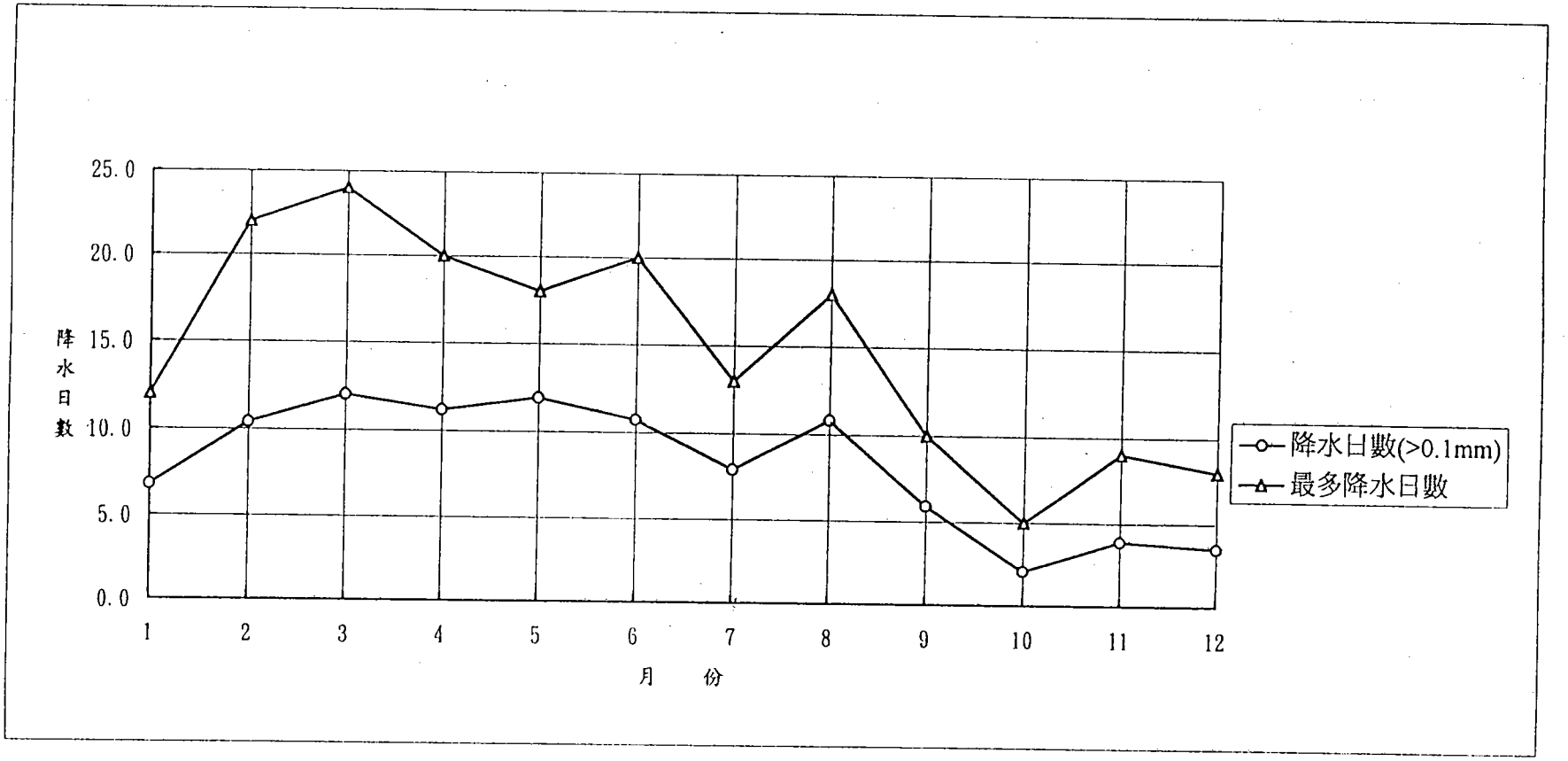


圖2-2-7 中央氣象局梧棲測站降雨日數(>0.1mm)統計圖

(資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年)

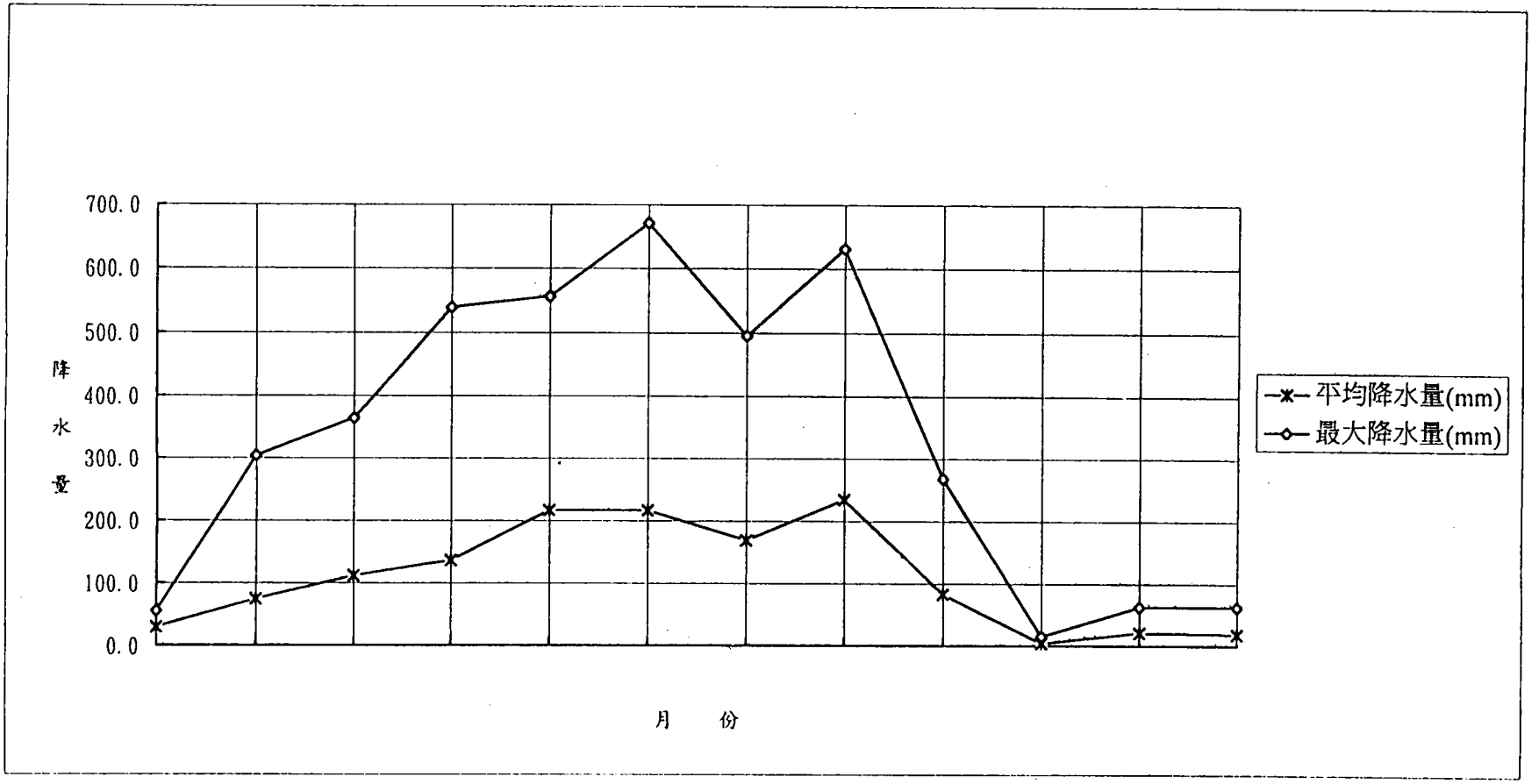


圖2-2-8　中央氣象局梧棲測站降水量統計圖

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

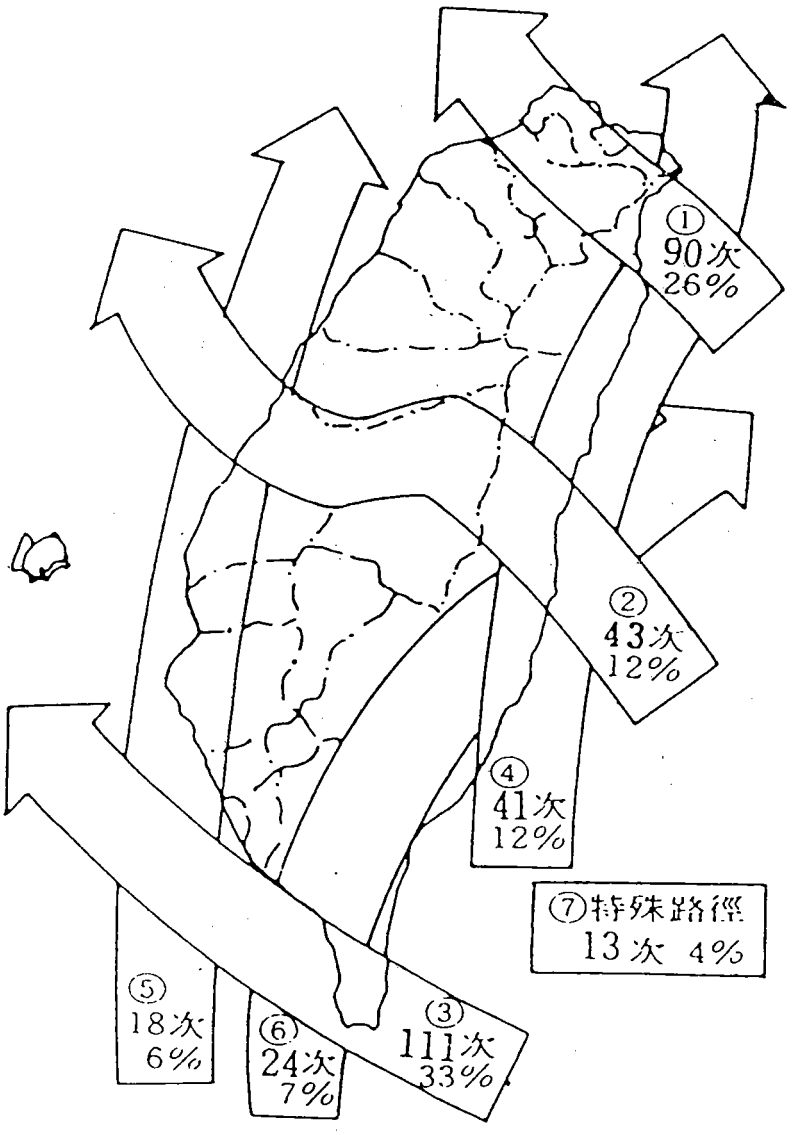


圖2-2-9 侵台颱風路徑分類圖(1897-1990)

(資料來源：工業技術研究院能源與資源研究所，民國82年)

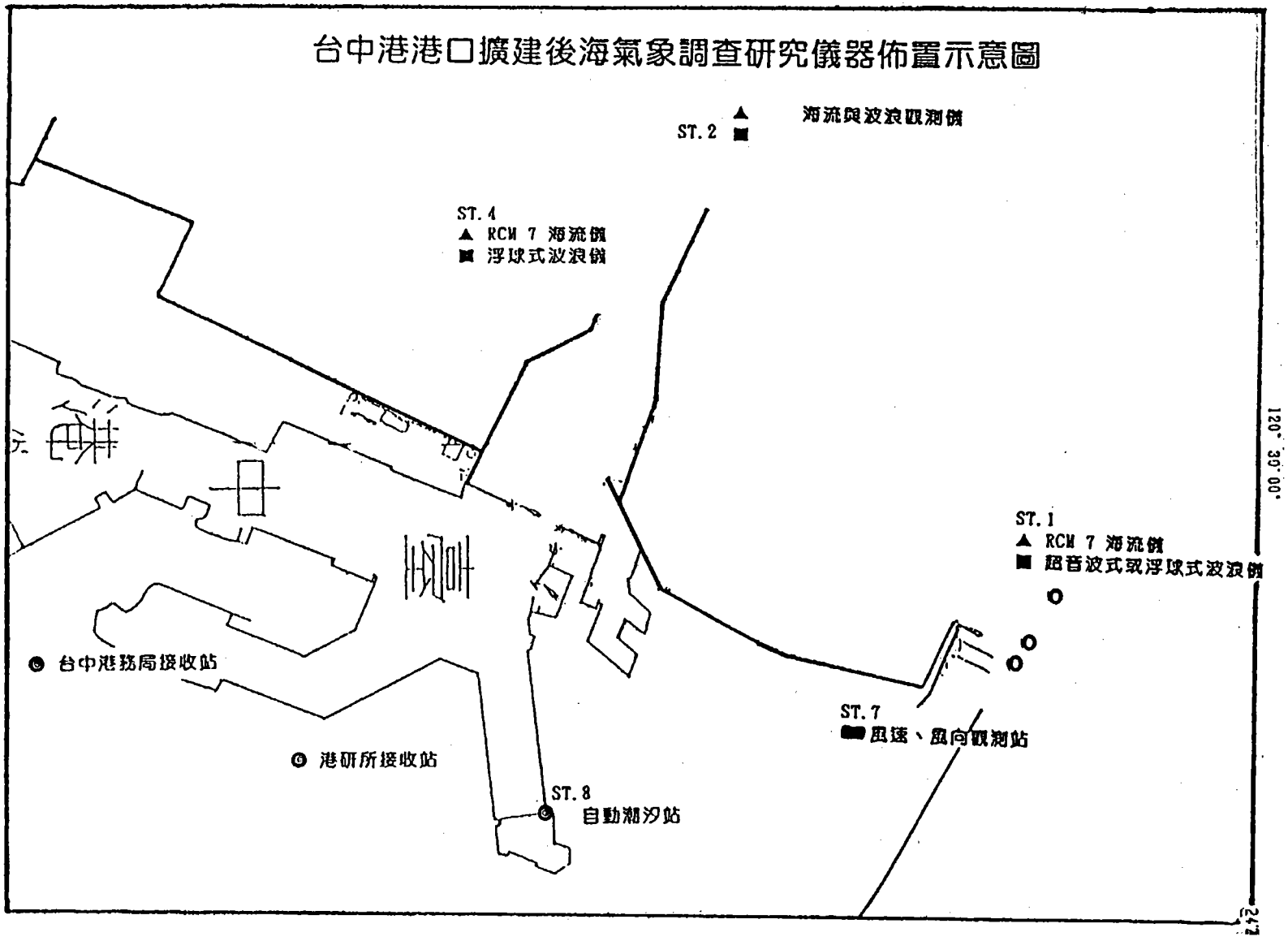


圖2-2-10　台中港港口擴建後海氣象調查研究儀器佈置示意圖

（資料來源：港灣技術研究所，民國84年）

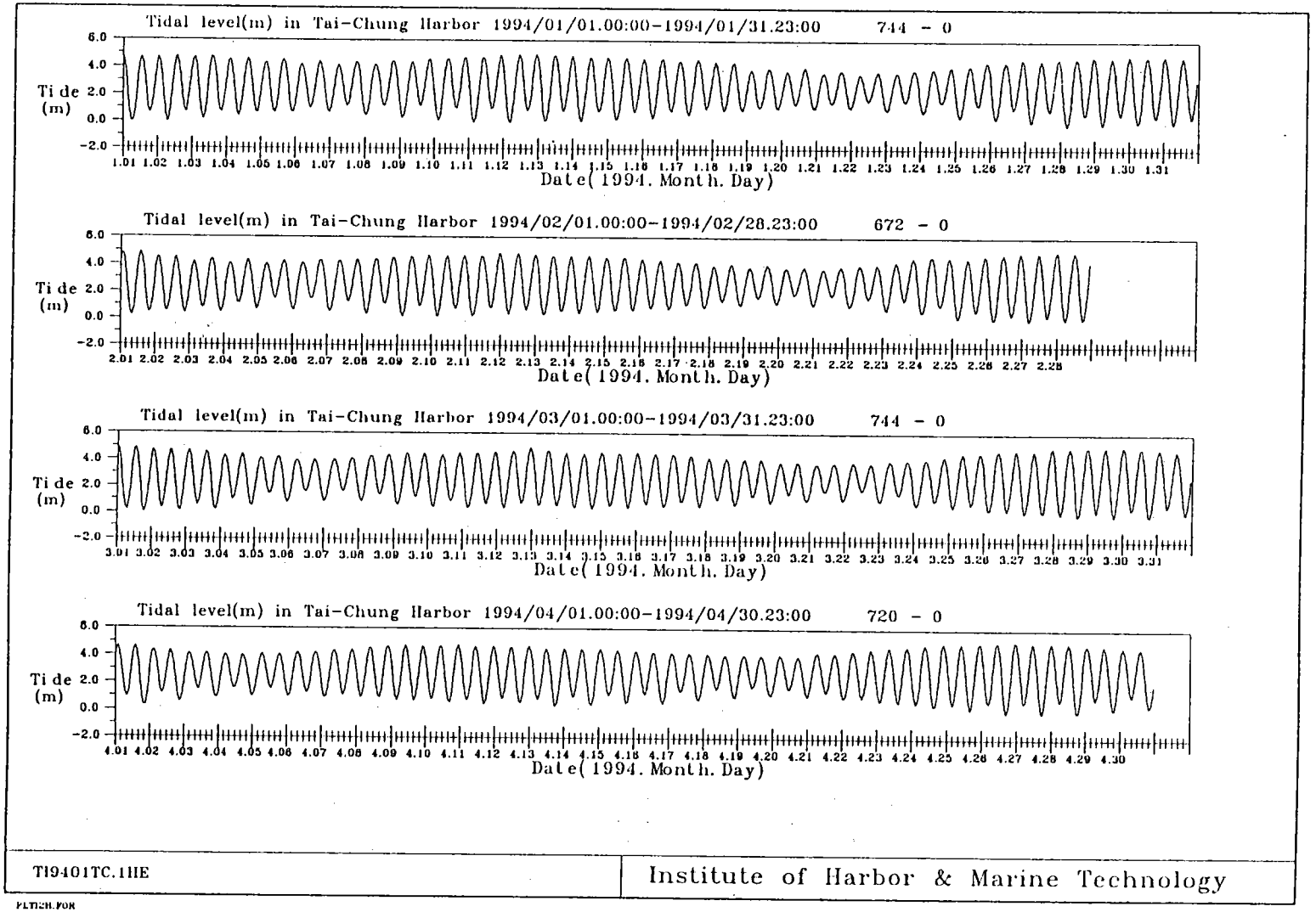
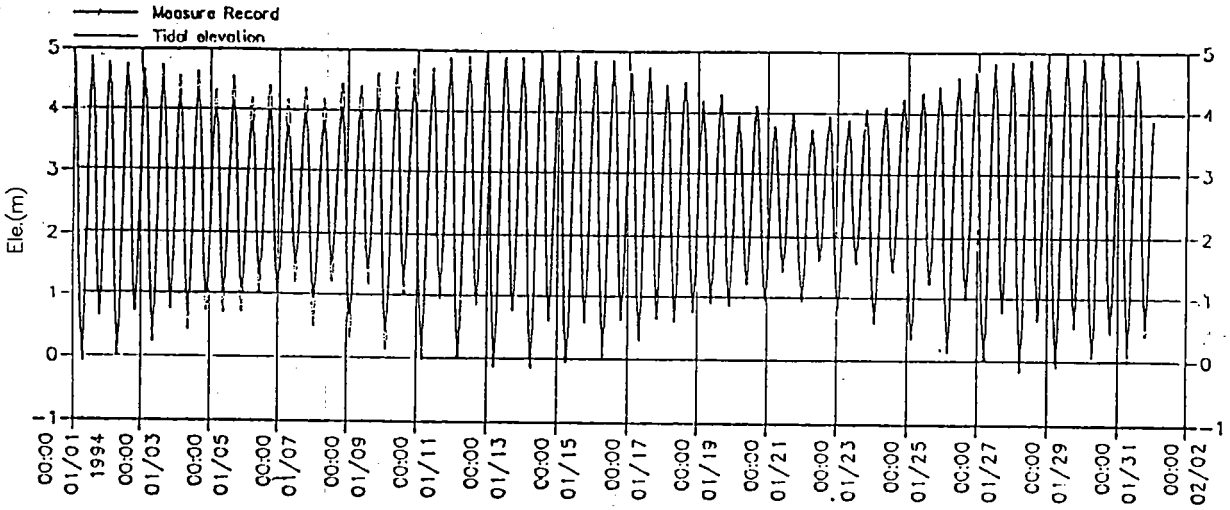
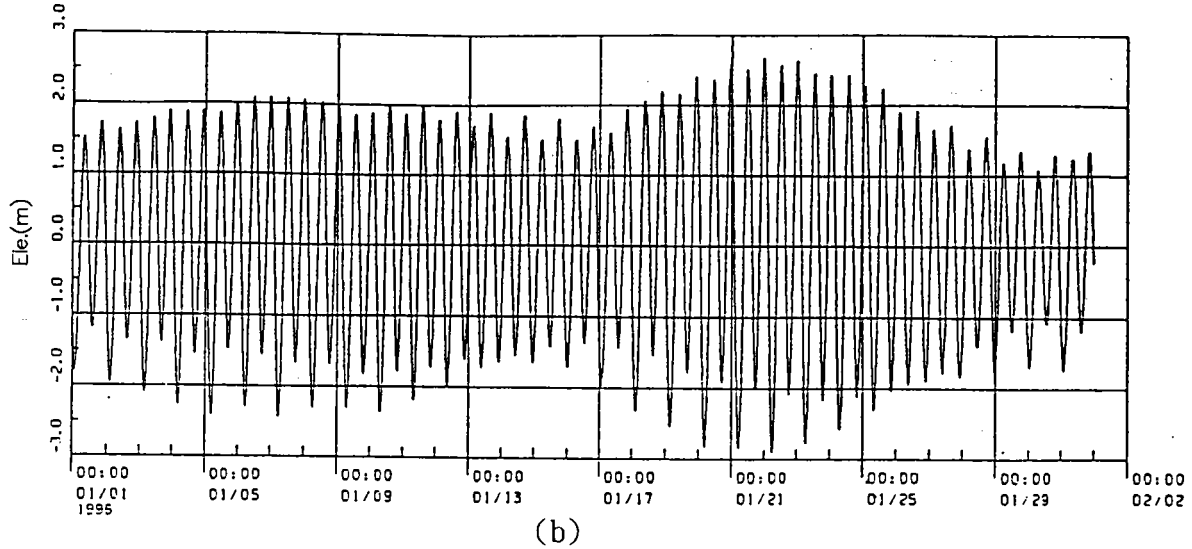


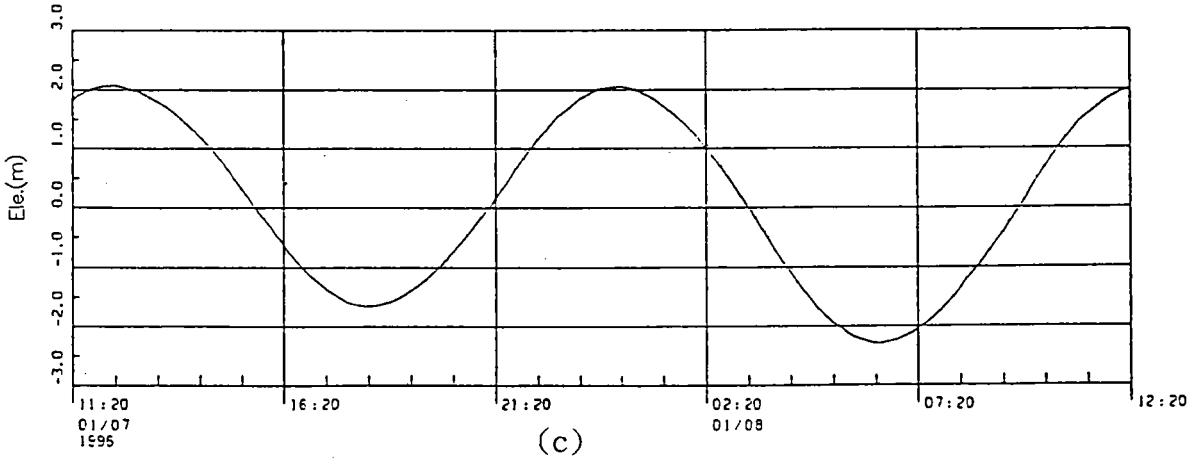
圖2-2-11 1994年1月～4月間於台中港潮位測站觀測之逐時潮位變化圖



(a)



(b)



(c)

圖2-2-12　1994年及1996年1月間之台中港逐時潮位變化圖

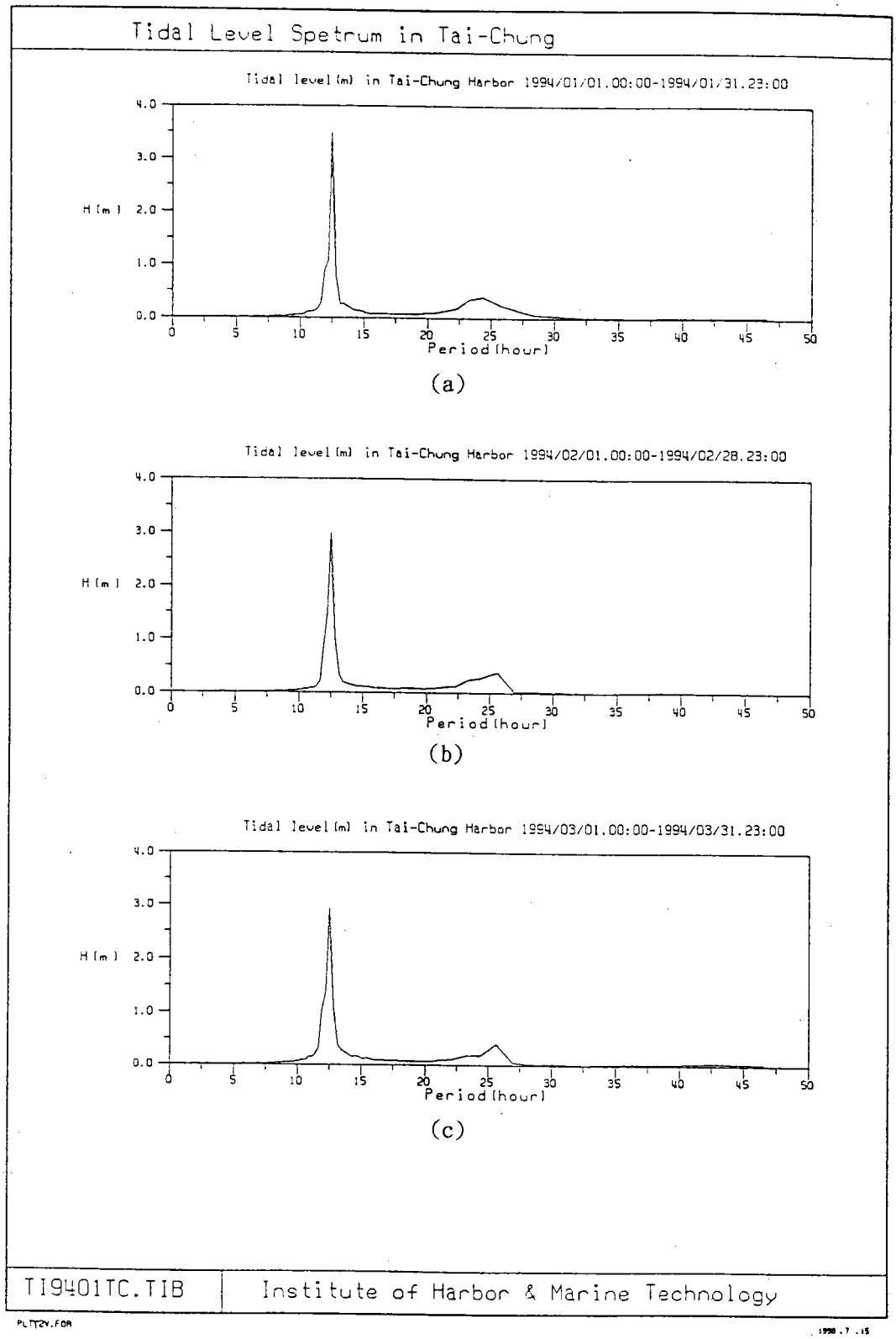


圖2-2-13　1994年1月～3月間於台中港潮位測站觀測之分月潮位能譜圖

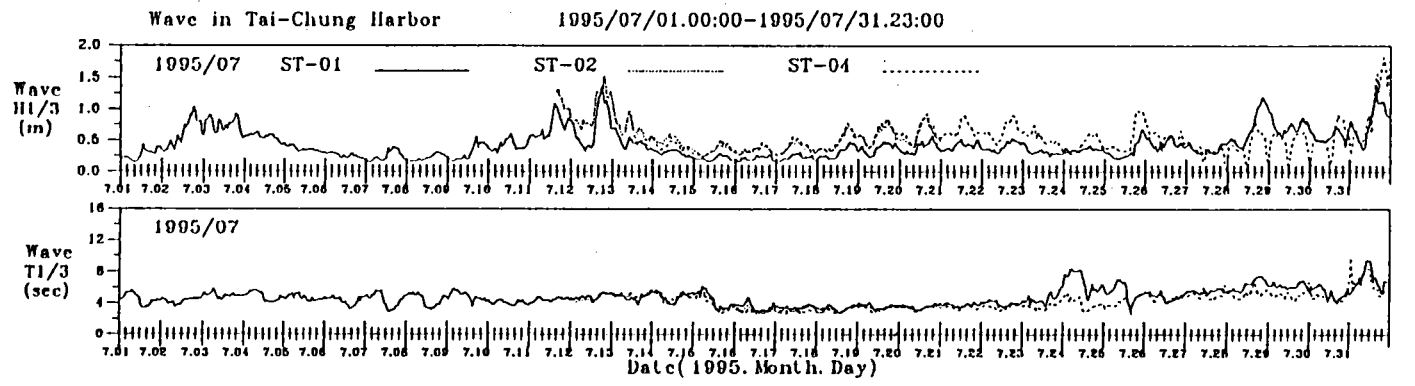


圖2-2-14a 1995年7月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪(H1/3及T1/3)逐時變化圖

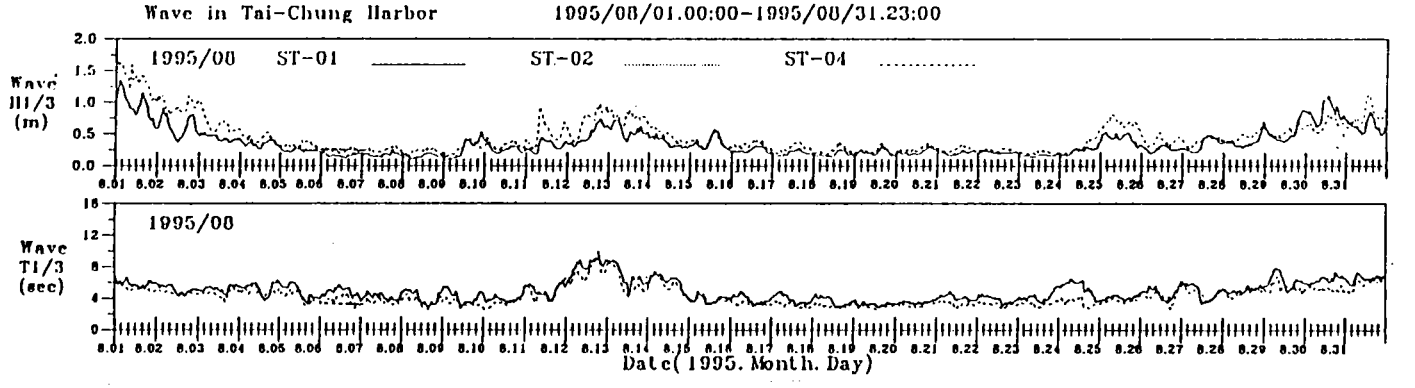


圖2-2-14b 1995年8月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪(H_1/3及$T_1/3)逐時變化圖

WV950701.1HE | Institute of Harbor & Marine Technology

PLEV3H.POR

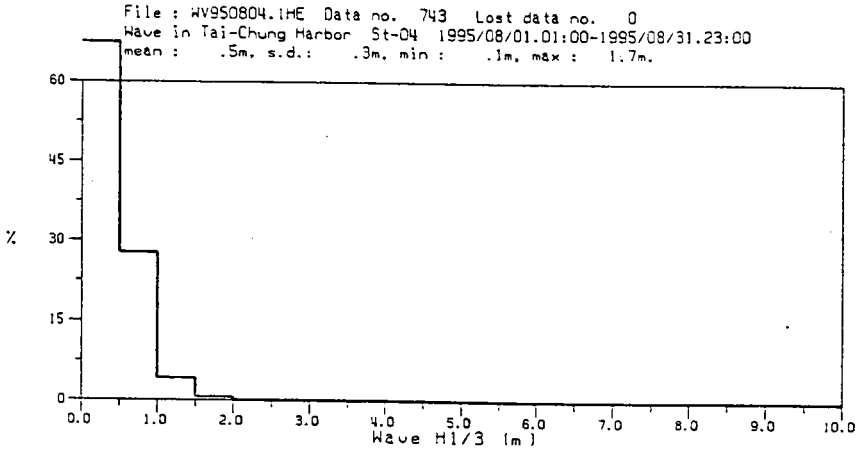


圖2-2-15a 1995年8月於ST-4站觀測之示性波高(H_1/3)統計方塊圖

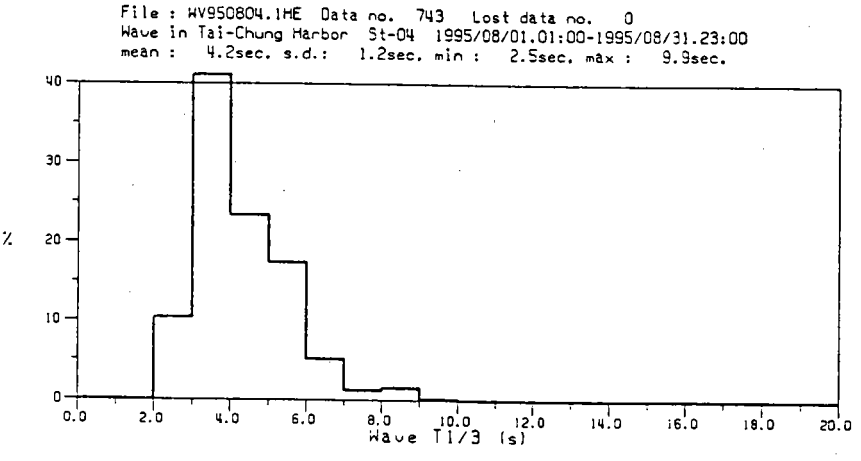


圖2-2-15b 1995年8月於ST-4站觀測之示性週期(T_1/3)統計方塊圖

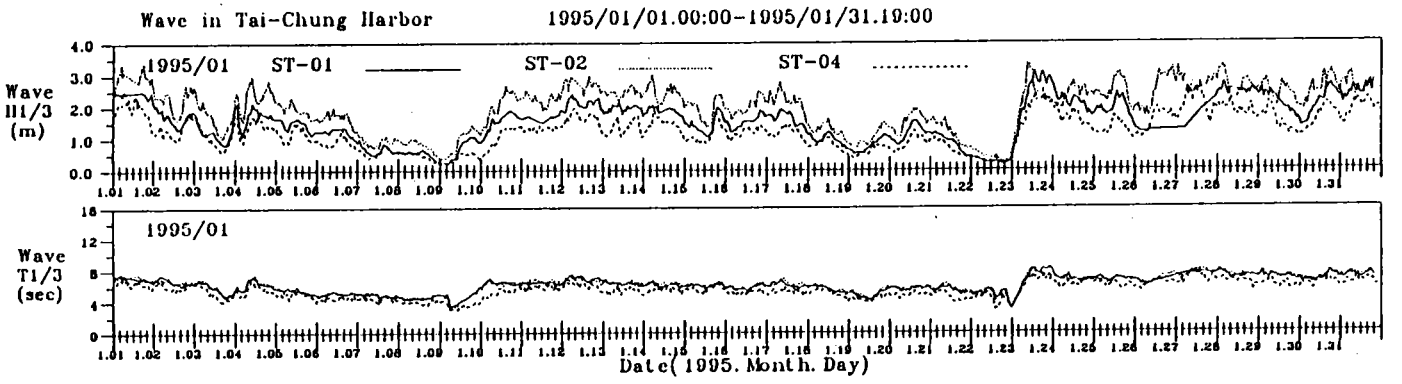


圖2-2-16a 1995年1月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪(H_1/3及T_1/3)逐時變化圖

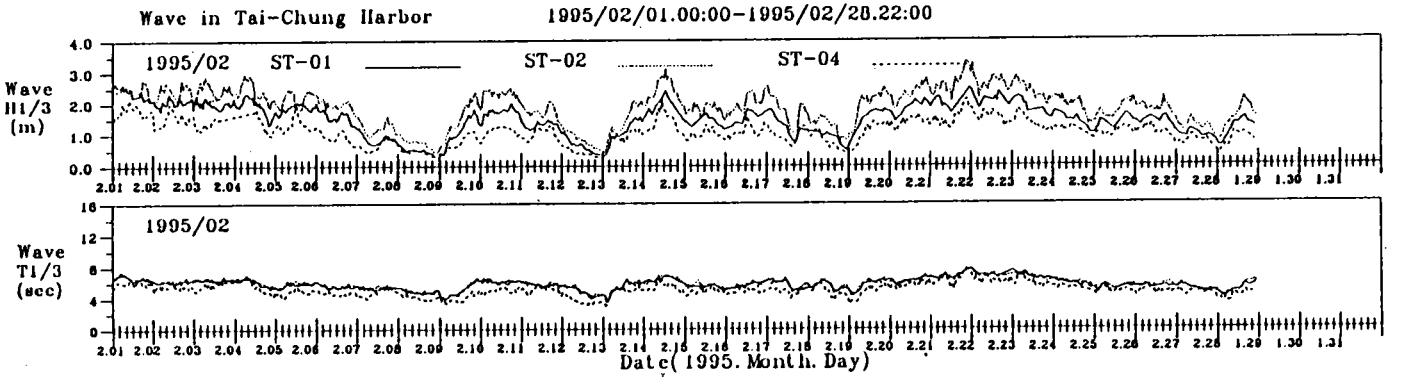


圖2-2-16b 1995年2月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪(H_1/3及T_1/3)逐時變化圖

WV950101.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLTV3H.POR

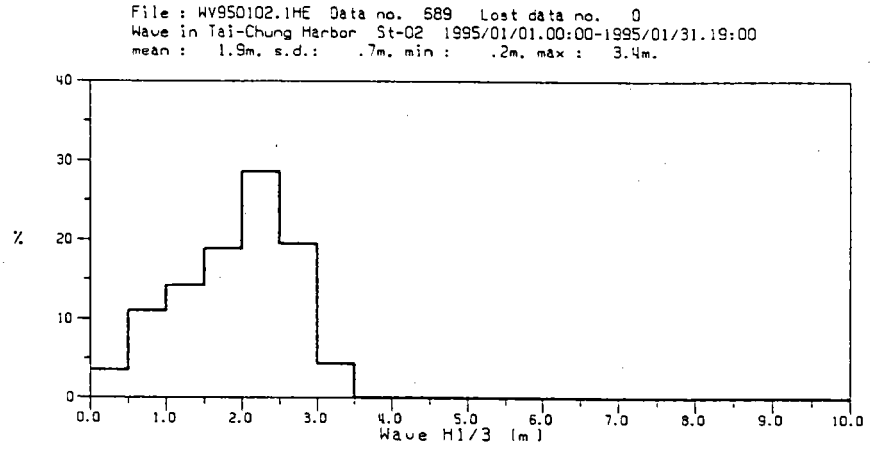


圖2-2-17a 1995年1月於ST-2站觀測之示性波高(H_1/3)統計方塊圖

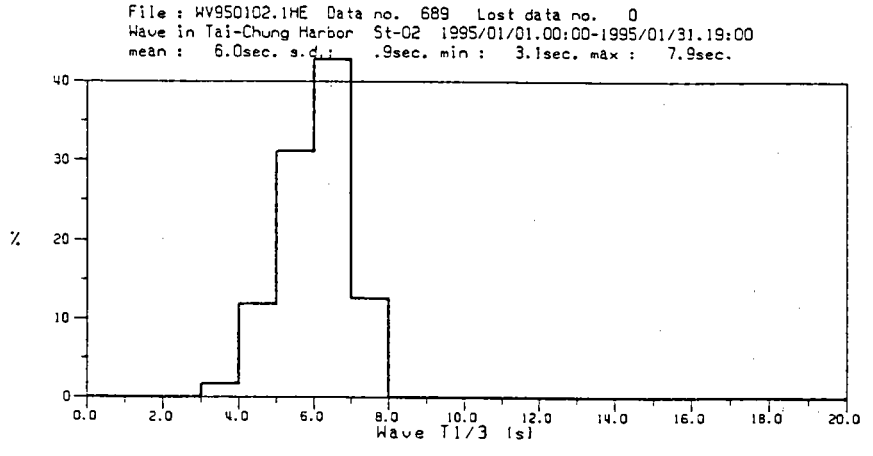


圖2-2-17b 1995年1月於ST-2站觀測之示性週期(T_1/3)統計方塊圖

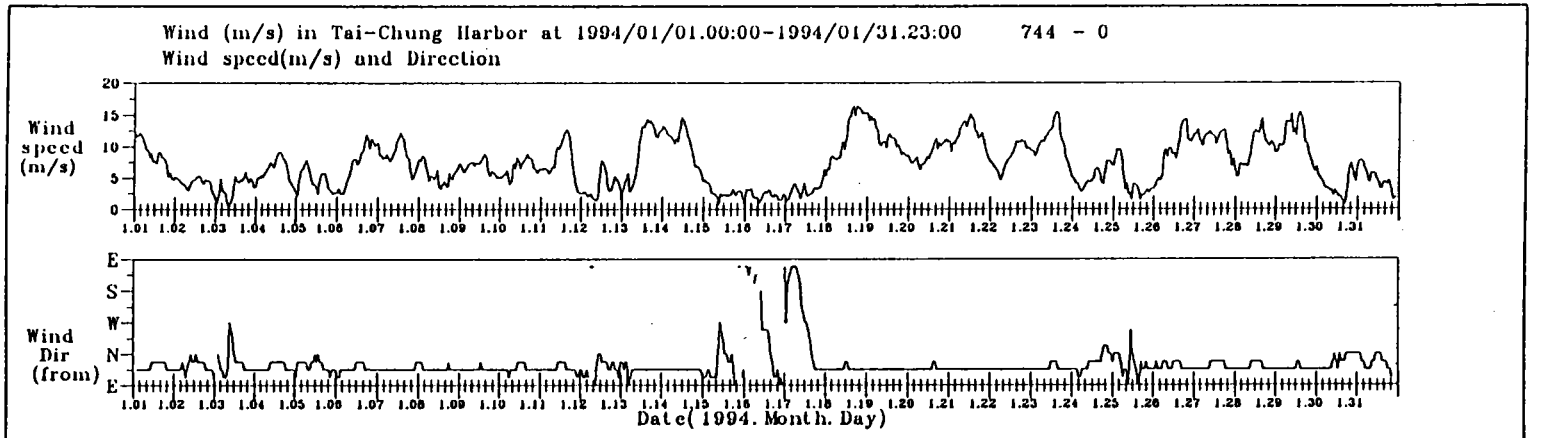


圖2-2-18a 1994年1月於台中港觀測之風速及風向(指來向)逐時變化圖

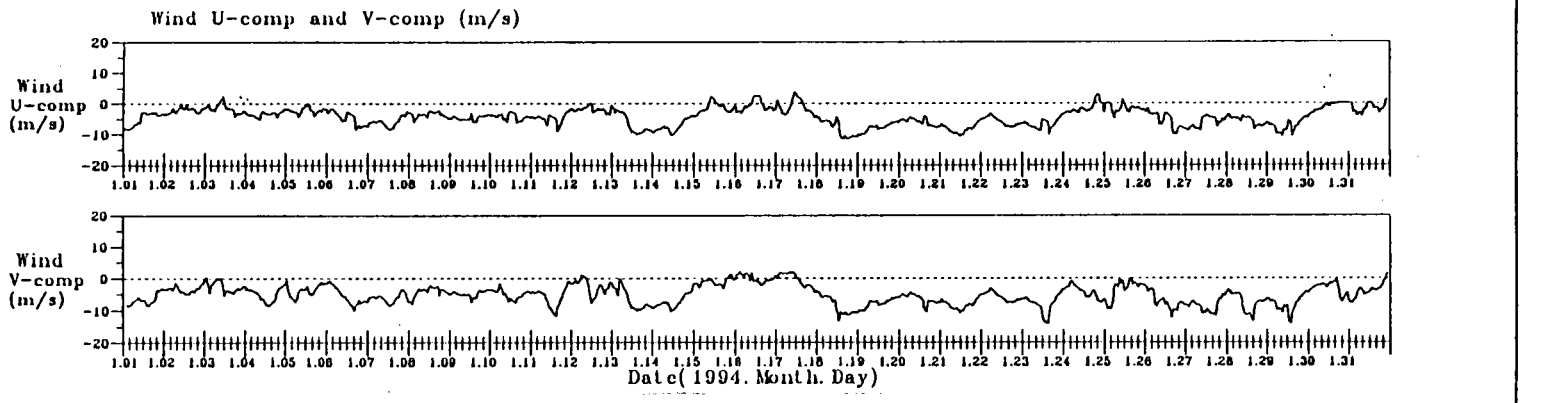


圖2-2-18b 1994年1月於台中港觀測之風速東西分量及南北分量逐時變化圖

W19401TC.IHE	Institute of Harbor & Marine Technology

PLW12H.FOR

1996. 7 . 17

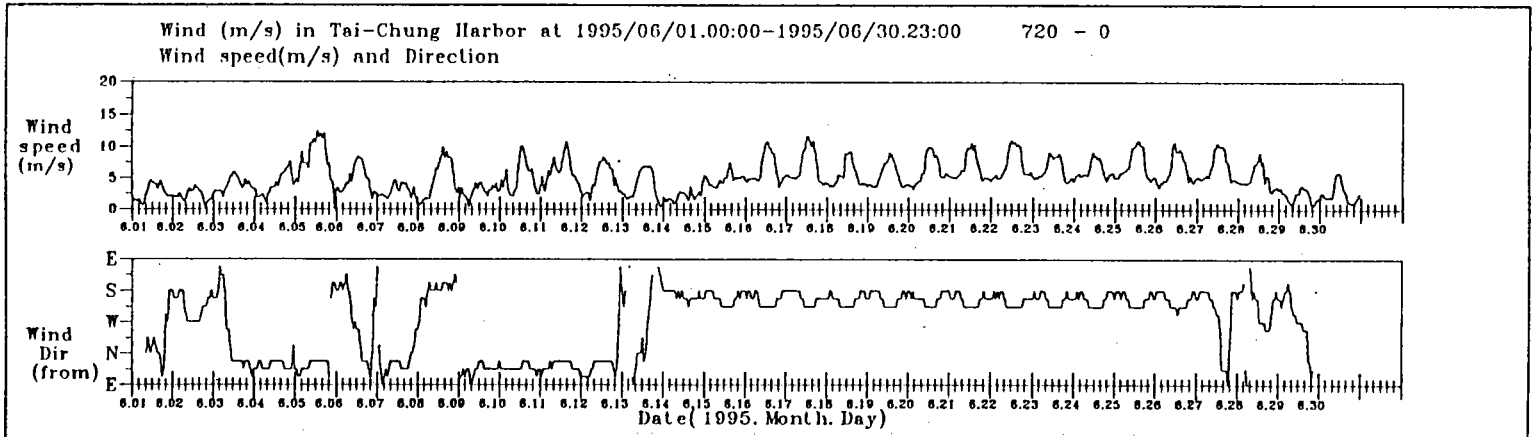


圖2-2-19a 1995年6月於台中港觀測之風速及風向(指來向)逐時變化圖

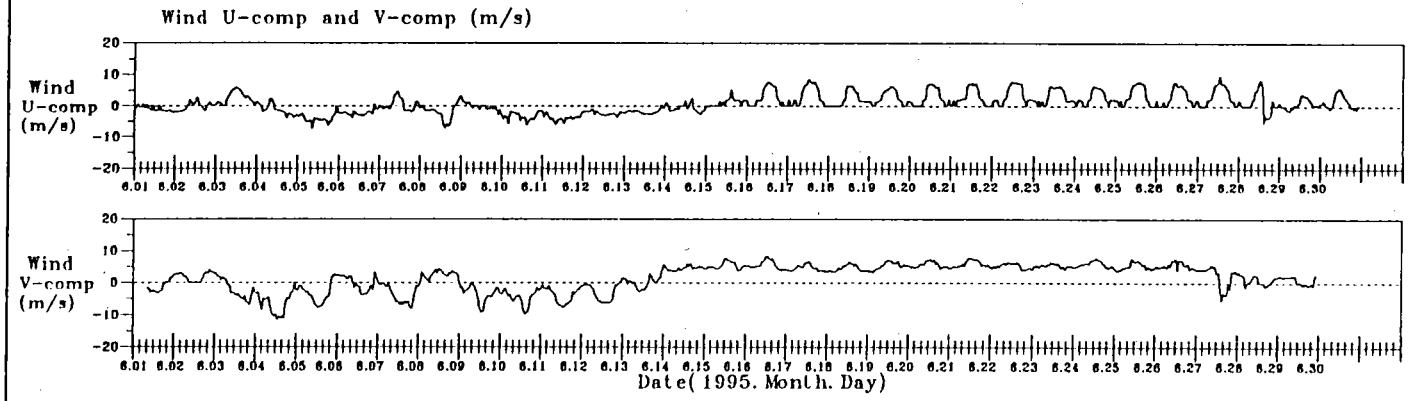
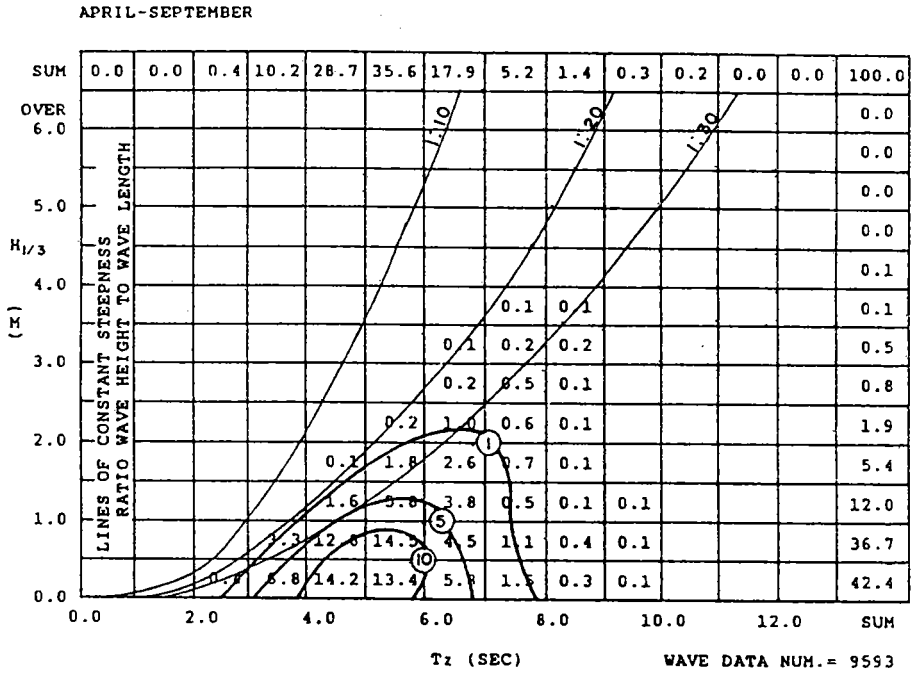


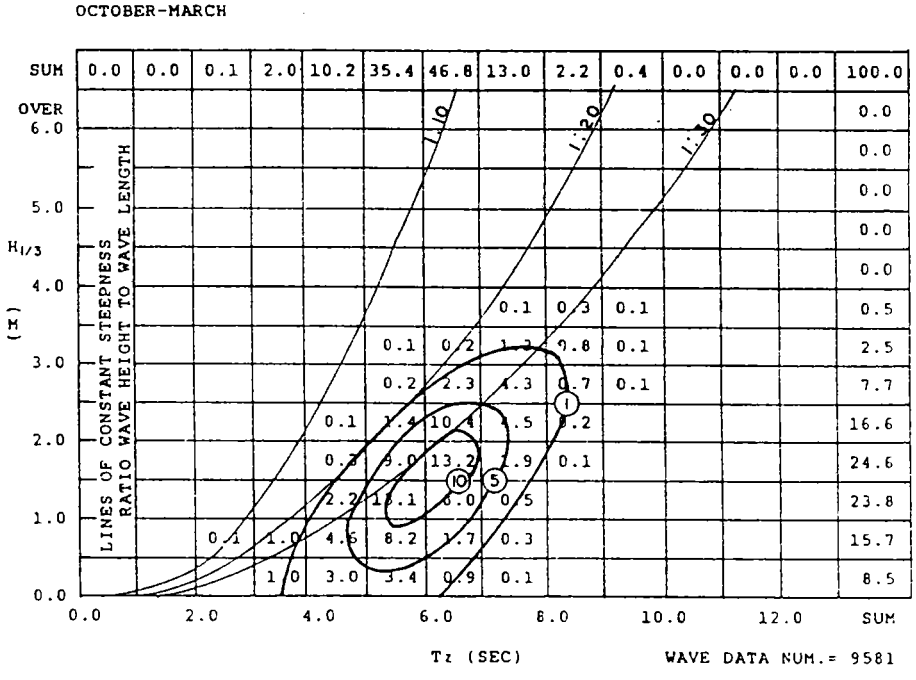
圖2-2-19b 1995年6月於台中港觀測之風速東西分量及南北分量逐時變化圖

WI9506TC.1HE	Institute of Harbor & Marine Technology

PLWIZH.POR



(a) 夏季波浪



(b) 冬季波浪

圖2-2-20　台中港冬夏季波浪波高、週期分佈圖

（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）

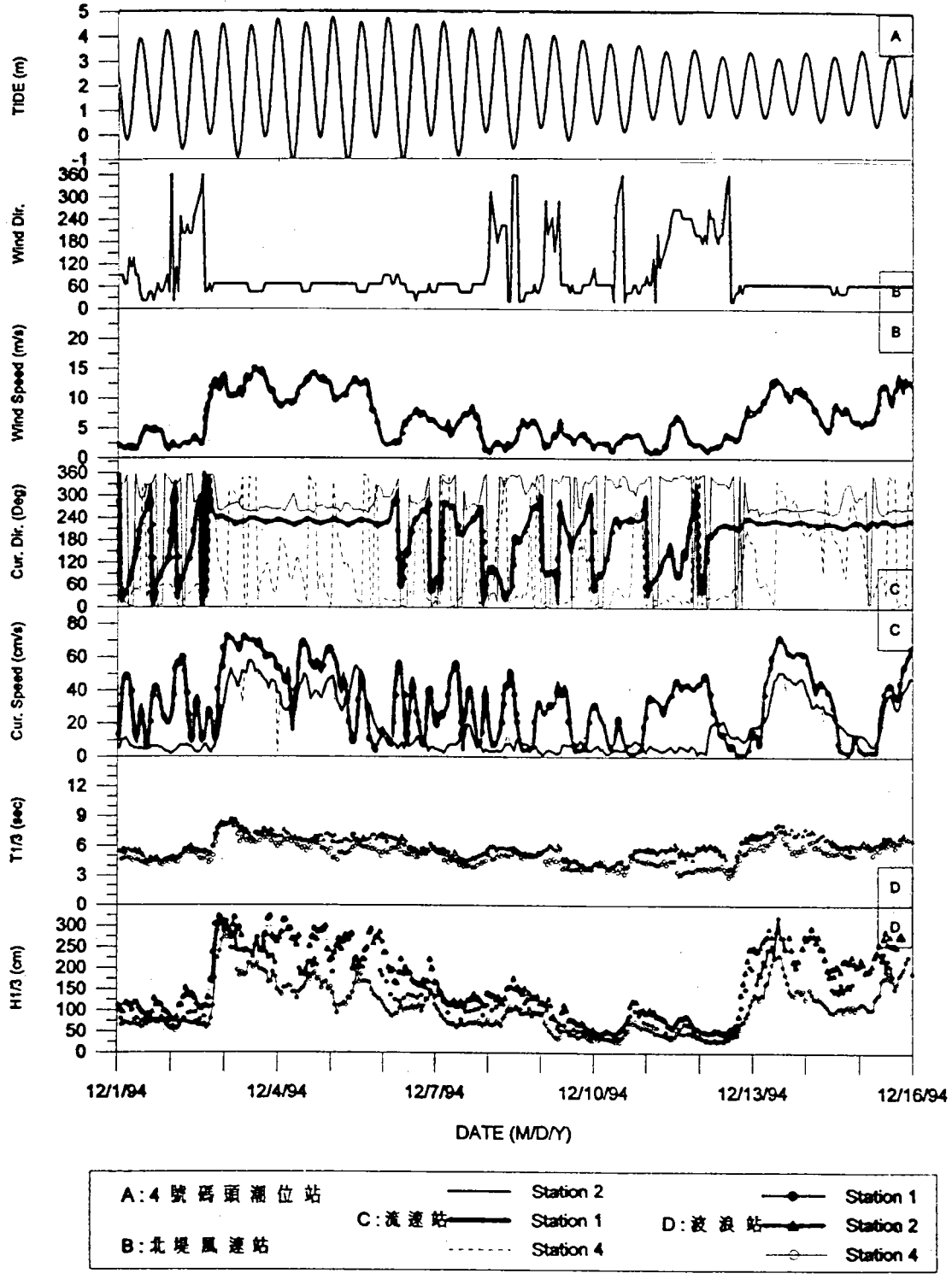


圖2-2-21(a)　台中港海氣象資料變化歷時圖(1994.12.1-15)

（資料來源：港灣技術研究所，民國84年）

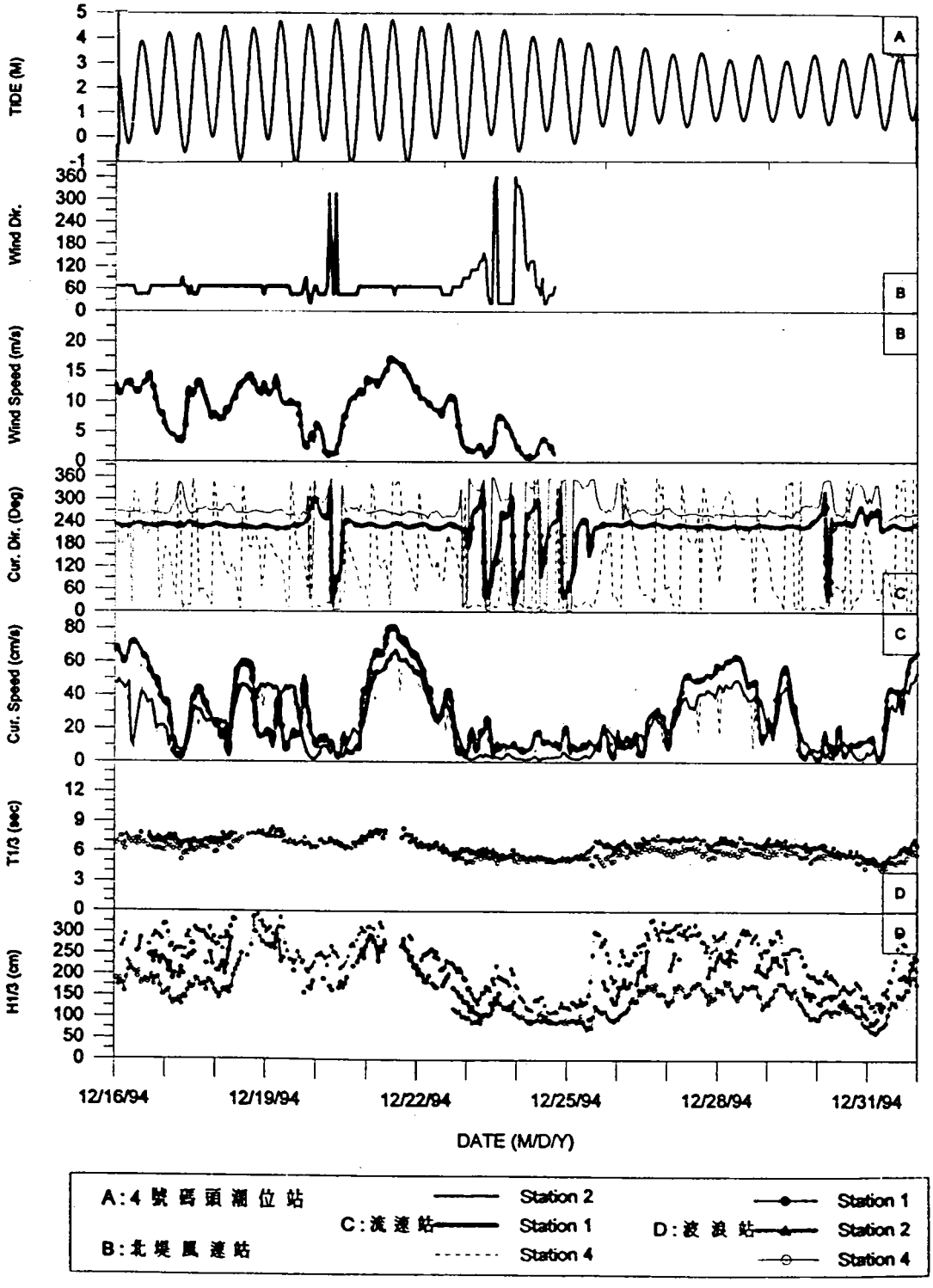


圖2-2-21(b)　台中港海氣象資料變化歷時圖(1994.12.16-31)

(資料來源：港灣技術研究所，民國84年)

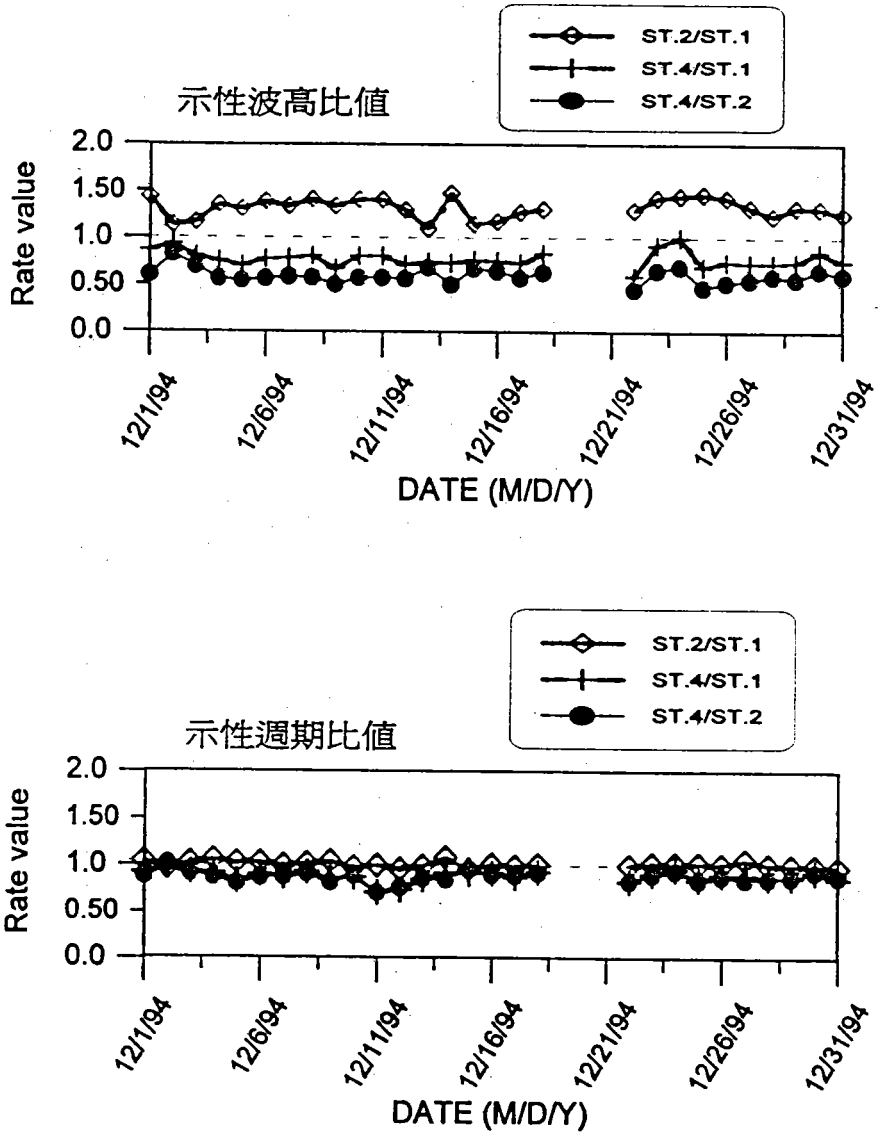


圖2-2-22　台中港示性波高、週期比值逐時分佈圖(1994.12)
（資料來源：港灣技術研究所，民國84年）

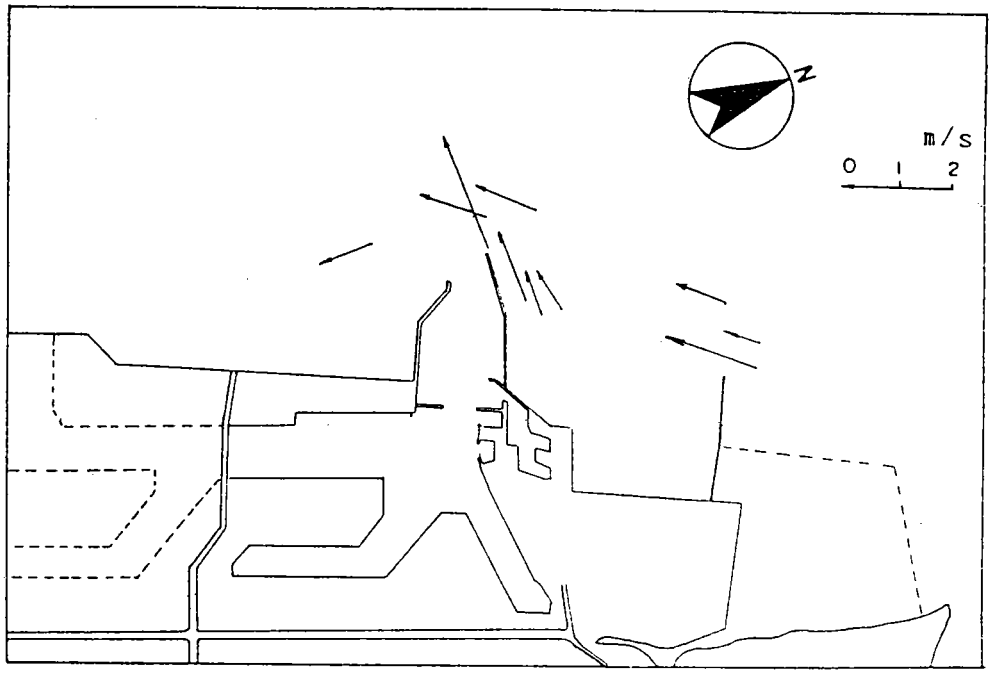


圖2-2-23　台中港冬季主要實測流況分佈圖
（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

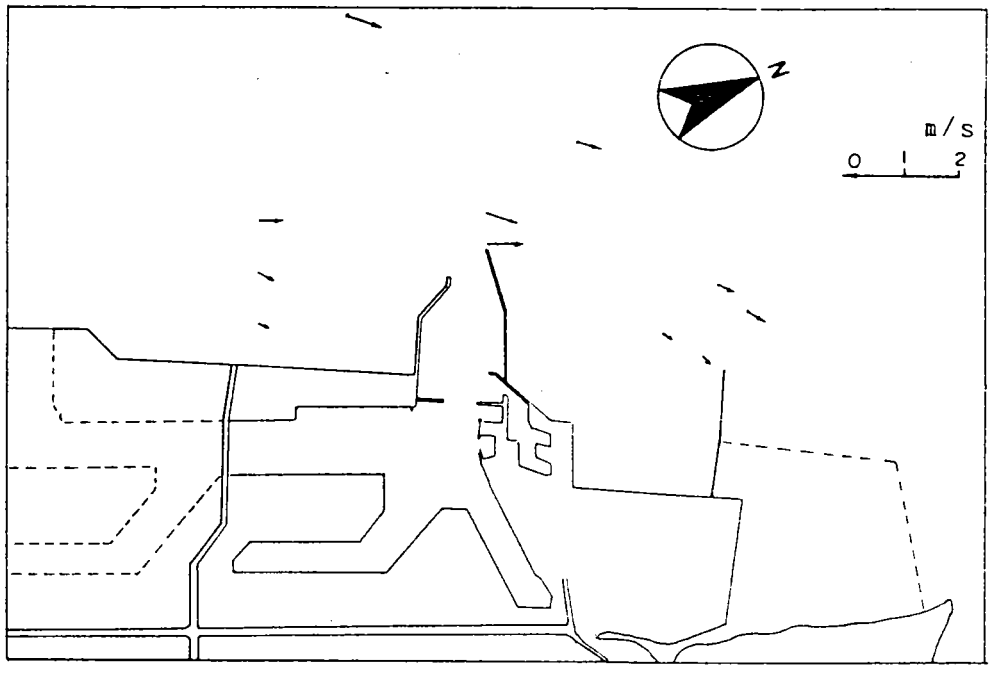


圖2-2-24　台中港夏季主要實測流況分佈圖
（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

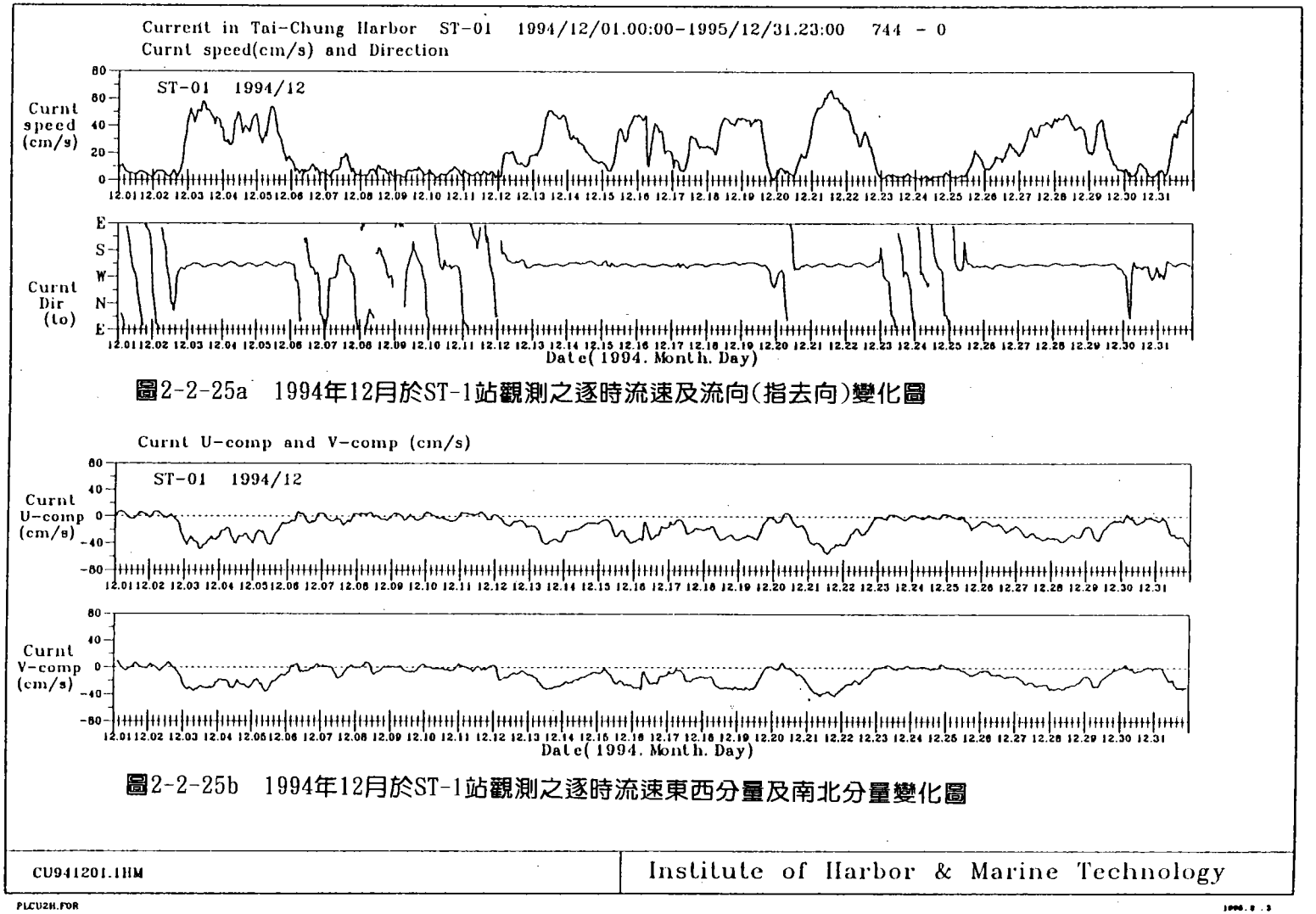


圖2-2-25a 1994年12月於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

圖2-2-25b 1994年12月於ST-1站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖

Histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

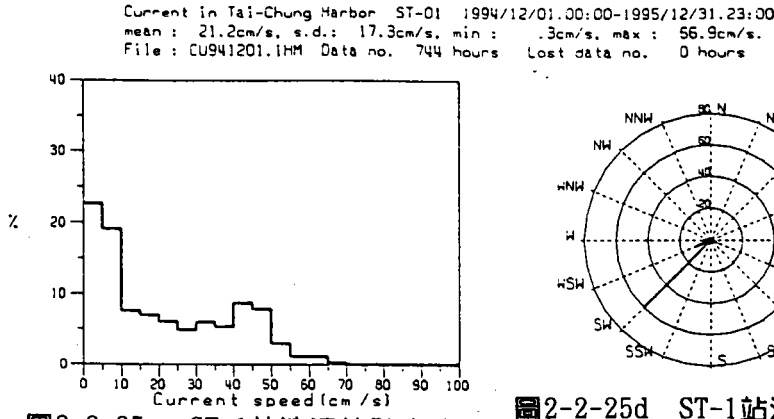


圖2-2-25c ST-1站流速統計方塊圖

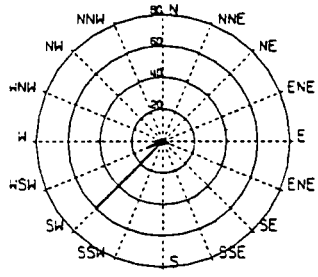


圖2-2-25d ST-1站流向統計玫塊圖

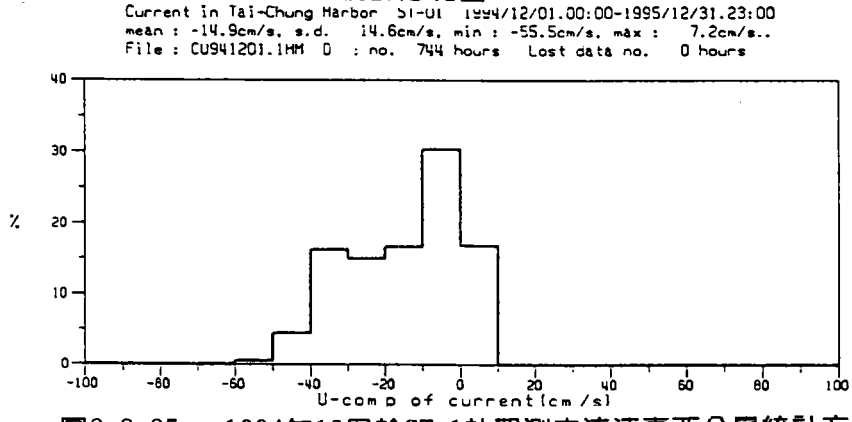


圖2-2-25e 1994年12月於ST-1站觀測之流速東西分量統計方塊圖

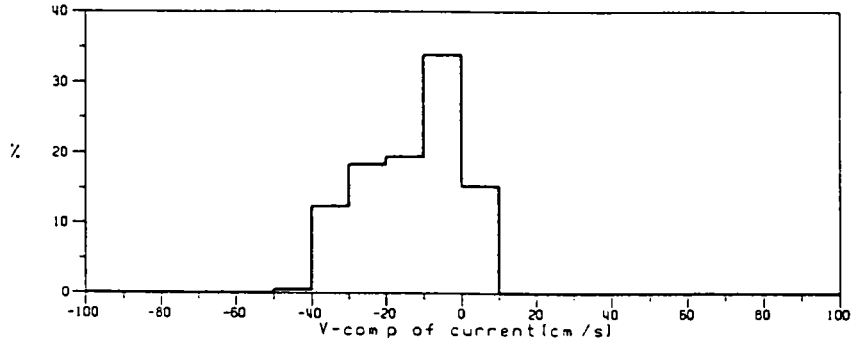


圖2-2-25f 1994年12月於ST-1站觀測之流速南北分量統計方塊圖

CU941201.CSO | Institute of Harbor & Marine Technology

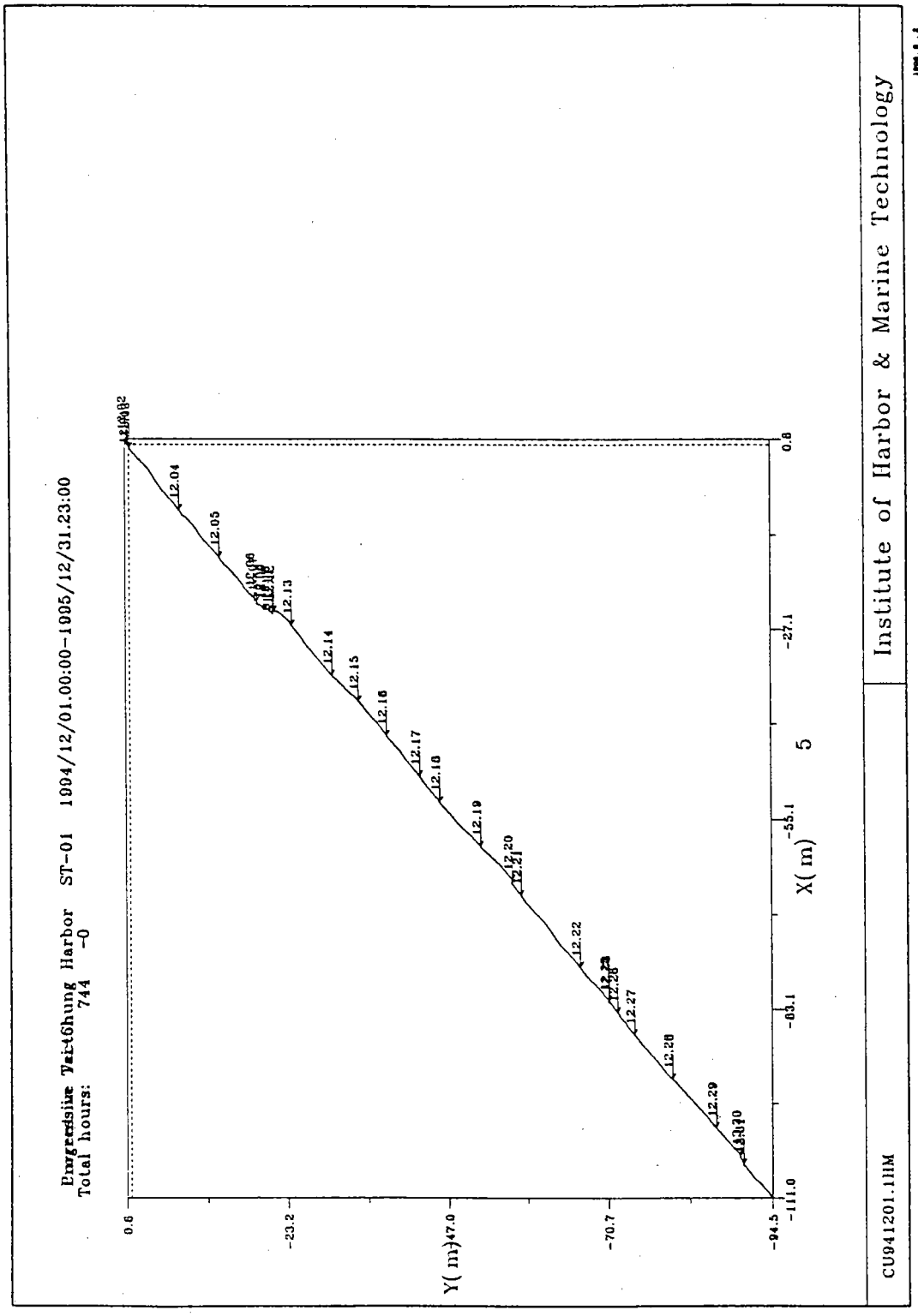


圖2-2-25g　1994年12月於ST-1站觀測之海流向量進行圖

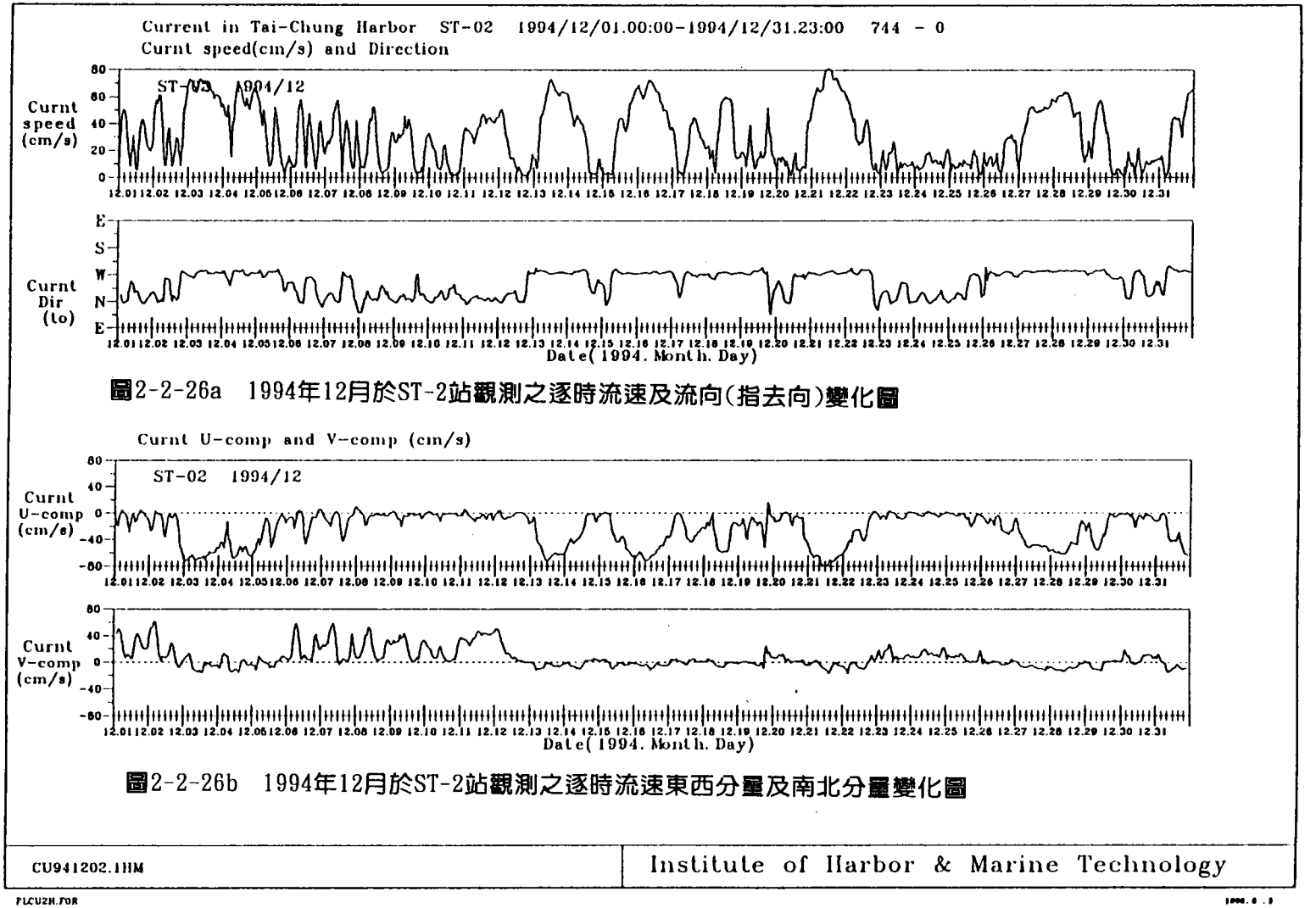


圖2-2-26a 1994年12月於ST-2站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

圖2-2-26b 1994年12月於ST-2站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖

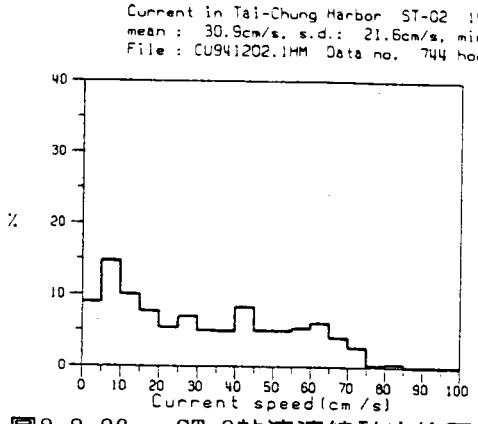


圖2-2-26c ST-2站流速統計方塊圖

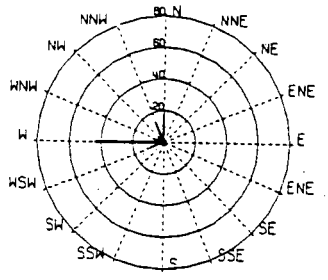


圖2-2-26d ST-2站流向統計玫塊圖

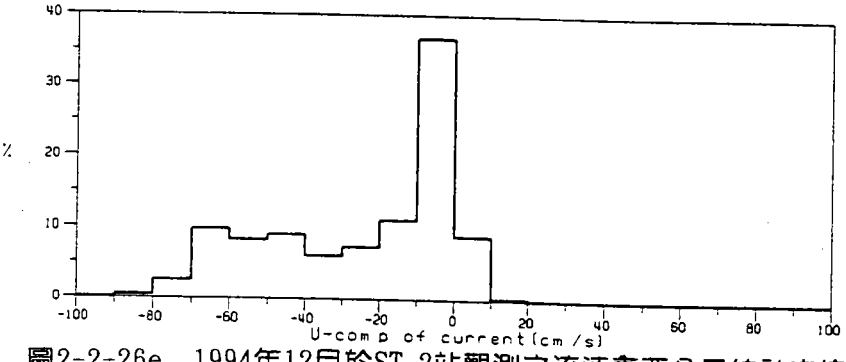


圖2-2-26e 1994年12月於ST-2站觀測之流速東西分量統計方塊圖

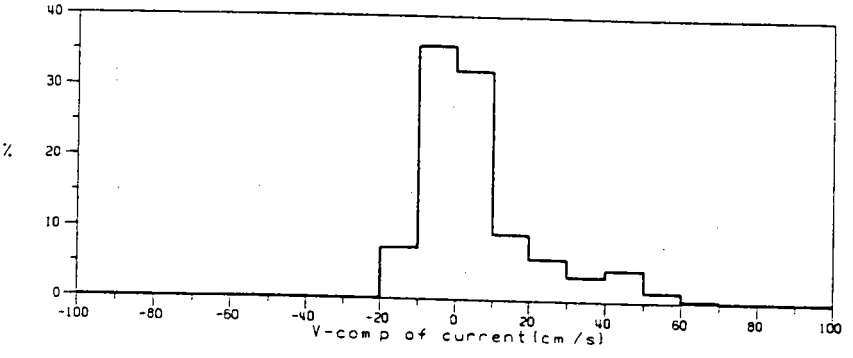


圖2-2-26f 1994年12月於ST-2站觀測之流速南北分量統計方塊圖

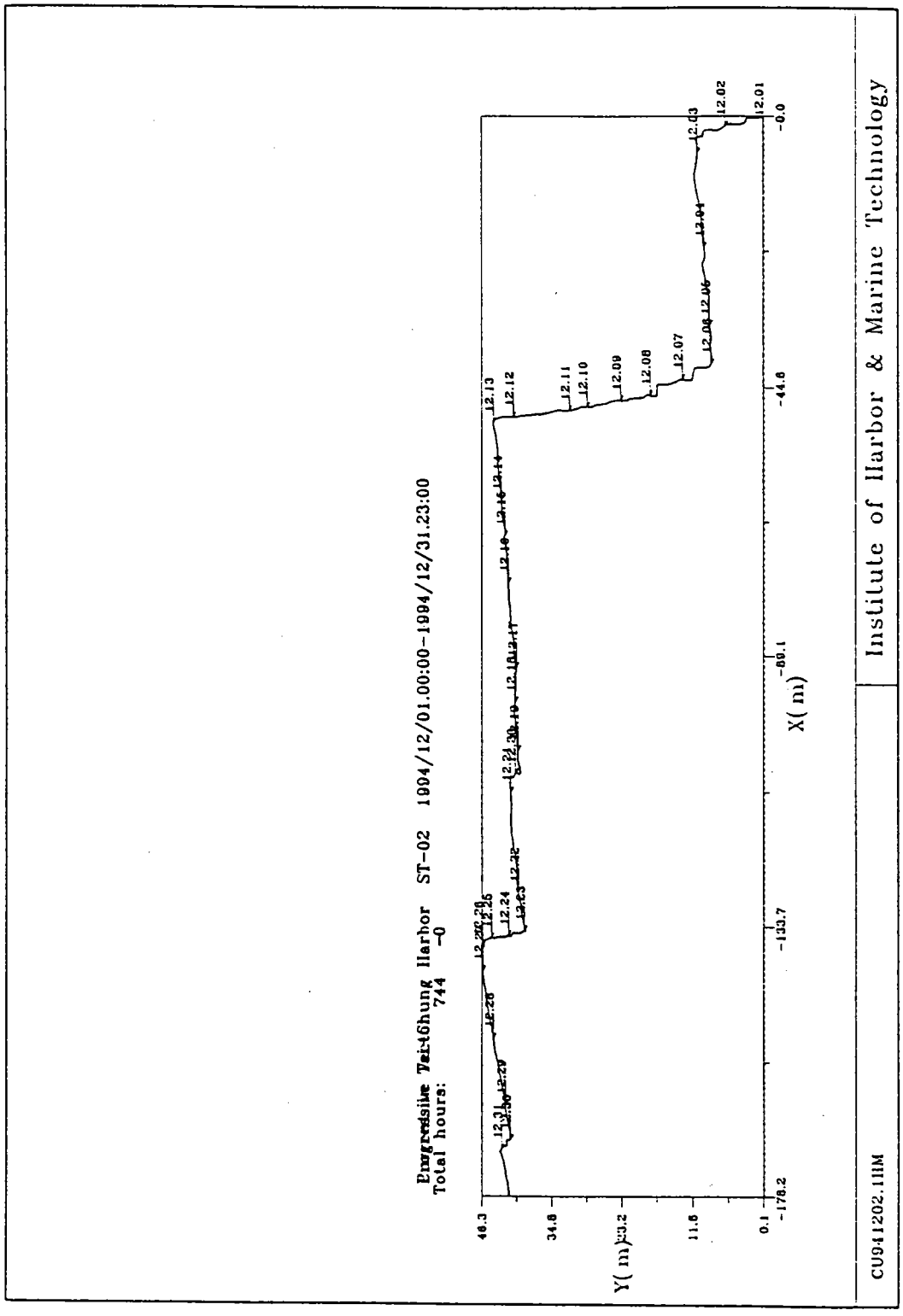


圖2-2-26g　1994年12月於ST-2站觀測之海流向量進行圖

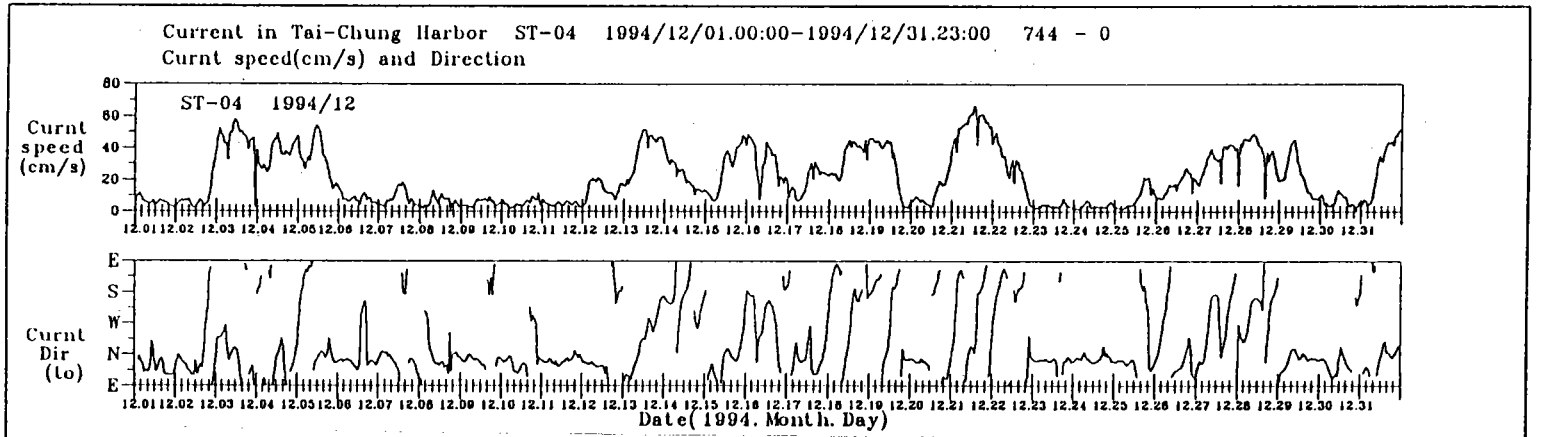


圖2-2-27a 1994年12月於ST-4站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

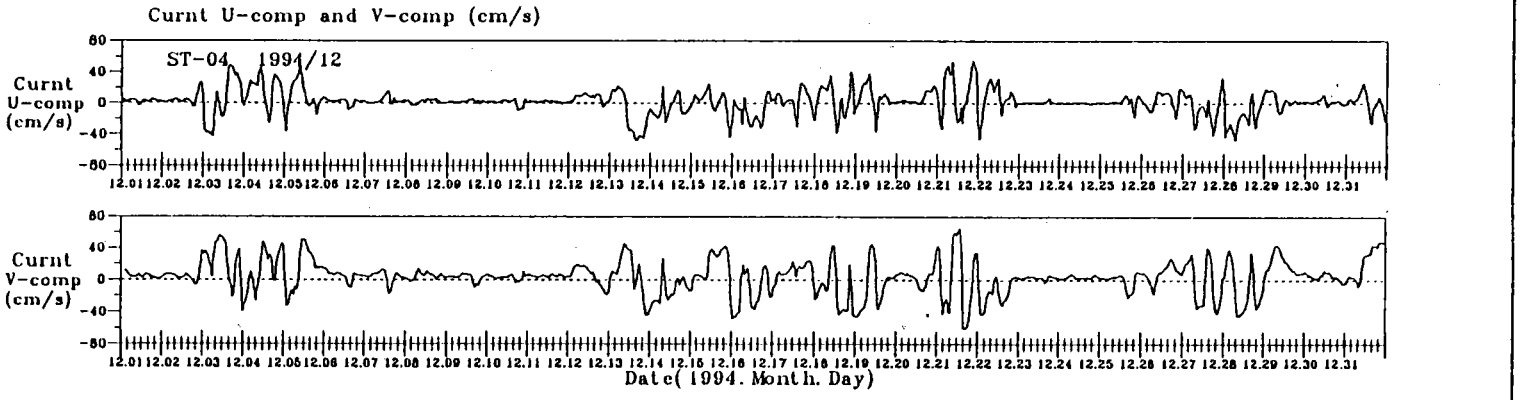


圖2-2-27b 1994年12月於ST-4站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖

CU941204.IHM | Institute of Harbor & Marine Technology

PLCU2H.FOR

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00
mean : 20.6cm/s, s.d.: 16.7cm/s, min : .3cm/s, max : 86.5cm/s.
File : CU941204.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

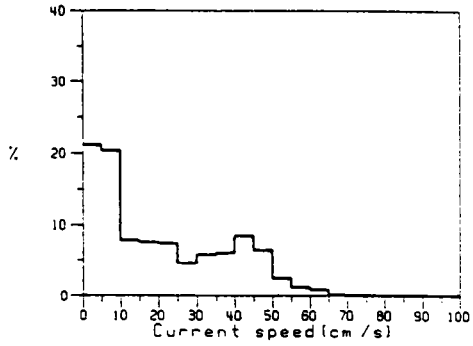


圖2-2-27c ST-4站流速統計方塊圖

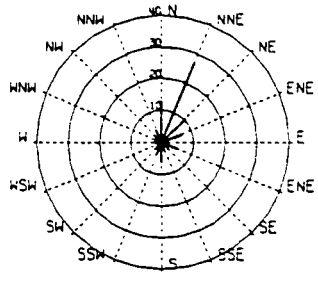


圖2-2-27d ST-4站流向統計玫塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00
mean : 1.9cm/s, s.d.: 15.8cm/s, min : -48.0cm/s, max : 55.5cm/s.
File : CU941204.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

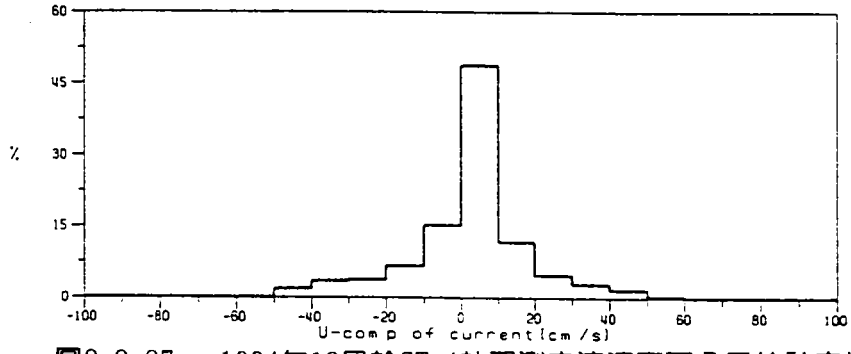


圖2-2-27e 1994年12月於ST-4站觀測之流速東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00
mean : 3.6cm/s, s.d.: 20.9cm/s, min : -60.9cm/s, max : 64.3cm/s.
File : CU941204.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

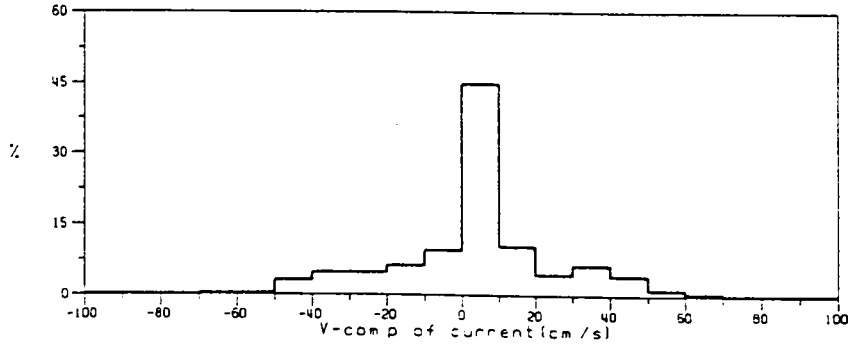


圖2-2-27f 1994年12月於ST-4站觀測之流速南北分量統計方塊圖

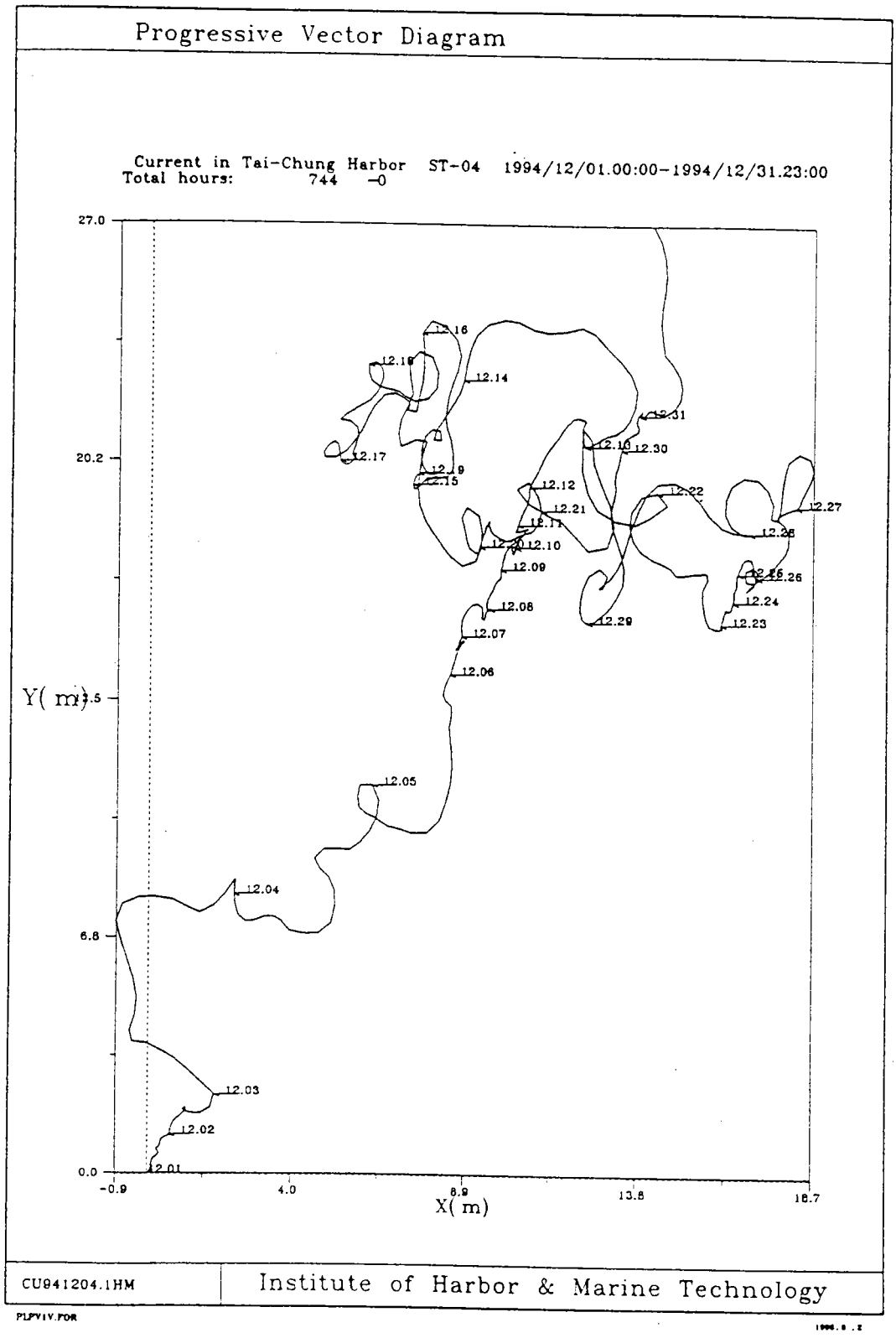


圖2-2-27g 1994年12月於ST-4站觀測之海流向量進行圖

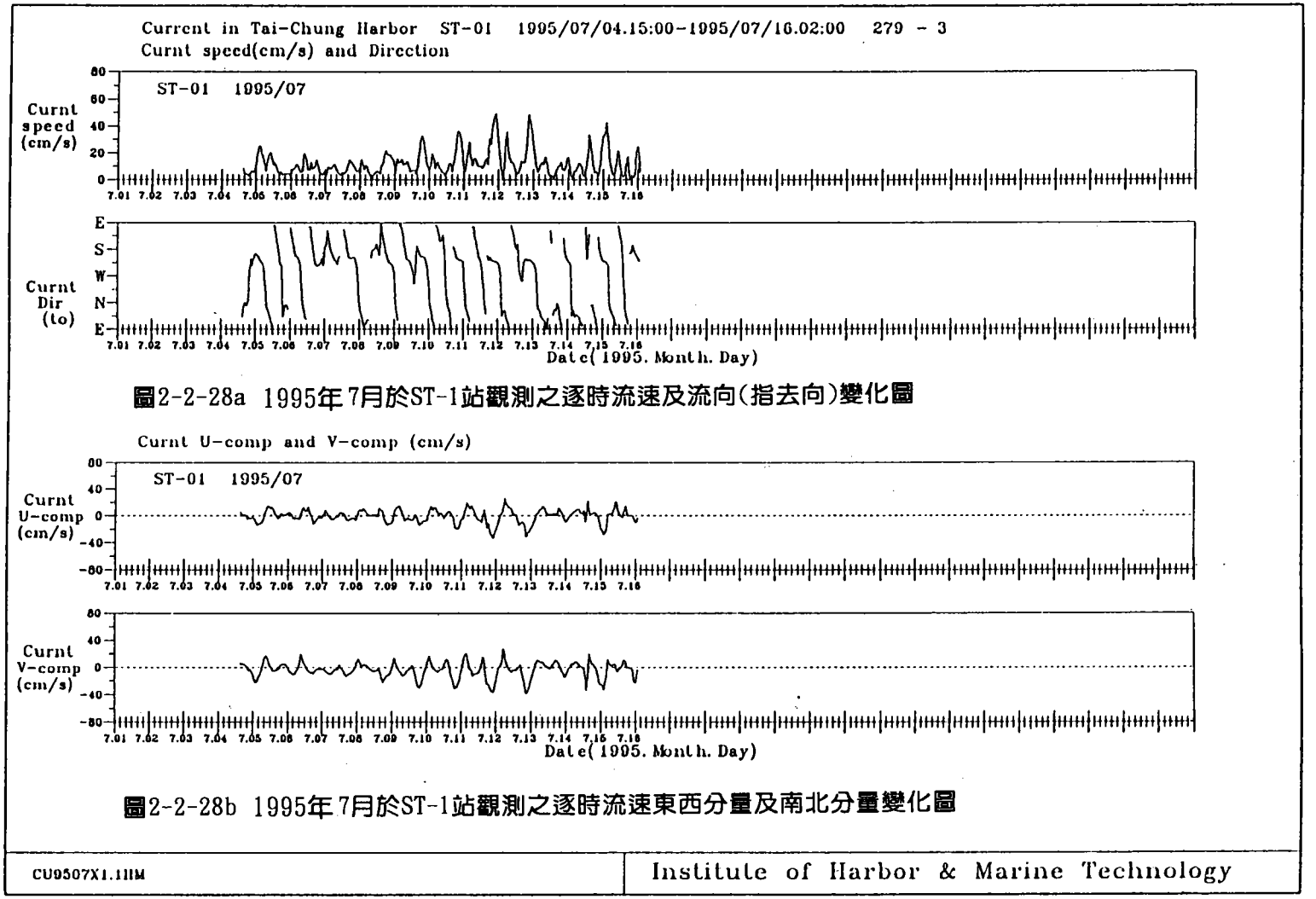


圖2-2-28a 1995年7月於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

圖2-2-28b 1995年7月於ST-1站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖

CU9507X1.1HM | Institute of Harbor & Marine Technology

PLCU2H.FOR

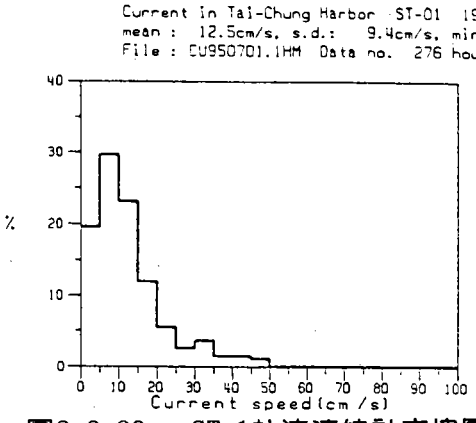


圖2-2-28c ST-1站流速統計方塊圖

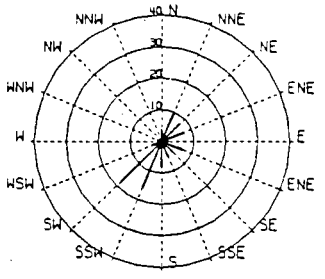


圖2-2-28d ST-1站流向統計玫塊圖

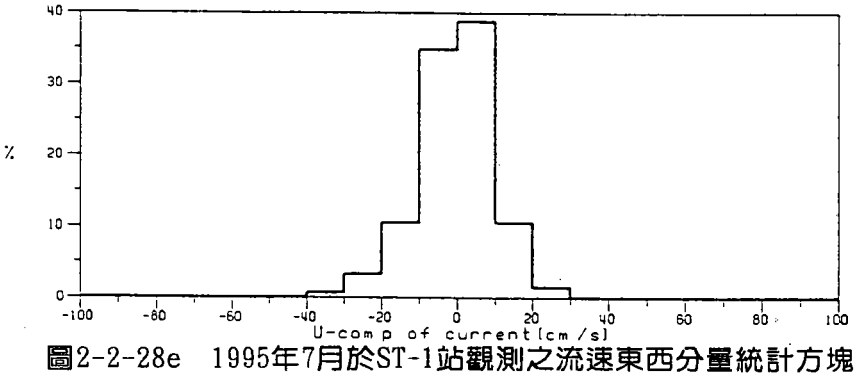


圖2-2-28e 1995年7月於ST-1站觀測之流速東西分量統計方塊圖

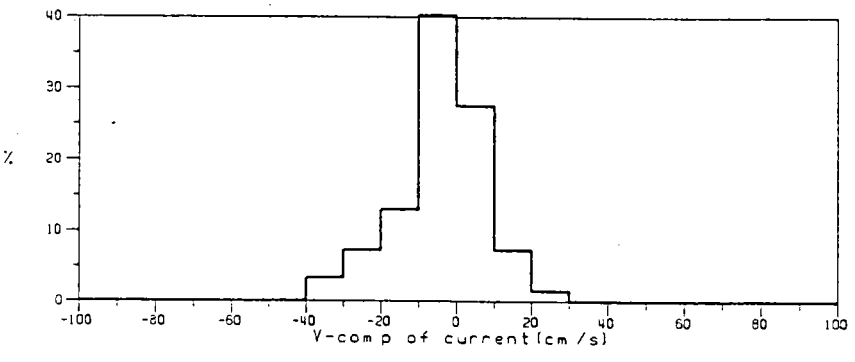


圖2-2-28f 1995年7月於ST-1站觀測之流速南北分量統計方塊圖

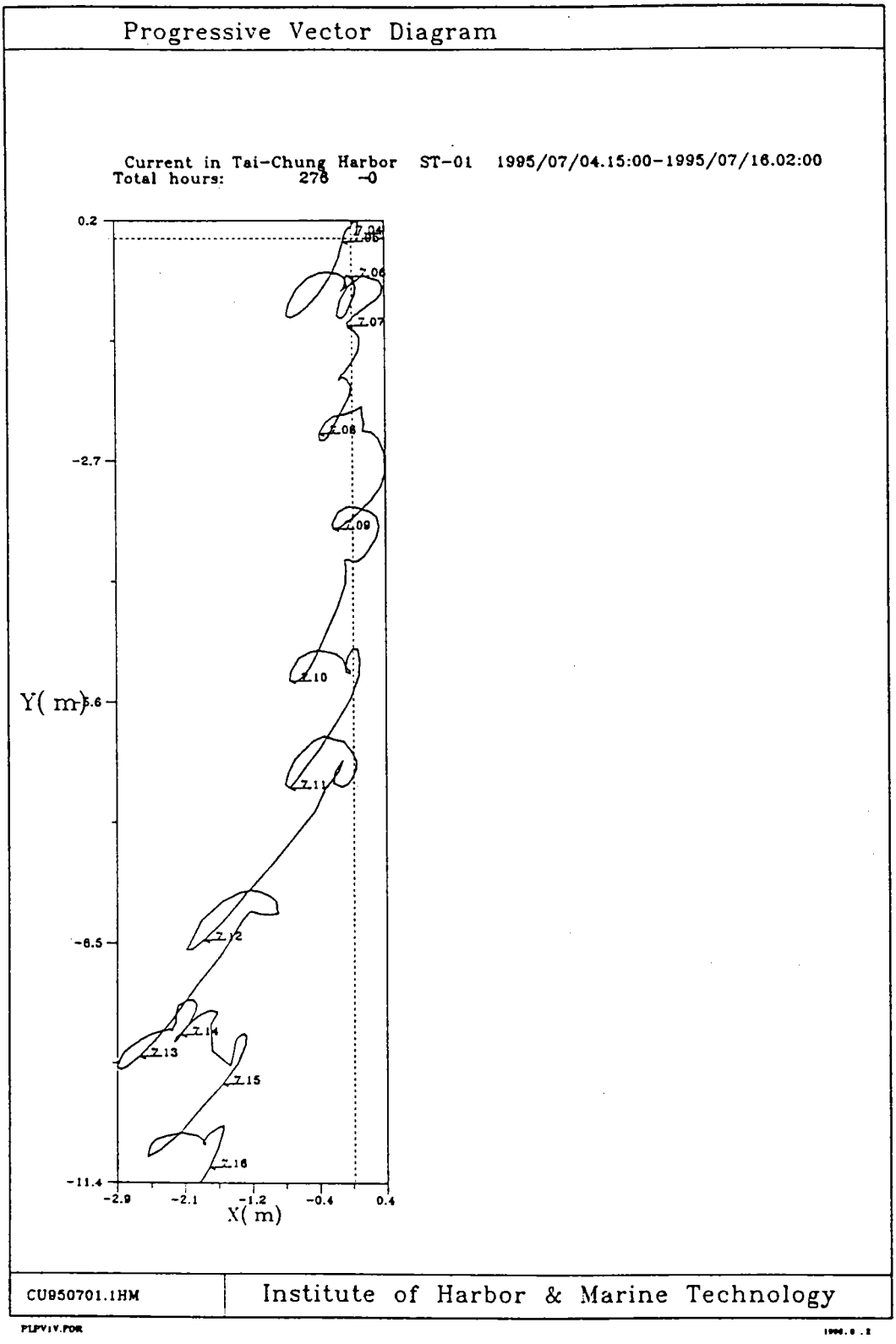


圖2-2-28g 1995年7月於ST-1站觀測之海流向量進行圖

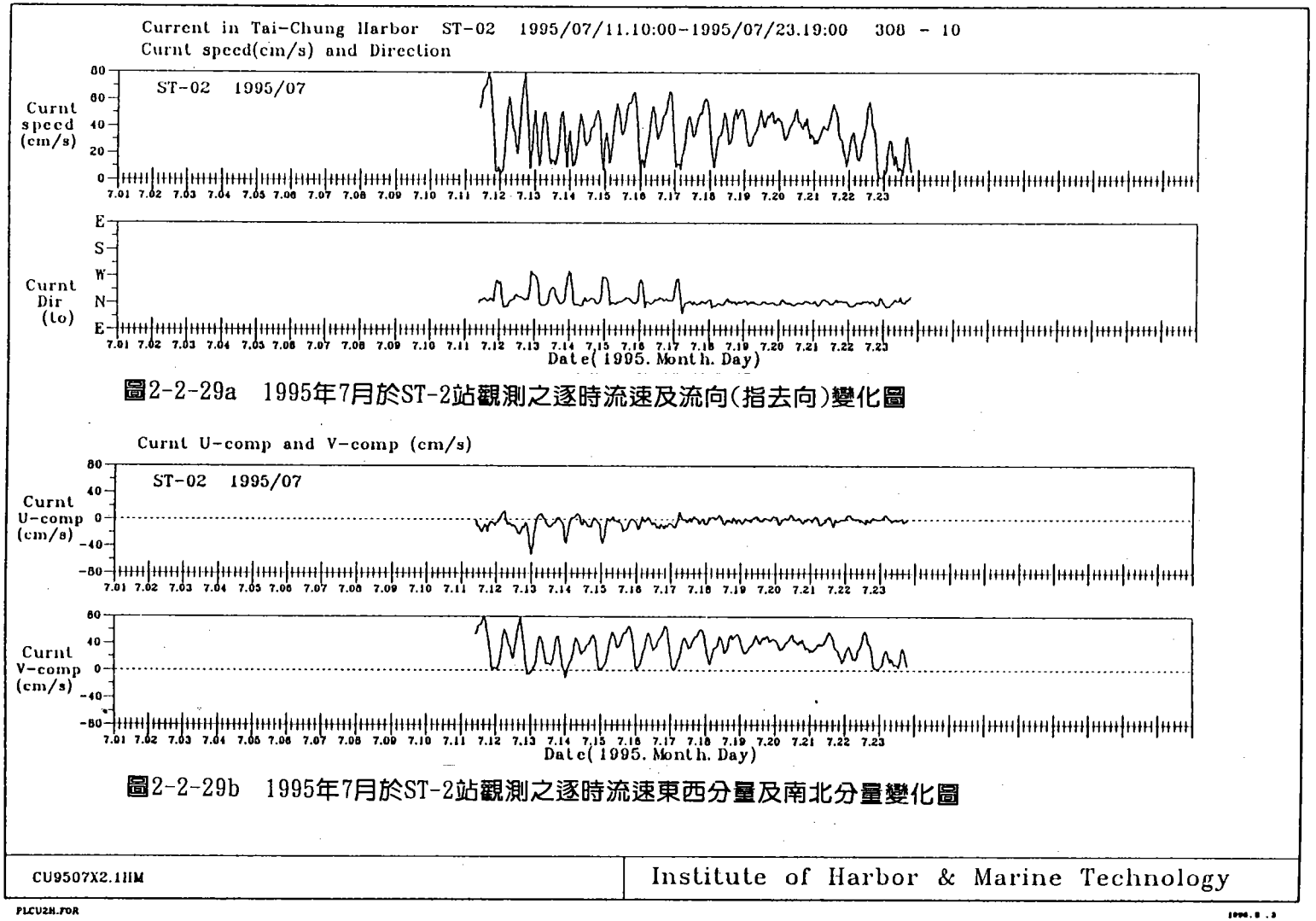


圖2-2-29a 1995年7月於ST-2站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

圖2-2-29b 1995年7月於ST-2站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖

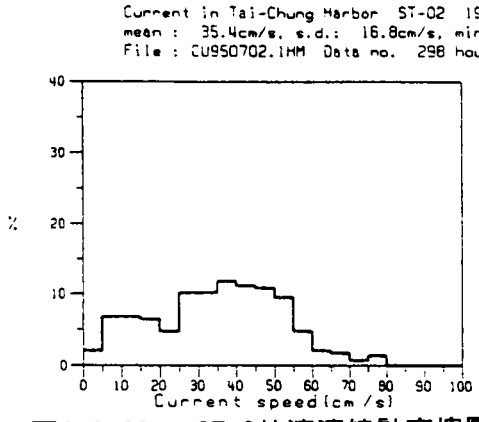


圖2-2-29c ST-2站流速統計方塊圖

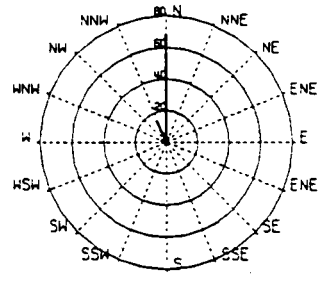


圖2-2-29d ST-2站流向統計玫塊圖

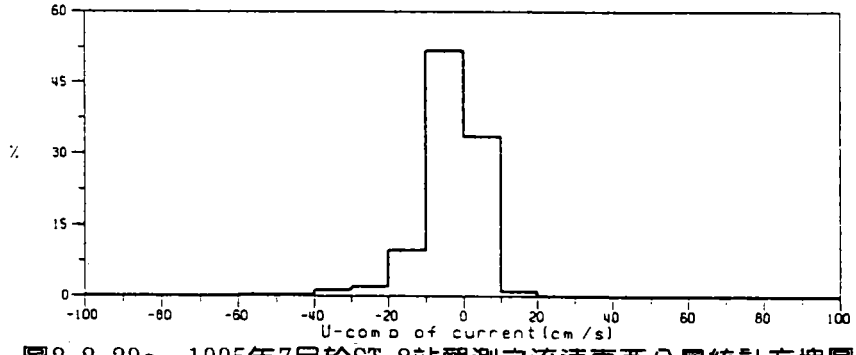


圖2-2-29e 1995年7月於ST-2站觀測之流速東西分量統計方塊圖

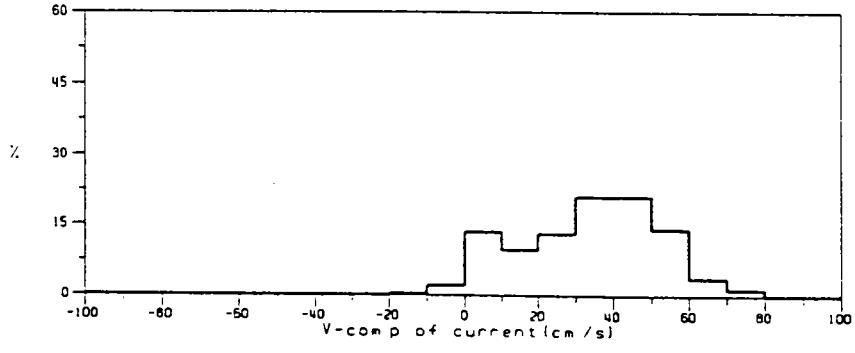


圖2-2-29f 1995年7月於ST-2站觀測之流速南北分量統計方塊圖

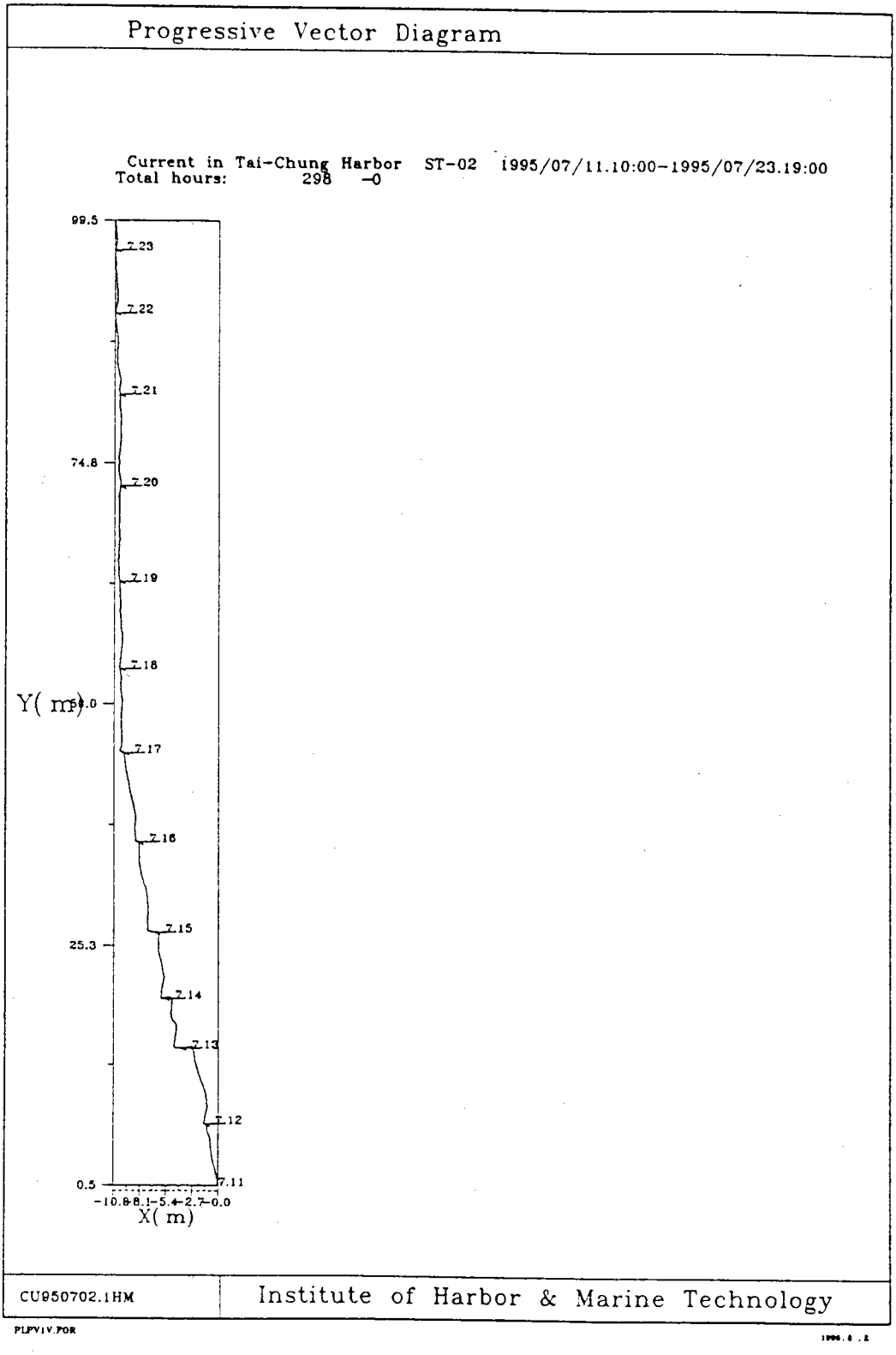


圖2-2-29g 1995年7月於ST-2站觀測之海流向量進行圖

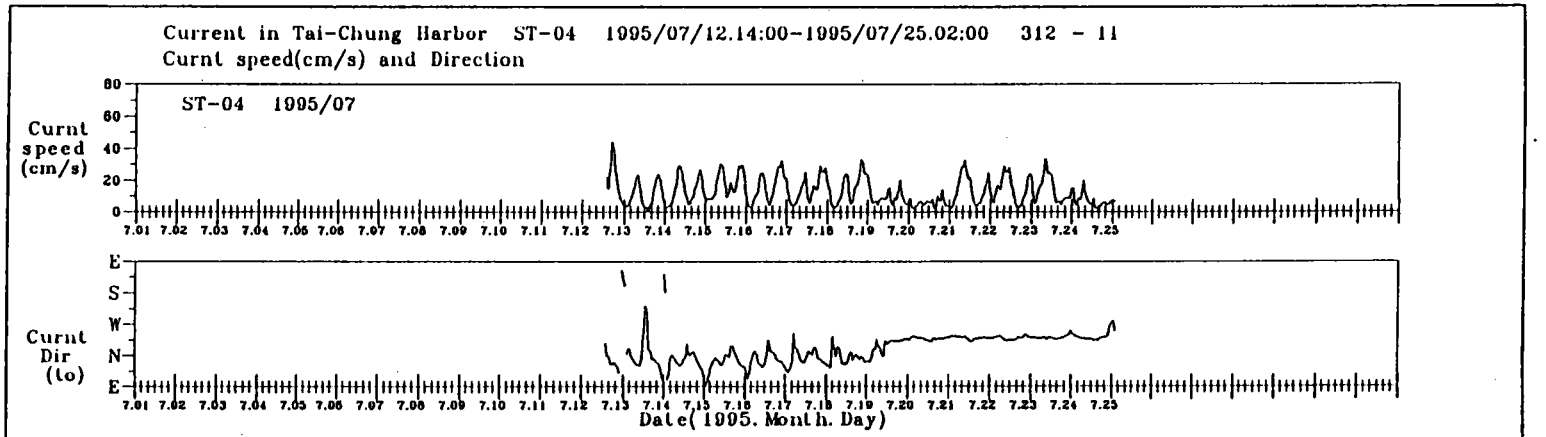


圖2-2-30a 1995年7月於ST-4站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

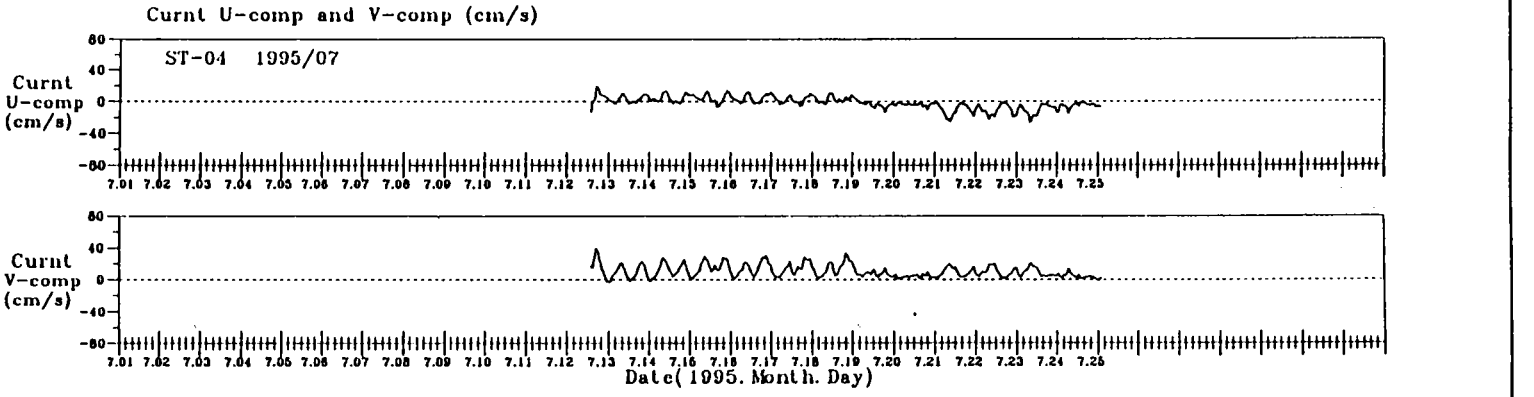


圖2-2-30b 1995年7月於ST-4站觀測之逐時流速東西分量及南北分量變化圖

CU9507X4.IHM | Institute of Harbor & Marine Technology

PLCU2H.FOR

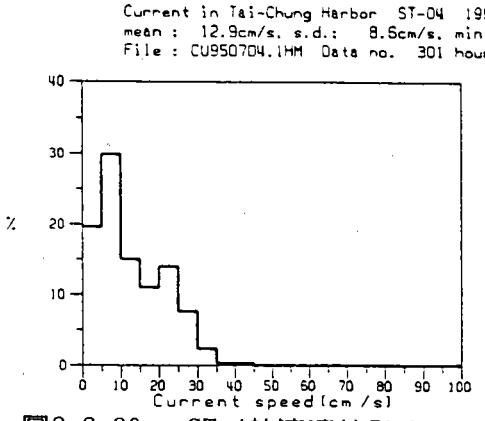


圖2-2-30c ST-4站流速統計方塊圖

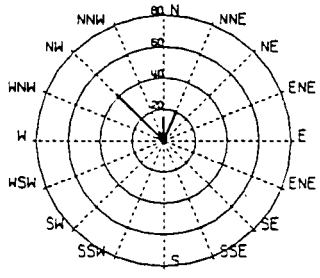


圖2-2-30d ST-4站流向統計玫塊圖

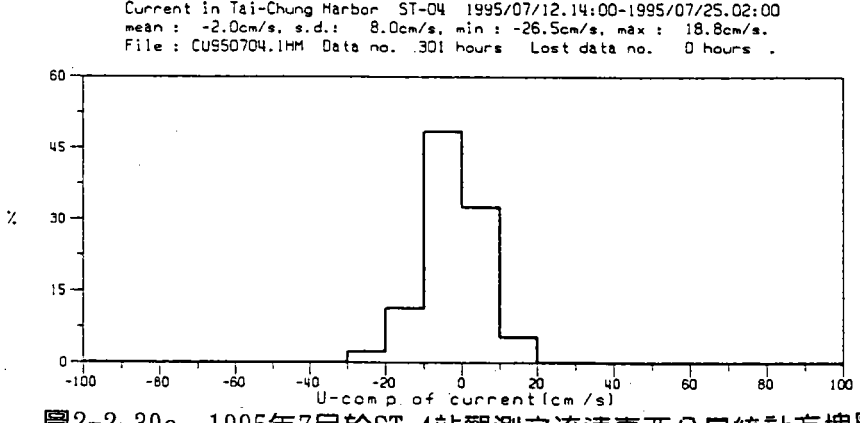


圖2-2-30e 1995年7月於ST-4站觀測之流速東西分量統計方塊圖

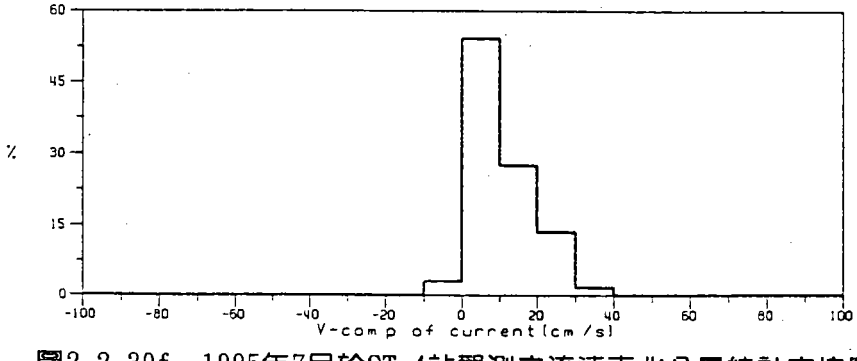


圖2-2-30f 1995年7月於ST-4站觀測之流速南北分量統計方塊圖

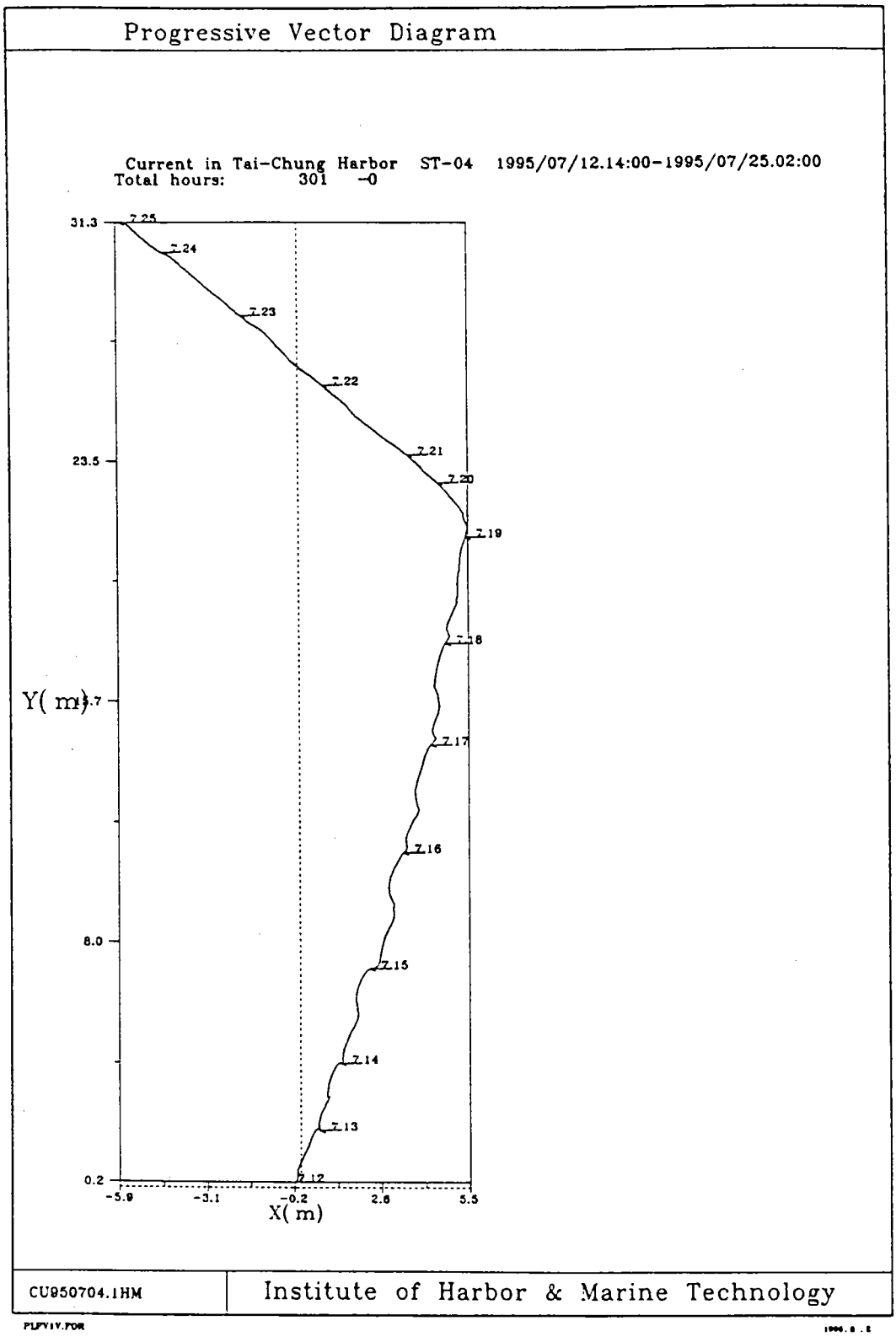


圖2-2-30g 1995年7月於ST-4站觀測之海流向量進行圖

圖2-3-1　台中港民國74、79及83年輪船進港噸級分佈圖

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

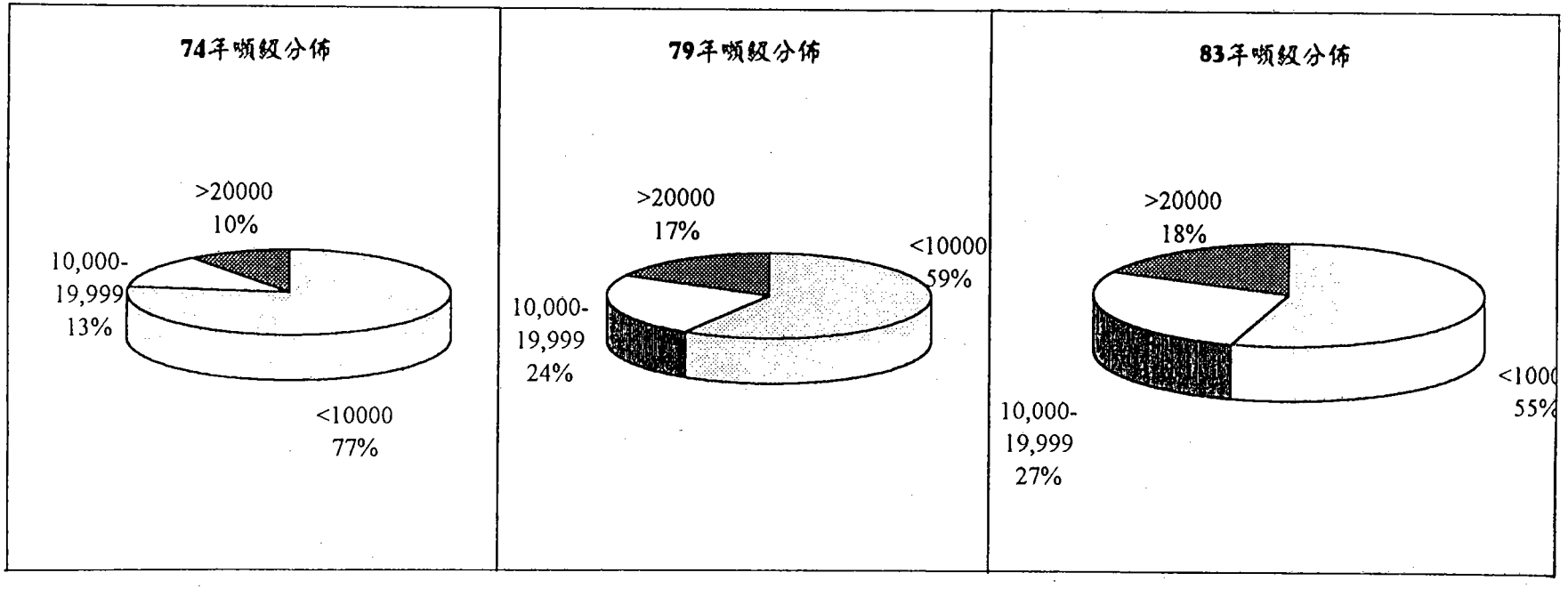


圖2-3-2　台中港民國74、79及83年貨輪分佈圖

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）

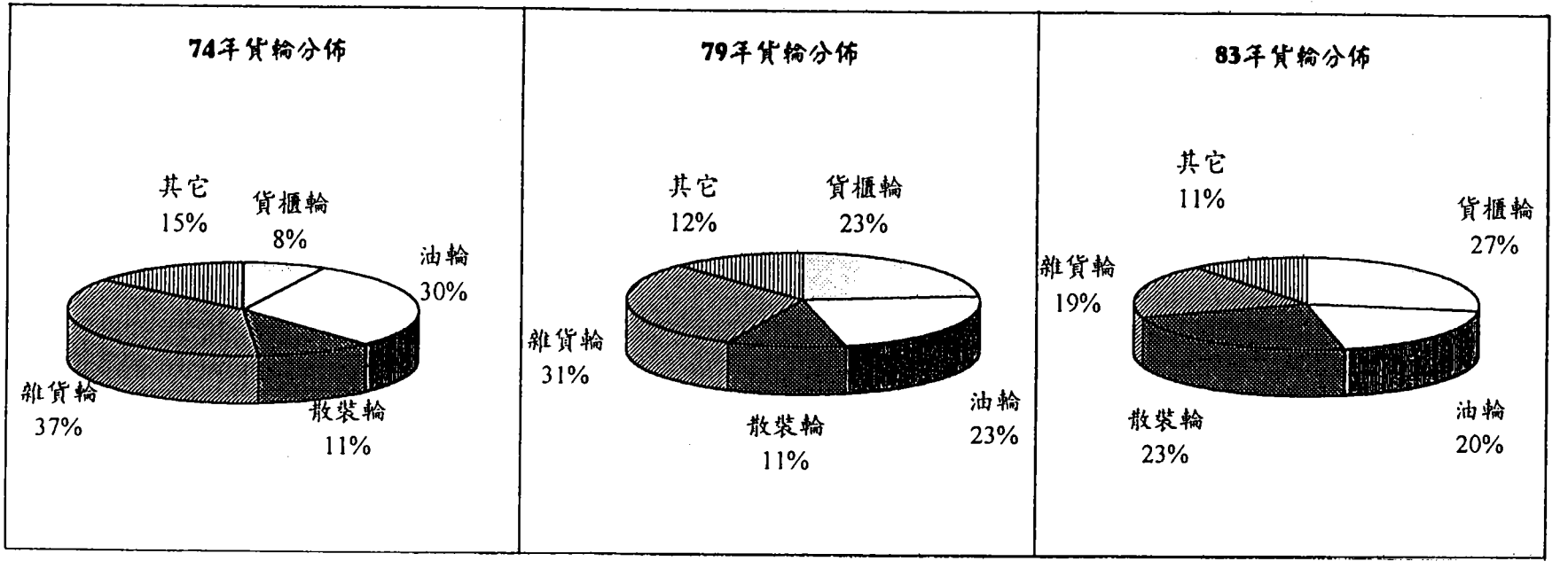
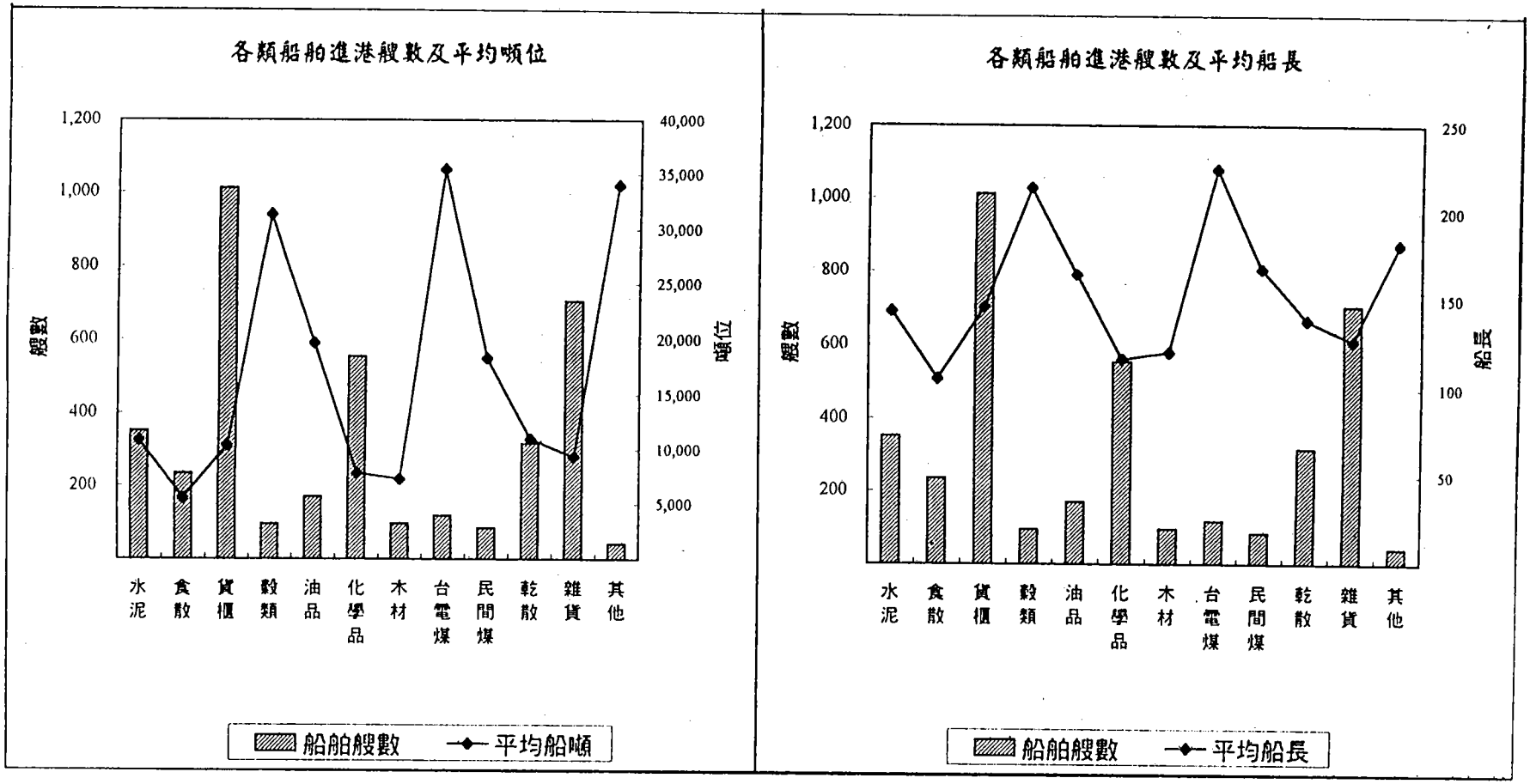


圖2-3-3　民國83年台中港各類船舶進港艘數、平均噸位及平均船長分佈圖

（資料來源：宇泰工程顧問公司，民國84年）



第三章 船舶進出港障礙探討

一般船舶進出港之難易程度，除受港口航道現況與船舶船型、噸位之限制外，尚與海氣象自然因素及人為因素等息息相關。在台中港原始綱要開發計畫中，原計畫最大進港船型為5萬載重噸貨輪，初期港口段航道設施因此依此目標設計。但實施第一階段開發計畫以來，至最近北外防波堤延伸完成之前，經領港及船長多年實際操船經驗顯示，在顧慮強風、強流與波浪之影響下，港口南防波堤堤頭及內港口南北內防波堤頭始終是船舶進出港遭遇困難之所在，另因防波堤遮蔽範圍之限制，登輪領港亦為船舶進港首要克服之障礙。為此，在『台中港港口擴建計畫評估研究』[1] 中，曾建議拆遷南外防波堤168公尺，南內防波堤拆遷50公尺，主航道兩側及港口以南部份水域浚挖至-16公尺，唯因現階段船舶進港需求之考量，南內外防波堤拆遷案暫未辦理。至於領港登輪障礙之改善，台中港務局已著手北外防波堤再延伸工程，現今北外防波堤延長850公尺已經完工，對於南內外防波堤堤頭之障礙點所造成之操船威脅是否仍然存在，負有實際操船安全進出港口責任之領港與船長觀點，頗值得納入本研究之參考。因此，對於目前與未來船舶進出港遭遇之困難探討，經廣徵台中港引水人工會之領港及船長經驗，再配合現階段港口配置進行操船模擬結果，綜合討論如后：

3-1 風力

在船舶實際操航上，風的作用為影響船舶操航的重要外力因素之一。風力在港外除會引起風趨流及波浪而不利領港登輪與船舶航行穩定外，當船舶進出港口或航行於航道上時，若遇強烈橫風，船舷受強大風力作用後將會影響航行穩定之保持甚至可能因此而偏離航道，致使船舶有擱淺或碰撞防波堤、碼頭等港灣構物之顧忌。

風對船舶運動之影響，根據海洋大學張石煜教授(1992)之研究結果[34]：若一船體之正面投影面積為 A_x，側面投影面積為 A_L，則船體受風產生之風壓合力 R_a 可用下式表示：

$$R_a = \frac{1}{2}\rho_a C_a V_a^2 (A_x \cos^2\theta + A_L \sin^2\theta)$$

式中：ρ_a 為空氣密度，V_a 為風速，C_a 為風壓合力係數，θ 為相對風向角。

C_a 隨船體、構造、船型、形狀與配置而不同，一般需以風洞實驗定之。船舶受風後之風壓合力示意圖如圖3-1-1(a)及(b)所示，由圖可看出，因風壓合力中心與

船重心間有距離存在，故船體受風壓時將產生繞重心迴轉之力矩N_a，可以下式表示：

$$N_a = \rho_a \sin(\ell_g - a)$$

由於R_a及N_a之作用，因此船舶在頂風下操航，船速將減慢，順風時船速增快，偏風時船位不僅向下風偏移，同時也將產生迴轉。在實際操航中，由於進港前船速必須減慢，但因低船速風力之影響將增大，尤其水面上船體構造物較高大而受風面大之船舶，其受風之影響將更嚴重。當船舶行進中，迴轉軸一般將前移至重心之前距船首約1/3船長處，因風壓力中心與水面下流體阻力與迴轉軸之力臂不同，兩者產生之迴轉力矩將不相等，故而使行進中之船舶產生迴轉，因此需以舵力修正來維持航向。根據圖3-1-1(c)相對風向角與船舶迴轉之關係圖可知，當相對風向角小時，風壓力中心在迴轉軸前方，船首向下風側偏轉；當風向角大，尤其當其在130度附近時，船首將迎向上風側，此時船舶反倒需向下風側用舵。目前，因許多船舶之高大構造物皆建置在船尾，故船舶受風後，船首迎向上風之傾向十分明顯。假設A_a表示船舶水線以上之受風面積(m^2)；V_a爲相對風速(m/s)，則風壓合力R_a以公斤力(kgf)表示，經驗上可用下式[35]估算：

$$R_a = 0.0735 A_a V_a^2$$

根據本研究2-2節有關風力之統計資料顯示，台中港海域在東北季風期間，風向大多爲NNE向，而港口內主航道方向約爲WNW，航道與主風向約略垂直，在冬季季風期間，由於風速大於18m/sec(已達輕度颱風之強度)佔全冬季4.7%(參考表2-2-3)，在此期間，台中港船舶在進港及通過南外防波堤頭及南內防波堤堤頭間之主航道時，若船舶操控反應不夠機警，船舶主機未能充分發揮機能，船速不足，舵效不佳，將極有可能使進港船舶偏離預定航道以致擱淺或碰觸南北內外防波堤。爲避免以上橫風作用對船舶操作之不利影響，目前台中港之進港船舶皆採60°(舶艏與正北向夾角，參考圖2-1-3)之航向進港。

台中港北外防波堤延長850公尺後，6萬載重噸散裝船在風速小於20m/sec情況下，依領港及船長經驗表示，目前應能安全進港；唯目前規劃進港之大型船舶長度普遍皆超過230公尺，因此當台中港海氣象條件不佳時仍要求全年全天候允許安全操航尚有待相關措施之進一步配合改善。針對風力影響之改善方面，台中港務局於本研究中即委託本所進行港口段航道設置擋風牆減風設施之初步評估研究。

3-2 波浪

船舶一般具有六個運動自由度，當船舶航行接近港口時，由於港灣結構物對波浪之遮蔽效果，於結構物遮蔽區內，船舶之不穩定運動較小，但在遮蔽區外，波浪之直接作用使其不穩定的運動相對地增大。以台中港而言，當進港船舶接近港口且在防波堤等結構物有效遮蔽區外時，波浪的作用常導致船舶橫搖(Rolling)與橫移(Sway)運動，此兩種船舶運動之結果將造成領港船接近不易且登輪困難，此外對船舶操控之穩定性亦構成威脅。因此台中港在北外防波堤未延伸850公尺前，若遇海氣象條件不佳之情況，領港人員常須先至外埠港口登輪，然後再依航程進泊台中港。北外防波堤延伸850公尺後，由於延伸之防波堤已可提供相當範圍的波浪遮蔽區，故現況台中港領港人員只要海氣象條件許可，就近於防波堤遮蔽區內登輪及執行領港任務已不成問題。唯爲因應船舶大型化之發展，對本研究目標進泊之大型船舶而言，現有防波堤遮蔽區範圍是否足夠，領港登輪是否尙有障礙等因素，尙須藉操船模擬研究確認。

3-3 海流

近年來由於船舶大型化發展之結果，船舶之長、寬與吃水深度亦不斷增加，至使海流對船舶操航之影響亦日趨重要。海流對船舶之作用合力R_v以公斤力(kgf)表示，經驗上可用下式[35]估算：

$$R_v = 73.2A_s(V_s + V_w)^2$$

式中：A_s表船舶之平均吃水深度與船長之乘積(m^2)，V_s爲船舶受海流作用後之船舶側移速度(m/s)，V_w爲海流流速(m/s)。台中港在北外防波堤延伸850公尺前，由圖2-2-23及圖2-2-24冬夏季實測海流分佈特性知，原北外防波堤頭附近因防波堤結構物向海側伸展深入之結果，港口附近存在有甚強之橫流，強盛季風期間，港口南側亦伴隨有反時鐘方向旋轉之環流，強流、強風與波浪共同作用之結果致使早期進泊大型船舶甚爲不容易，登輪亦甚困難，尤其當進港船隻船艏進入防波堤遮蔽區內而船尾仍受強盛風與流之作用致使船隻於進港階段受到極大扭力，船艏因而常有左偏現象，此結果造成進港船舶無法於預定航道上保持航向，並有於航道北側擱淺或碰觸北防波堤及北內防波堤頭之潛在危機。北外防波堤延伸850公尺，因防波堤向海側深入之長度增加，其對波浪遮蔽之效果雖甚良好，但強盛季風期因風趨流及潮流作用，於北防波堤及港口南側之反時鐘環流依然存在，其對目標進港大型船舶之影響亦仍存在，所不同地僅是環流中心向港口海側移動而已。此外，台中港爲積極利用西碼頭區，原用以聯繫東西碼頭區之施工道路業已打通，港區水域面積因而擴大致使港區南端之台電煤碼頭區，由於台中港日潮差變化甚大，最

大潮差幾乎達到5公尺左右，在內外港口寬度未曾調整下，港口因漲落潮期間大量水體進出所造成之港口流速因而亦甚可觀，依現有內港口寬度及深度估算，港口流速約可達一節(約51.5cm/sec)左右，由於漲退潮流向適爲正反向，此強大的港口流速變化情況對於大型船舶之進出港操航量必將產生相當程度之影響，其中，向港口內之流速將可能增加爲克服港外風、浪及流作用而採較快速船速進港船舶之停船距離；向港口外之流速由於其主流方向係由內港水域向外流動，在通過內港口南側向外流出時必有稍向港口北側流動之分量，並會於南內防波堤後港口側形成環流，此環流與偏北流速共同作用於進港大型舶之結果亦將造成船舶船艏偏北，倘若此時速度不足，舵效亦無發揮，則進港之船舶亦有碰觸現有工作船渠外堤設施之顧忌。總之，台中港區之海流不僅在大型船舶進港階段產生影響，在船舶進入航道及通過內港口至停船待轉階段亦必須注意其效應。

3-4 漁船干擾

台中港建港時，特別把梧棲漁港遷設於北內防波堤後之北側，俾使漁船進出漁港時與商船共用主航道部份減至最短，以免重蹈基隆港及高雄港港內因漁船航行於港內航道時，易生海事意外及干擾之缺點。尤其台中港冬季季風強勁，港口及航道流速變化亦大，大型船舶進出港口已甚不易，北外防波堤延長850公尺後，雖可有效增加冬季季風波浪之遮蔽效果及改變港口之流況。但主航道長度之增加，同時亦增加了漁船及商船共用航道之長度。近幾年來，漁船及商船之數目均有顯著的增加，使主航道之交通量劇增，因此商漁船在主航道易發生互相干擾現象[9]，故此亦爲大型船舶安全進出港口之部份障礙所在。據船長及領港表示，在航道上若無漁船干擾，寬闊之航道對操航安全當甚有助益。

3-5 港口段航道之限制

1. 主航道寬度

依國際航海委員會PIANC建議，航道寬度原則上應視各地自然條件而定，不宜硬性規定，並建議單向航道寬度以不小於5倍船寬爲原則。在國內對航道寬度的相關規定中，係作如下建議[3]：

- 決定航道寬度時，應就船舶之船型、通航量、地形、氣象、海象、單向或雙向航行、有無拖船協助等，作充分之考慮研究。
- 單向航道在靜穩且潮流與航道平行時，採船長之0.5倍以上，或採船寬之0.45倍再加90m。
- 雙向航道則採1～1.5倍船長或船寬之3.6倍再加90m。

將本研究未來目標進泊之對象大型船舶尺寸，見表2-4-1及表2-4-2,依據上述原則計算比較(如表2-4-3)後得,目前進港主航道最窄處寬度270公尺(水深大於13公尺)，如圖2-1-1所示，現況航道寬度均滿足本研究對象船舶所需單向航道之寬度。但台中港進港航道因垂直恆風方向，加上流況變化之影響,船舶操船實較他港困難，航道寬度應不可以依據一般標準而認定，並當優先考量操船之安全。尤其在港內水域靜穩度允許之情況下，應盡可能加寬航道。故台中港在第二階段港口擴建計畫中，曾爲因應船舶在通過港口進入航道後，船身常有向北偏離航道之傾向，計畫將港口段航道採橢圓弧狀加寬，最大寬度可達600公尺，如圖2-1-2所示[1]，倘若橢圓弧狀航道加寬並浚深完成，航道之寬度對提供未來大型船舶安全進泊應不致構成障礙。

2. 主航道長度

主航道長度主要用以確保進泊船舶之安全停泊或待轉。一般規定之停船安全距離至少應等於5倍船長以上，而在實際規劃中，航道長度通常皆大於停船安全距離，且亦依港口環境而酌予增加。台中港在北外防波堤延長前，港口段航道長度已達1,600公尺(如圖2-1-1)，均較本研究對象大型船舶所需航道長度(如表2-4-3所示)爲長，但船舶進港因漲退潮之海流及橫風作用與舵效之考量，大型船舶操航於航道上不僅無法減速且常需加車進港，以致造成停船安全距離不足；而在北外防波堤延長後，由於波浪遮蔽區及流況之改變，此一問題現已獲得較大之改善。

3. 主航道水深

航道水深一般視船舶吃水、潮位變化及工程經濟等因素而定，對於波浪、風、潮流等較強、潮差較大及允許大型船舶操航之航道，一般尚須考慮波浪造成之船身擺動、大型船舶由寬廣水域至狹窄航道內之下座效應及載貨不均所產生之船首與船尾吃水差、淨餘裕水深、超挖水深、海底地質及操船難易等因素。以第三代貨櫃輪估算之港外航道及港口段航道需求水深16及15公尺而言，如表2-4-3所示，均與6萬載重噸級散貨輪相同。爲使未來進舶之大型船舶能安全進港，目前台中港採行60°之進港航線水深應維持在16公尺以上；而主航道水深目前多介於13～15公尺(如圖2-1-1所示)，若欲全天候進泊大型船舶，港口段航道至少應再浚深至低潮位下水深15公尺。故第三代及第四代貨櫃輪未來若仿照6萬載重噸散貨輪之候潮方式進港，以目前港口段航道水深應該足夠。但就12.5萬噸大型煤輪之需求水深18.7公尺而言，則航道上之水深尚待進一步疏浚改善。

3-6 領港登輪

3-6-1 台中港船舶接引領港作業規定摘要

1. 台中港經核定爲強制引水區。
2. 船舶進出港及移泊須雇用引水人時，事先由代理公司逕向台中港引水人辦事處辦理申請。日出至日沒前引水人在港口外(外海)登輪。冬季在南防波堤燈塔西南西方約0.5浬處登輪，夏季在南防堤燈塔西南西方一浬處登輪。船舶在港外讓引水人登輪時，應保持適當位置以利引水艇靠攏，並注意本船與引水人之安全。船舶到達港口與信號台用VHF14頻道聯絡，以確定引水人登輪正確時間。若因夜間或遇風浪惡劣等特殊情況，致引水人無法出海登輪時，船舶可與信號台聯絡後再確定如何進港，通常引水船在防波堤口等候，進港船駛進港口後，引水人在防波堤遮蔽區內登輪。
3. 船舶出港時，引水人領船至主航道，穩定出港航向後離船。船長如需引水人引領船至外海時(港口外)應在未開航前提出要求，引水人因夜間或遇風浪惡劣等特殊情況得拒絕之。
4. 當引水人登船與離船時，船舶應遵守國際海上人命安全公約規定裝設領港梯於下風側。
5. 小型船舶重載情況下在外海，遇海面湧浪甚大時，因其乾舷甚少，引水艇隨波上昇之高度可能超越主甲板舷牆頂，引水艇無法靠攏大船，此時應將領港梯裝置於有足夠高度船樓處(如長船尾樓之前端)，以策安全。

3-6-2 惡劣海況之領港登輪方式

通常在海況惡劣時船長需調整船向利用船體遮蔽部分風力及波浪(Making a lee)以便領港於下風側登輪。作業示意圖如圖3-6-1所示。船長如欲提供更有效領港登輪靜穩水域，除需依上述方式慢速轉向以船體遮蔽波浪外，當船舶完成轉向後需立刻倒車(Engin Astern)以保持船艉下風側之穩靜水域。但倒車不得過久，以免船跡波(Wash)影響領港艇靜穩或使靜穩水域脫離船側，反而增加領港登輪之困難。

船長操航優良確可提供較平靜之水域供領港登輪，大幅減低領港登輪之危險性。但通常船長由船橋高處看外海波浪，因視覺角度關係所判斷波高常較領港艇實際感受到者爲小。故許多船長均未能充份協助配合，以致領港仍需冒極大風險登輪。

於惡劣海況領港必須在領港艇緊靠登輪梯後,把握波浪將領港艇推湧至最高點之瞬間,立刻抓緊繩梯順勢攀登上船,此際領港艇應盡速脫離以免兩船搖擺時夾傷領港。作業過程中領港與領港艇間如未能密切配合,領港有墜海之虞。且領港於攀登繩梯途中如遭猛浪襲擊亦可能落海。故領港於惡劣海況下作業潛伏的危險甚多,工作極爲艱辛。

國內外學者專家一致認爲領港登輪之可行性與下列因素息息相關:

- 海況條件影響船舶及領港艇之運動及航行能力。
- 船長之經驗及技巧,是否可於船艉下風側製造一穩定水域供領港登輪。
- 領港艇航行能力、設備、強度及護舷設施。
- 領港艇水手於惡劣天候作業之經驗、技術及出海意願。
- 進港船舶之操航與船機特性。
- 領港於惡劣天候登輪之技術及膽識。

在上述各項影響領港登輪因素中,船長之技術及進港船舶操航與船機特性並非港務當局所能控制,故以下僅分別就領港登輪海況條件限制、領港艇性能及艇員出海意願、領港於台中港外海登輪意願進行檢討。

1. 冬季風浪對領港登輪之影響

(一) 風力

依氣象局颱風強度劃分標準,中心最大風速大於7級風(十分鐘平均風速17.2m/sec)時即發佈輕度颱風警報。當風力大於上述標準時港埠作業將受影響,故一般港灣裝卸機具作業風力限制或暫停船舶進出港條件大多訂在十分鐘平均風速18m/sec左右。

風力對領港登輪之影響,主要在攀登繩梯途中受風力吹襲產生之擺動,其受風力大小視船舷高度及船體與風向角度而定。有關領港登輪可承受最大之風力因人而異,目前尚無明確之標準。

台中港冬季鋒面過境時十分鐘平均速約集中於15m/sec～20m/sec之間。如風力達8級時領港無法登輪,則冬季因風速限制無法登輪比例約佔7.1%,再加上夜間船隻進港之限制,冬季領港無法登輪比例將更高。

如領港登輪風力限制提高至20m/sec,則冬季因風速限制無法登輪比例約爲1.8%,若仍考慮夜間進港限制,則冬季無法登輪之時間仍有相當之比例。對計畫進港大型船舶而言,領港在冬季風速達20m/sec時領船進港,徒增登輪與操航之危險,但爲不影響港埠之營運,台中港領港登輪風速條件仍應以17.2m/sec或8級風爲限。地面風力之分級參見蒲福風級表,如表3-6-1所示。

(二) 波浪

海上波浪大小除影響領港艇適航性外,尙會造成領港艇與船舶間相對運動,對領港登輪安全威脅極大。此外,波浪對領港登輪之限制,如3-2節及3-6-2節所述,尙隨船體製造遮蔽水域之技巧及領港個人膽識、勇氣及經驗有極大的關係。

依據荷蘭PRC公司參考國外領港登輪作業之經驗表示[1],認爲船舶在防波堤遮蔽水域之示性波高大於1.25公尺(最大波高約2.06公尺)時領港登輪將十分困難;示性波高大於1.5公尺時(最大波高約2.48公尺)領港幾乎無法登輪。但考慮海上波況之瞬息萬變,爲保守計將領港登輪位置之波高限制訂爲1.0公尺(最大波高約3.6公尺)。此點在民國76.10.22於中華顧問工程司主辦之"台中港領港登輪及拖船作業問題研討會"中經熱烈討論,咸認爲上述登輪條件應屬合理。

如船長操航技術良好可充份利用船體並順利地在下風側製造遮蔽區,以船長約260公尺之大型貨櫃輪爲例,下風側遮蔽區之波高約僅爲上風側之0.3～0.4;若依登輪區示性波高小於1.0公尺限制,則換算外海示波高即可達2.5～3.3公尺,所餘問題僅爲領港艇適航性及出海意願而已。

2. 領港艇性能及艇員出海意願

台中港原有中407、中408及中312三條領港艇,各艇性能詳如表3-6-2。其中407號領港艇噸位及馬力均小,僅適合港內交通船使用,中408號領港艇係台大造船研究所設計,委託國內民營船廠打造。依當初設計要求本艇應有足夠之穩定性及抗浪性以承受八級以下之風浪,唯以上兩艇目前皆已報廢,中312號領港艇爲荷蘭DAMEN造船廠製造,有三組引擎槳葉,可原地轉向,操作極爲靈活,爲世界甚爲先進之領港艇,可耐九級以下風浪,目前作爲交通船使用。

台中港現有之領港艇業務已於民國83年2月開放民營,並由互力船舶股份有限公司經營,現有領港艇共二艘,分別爲互明號與互華號,詳細性能如表3-6-3所示,由表可知,兩艇性能一致且皆適合港外作業,並能耐八級之風浪,民國83年2月至12月領港艇之使用情形如表3-6-4所示。在領港艇全年4380標準作業小時下,兩艇現況之使用率平均仍達56.9%以上。依互力公司表示,只要領港人員要求,領港艇將極力配合領港作業,艇員出海意願極高。唯限於領港艇原設計適航性能,海上風浪大於八級時,領港艇與相關作業人員安全仍應顧忌。

3. 領港出海登輪意願

台中港現有領港人員共10名(民國86年三月預計再增加二名),個個鬥志高昂,出海意願極高,但依目前領港作業規定,領港於夜間或遇風浪條件惡劣等特殊狀況時可拒絕出港。但何謂"風浪惡劣",各港均未有明文規定及依據,現況之作業僅能依憑領港個人膽識及經驗再綜合海氣象條件研判。

僅管台中港現有領港人員出港意願甚高,但領港無法出港之原因仍有下列四項:

(一) 海氣象條件惡劣確實不宜出港作業。

(二) 進港大型船舶基於船舶自身進港安全考量,不願或無法進港。

(三) 進港船舶操航具危險顧忌。

(四) 領港艇性能不堪負荷或艇員出海意願無法充分配合。

台中港在冬季尤其有鋒面過境期間,海氣象條件確實不甚良好,且往往持續數天,致使領港無法出港執行領港任務。而台中港目前亦尚未建立完整之即時海氣象資訊蒐集回報系統,故而冬季船隻進港時間不易掌握,船期亦會因此而延誤,依領港及船長意見顯示,倘若台中港現有港灣軟硬體設施能再配合進一步改善,則只要領港人員能順利登輪,引領船舶安全進出港之限制條件、因素及顧忌應可大部分消除。

3-7 拖船

台中港拖船作業及調派現由台中港務局港務組船舶管理所管理。目前拖船數共計10艘,各艘拖船之主要性能如表3-7-1所示,除中409及中410兩艘拖船外,其餘拖船皆適合外海作業,適航性一般在八級風浪以下。拖船雖可用以在海氣象條件不佳狀況下輔助船舶進出港,但台中港基於拖船性能,進港船舶航向、航速、港灣設施配置及海氣象條件之考量,目前拖船僅用於協助進出港船舶迴轉及靠泊而已。台灣航運公司近年針對台電煤輪進泊之需求,預計引入與中411、中412及中415性能相似之拖船各壹艘加入營運,此參艘台航引入之拖船在海氣象條件不佳情況下是否能有效地輔助大型煤輪進泊尚待觀察。若其能成功地完成協助煤輪安全進泊之任務,則其經驗將可提供台中港務局研究發揮現有10艘拖船功能用以克服解決大型船舶進泊台中港之障礙。

3-8 導航設施

台中港燈塔及其他導航設施在財政部海關總稅務司署管轄下,屬於台灣區之第三區海岸內,計有台中港燈塔及雷達標杆一座、南北防波堤燈桿、南北內防波堤燈桿、漁港外內防波堤燈桿、淺水船渠燈桿、工作船渠西堤燈桿及北堤燈桿等

9座,在北突堤前後導燈各1座,另在南防波堤與南海堤交接處設有信號台1座,爲台中港船岸通信之主要設施,爲一圓頂方形之鋼筋混凝土建築物,圓頂表面並漆以紅白相間之方格,非常醒目,其位置分佈見圖3-8-1所示,相關之特性說明如下:

一、 台中港燈塔

位置: #1碼頭遠東穀倉屋頂,北緯 24° 17' 23",東經120° 30' 54" 。

燈質:白聯閃光(3)30秒。

光力: 1,500,000支燭光。

燈高:(自高潮面起至燈火中心)62公尺(203呎)。

公稱光程: 26.8浬。

構造及高度:(自地平面起至風標)白色混凝土構造, 62.6公尺(205呎)。

二、 台中港燈塔雷達燈杆(雷控標):

位置: #1碼頭遠東穀倉屋頂,北緯24° 17' 23", 東經120°30' 54" 。

頻率:掃掠自9300兆赫至9500兆赫。

頻率掃掠時間: 75秒(每次頻率掃掠自9300兆赫至9500兆赫所需時間)。

輸出電力: 0.3瓦特。

回復信號: "F"(- - — -) (每75秒回復信號一次),當雷達標杆頻率掃掠至與探詢雷達頻率相同時回復。

射程: 10浬。

工作時間: 24小時。

三、 台中港南防波堤燈杆:

位置:北緯24° 17'32.3",東經120°29' 30.1" 。

燈質:主燈—紅聯閃光(2)4秒,明0.5暗0.5秒,明0.5秒暗2.5秒。

輔助燈—紅聯閃光(2)4秒,明0.5秒暗0.5秒,明0.5秒暗2.5秒。

光力:主燈—520支燭光。

輔助燈—60支燭光。

燈高:主燈—(高潮面起至燈火中心)21.4公尺(70.2呎)。

輔助燈—(高潮面起至燈火中心)10.5公尺(34.4呎)。

公稱光程:主燈—8.1浬。

輔助燈—4.7浬。

構造及高度:(自塔基至風標)紅色圓形混凝土塔18.4公尺。

四、 台中港北防波堤燈杆:

位置:北緯24°17' 59",東經120° 28' 58" 。
燈質:白色聯閃光(2)4秒,明0.5秒暗0.5秒,明0.5秒暗2.5秒。
光力: 15,000支燭光。
燈高:(自高潮面起至燈火中心)18.4公尺。
公稱光程: 16.0浬。
構造及高度:(自塔基至風標)白色圓形混凝土塔, 18.4公尺。

五、 台中港南內防波堤燈杆:
位置:北緯24°17' 14.1",東經120° 30' 14.2" 。
燈質:紅閃光每3秒一閃,明0.5秒暗2.5秒。
光力: 70支燭光。
燈高:(自高潮面起至燈火中心)13.2公尺(43呎)。
公稱光程: 5.5浬。
構造及高度:(自塔基至燈籠頂)紅色混凝土圓柱塔, 10.2公尺(33.5呎)。

六、 台中港北內防波堤燈杆:
位置:北緯24°17' 25.1",東經120° 30' 19.6" 。
燈質:白閃光每3秒一閃,明0.5秒暗2.5秒。
光力: 280支燭光。
燈高:(自高潮面起至燈火中心)13.2公尺(43呎)。
公稱光程: 8浬。
構造及高度:(自塔基至燈籠頂)白色混凝土圓柱塔, 10.2公尺(33.5呎)。

七、 台中港北防波堤堤頭燈杆:
位置:北防沙堤末端,北緯24°18' 52.0",東經120° 30' 42.3" 。
燈質:白聯閃光(3)10秒,明0.4秒暗0.9秒,明0.4秒暗0.9秒,明0.4秒暗7秒。
光力: 280支燭光。
燈高:(自高潮面起至燈火中心)13.4公尺(44呎)。
光稱光程: 7浬。
構造及高度:(自塔基至燈籠頂)紅白色相間平行橫條紋混凝土圓塔12.1公尺(39.7呎)。

八、 台中港工作船渠西堤燈杆:
位置:北緯24°17' 19.6",東經120° 30' 33.7" 。

燈質:綠閃光每4秒一閃,明1.0秒暗3.0秒。

光力: 540支燭光。

燈高:(自高潮面起至燈火中心)8.1公尺(26.6呎)。

光稱光程: 8.1浬。

構造及高度:(自塔基至燈籠頂)白色混凝土圓柱, 7.4公尺(24.3呎)。

九、 台中港淺水船渠防波堤燈杆:

位置:北緯24°17' 23.8",東經120° 30' 24.8"。

燈質:白閃光每5秒一閃,明0.5秒暗4.5秒。

光力: 510支燭光。

燈高:(自高潮面起至燈火中心)8.1公尺(26.6呎)。

公稱光程: 8.1浬。

構造及高度:(自塔基至燈籠頂)紅色混凝土圓柱, 7.4公尺(24.3呎)。

十、 台中港工作船渠東堤白色定光燈杆:

位置:北緯24°17' 19.0",東經120° 30' 37.5"。

本燈杆與西堤燈杆同設於工作船渠入口堤岸。

十一、 台中港信號台:

台中港信號台爲台中港船岸通信之主要設施,位於北緯24°17'06",東經120°30'02",爲方形圓頂鋼筋混凝土建築物,圓頂表面漆以紅白相間之方格,屋頂架設一信號鐵塔,由地面起計高40.6公尺。

十二、 港埠無線電話(VHF)通信:

(一) 台中港港埠電台: 24小時值守,隨叫隨應。

1. 位置:台中港信號台。
2. 呼號:台中港埠電台。
3. 頻道:

(1) 頻道16(CH.16): 156.8MHz,供呼叫值守之用。

(2) 頻道14(CH.16): 156.7MHz,供工作通信之用。

(3) 頻道12(CH.16): 156.6MHz,供港勤船及引水人員之用。

4. 通信距離: 10浬。

(二) 海岸電台: 24小時值守。

1. 位置:北緯24°17'N,東經120° 31'E。

2. 呼號: XSW2 。

3. 頻率:

(1) 呼叫頻率: 500KHz 。

(2) 工作頻率: 476KHz 。

(3) 工作頻率: 8511KHz 。

(4) 呼叫頻率: 8363.6KHz, 8371.6KHz, 8373.2KHz, 8364.4KHz, 8372.4KHz, 8374.0KHz 。

配合以上之導航設施,台中港船舶進出港尙須注意下列事項[6]:

(一) 分道航行制:爲增進船隻進出港安全,台中港港口規劃分道航行制,船隻務必航行於指定之航行巷道,以確保航行安全。

分隔區:(SEPARATION ZONE)爲下列三點之連線,參見圖2-1-3 。

A點:LAT.24-17'-44"N LONG.120-28'-29"E

B點:LAT.24-17'-53"N LONG.120-27'-40"E

C點:LAT.24-17'-18"N LONG.120-27'-40"E

出港航路:出港船航行於分隔區之北邊航道,航向294(T)出港。

進港航路:進港船航行於分隔區之南邊航道,航向060(T)進港。

(二) 進港船於接到領港進港通知後,應即起錨航行至南外防波堤燈塔西南西方方位080(T)距離2.5至3浬處之進港船備便區,守聽VHF CH 14及16儘可能漂流,不拋錨隨時備便,等候進港。候領港准許駛進港口之通知。

(三) 領港艇出發駛往外海時,領港站即刻通知該進港船駛往南外波堤燈塔西南西邊方位070(T)距離二浬處,採航向060(T)船首對準南北外防波堤燈塔之中間以全速(FULL AHEAD)航行,此時領港艇已在防波堤口等候備便。

(四) 東北季風期間每年十月至次年三月當進港船駛抵南外防波堤燈塔方位080(T)距離一浬處,以船首向065(T)對準南北兩外防波堤燈塔之中間,半速(HALF AHEAD)航行,保持船速六節以上,爲抵抗風壓必要時也可加速至十節左右,無論在何種情況不可停車,並保持良好之舵效,備便領港梯於右舷下風處,領港艇即駛向進港船,在距離南外防波堤燈塔0.5浬處登輪。航向065(T)至115(T)其間轉向五十度,可以分三段轉向,當可順利進入航道中央。

(五) 西南季風期間每年四月至九月,風向SW至SSW,風速15至30節,北外防波堤附近水流,流向NNE,流速0.5至2.0節,進出港船隻應特別注意,不可太接近北外防波堤頭。進港船應將領港梯備便於左舷下風處,領港登輪地點在南外防波燈塔西南西邊(方位080)距離1至1.5浬處。

（六）出港船應於出港前由船長衡量當時天氣、風力狀況、該船之船況、主機性能、壓載等情況，是否可以安全出港，經船長（或船東）決定開船後，才由代理行安排領港、拖船及纜工，以減少不必要的費用。

（七）出港船應將全部壓艙水打滿，以減少受風面，巴拿馬極限型船應做 HEAVY BALLAST，將第四艙壓水，使船首吃水約6M，船尾吃水約8M，主機應充分暖機，以便出港時能在短時間內加車至全速。備便引水梯於左舷（冬夏兩季皆同）。

（八）出港船離開碼頭後，領港將船帶至主航道內防波堤附近，經船長充分瞭解當時之風向、水流及進出港船隻動態，使船長有把握快車出港後，領港即快速離船，以便船長於領港艇駛離大船後能盡速加快車出港，航向294(T)，並加減適當的風壓差，以確保船隻的安全。

根據部分領港及船長實際進出港之經驗表示，台中港之導航設施於海氣象狀況良好下，除部分背景光太強或燈標高度太低外，整體而言，可堪稱完備，但在海氣象狀況惡劣時，部份導航設施高度及亮度將稍嫌不足，設置之位置及數量亦有待加強。（附註：1浬＝1.852公里；1節＝0.515m/sec）。

表3-6-1　地面風力及蒲福風級表(高出空曠地面十公尺之標準高度)

蒲福風級	名稱	高出地面十公尺之相當平均風速				風級標準說明			海上約略波高*(公尺)	海上約略波高*(英尺)
		每時海浬	每秒公尺	每時公里	每時英里	陸地情形	海面情形	海岸情形		
0	無風	< 1	0-0.2	< 1	< 1	靜，煙直上	海面如鏡	風靜	-	-
1	軟風	1-3	0.3-1.5	1-5	1-3	炊煙能表示風向，風標不動	海面生鱗狀波紋、波峰無泡沫。	漁舟正可操舵	0.1 (0.1)	1/4 (1/2)
2	輕風	4-6	1.6-3.3	6-11	4-7	風拂面樹葉有聲，普遍風標轉動。	微波，波峰光滑而不破裂。	漁舟張帆時每小時可行1-2英里	0.2 (0.3)	1/2 (1)
3	微風	7-10	3.4-5.4	12-19	8-12	樹葉及小枝動搖，旌旗招展。	小波，波峰開始破裂泡沫如珠，波峰偶泛白沫	漁舟漸覺傾側進行速度約爲每小時3-4英里	0.6 (1)	2 (3)
4	和風	11-16	5.5-7.9	20-28	13-18	地面揚塵，紙片飛舞，小樹幹搖動	小波漸高，波峰白沫漸多。	漁舟滿帆時傾於一方捕魚好風	1 (1.5)	3 1/2 (5)
5	清風	17-21	8.0-10.7	29-38	19-24	有葉之小樹搖擺，內陸水面有小波	中浪漸高，波峰泛白沫，偶起浪花	漁舟縮帆	2.0 (2.5)	6 (8 1/2)
6	強風	22-27	10.8-13.8	39-49	25-31	大樹枝搖動，電線呼呼有聲，舉傘困難。	大浪形成，泛白沫波峰漸廣，漸起浪花。	漁舟張半帆捕魚須注意風險	3 (4)	9 1/2 (13)
7	疾風	28-33	13.9-17.1	50-61	32-38	全樹搖動，迎風步行有阻力。	海面湧突，白浪泡沫沿風成條，浪濤漸起。	漁舟停息港中，在海者下錨。	4 (5.5)	13 1/2 (19)
8	大風	34-40	17.2-20.7	62-74	39-46	小枝吹折，行人不易前行。	巨浪漸升，波峰破裂，浪花明顯成條沿風吹起	近港之漁舟，皆停留不出	5.5 (7.5)	18 (25)
9	烈風	41-47	20.8-24.4	75-88	47-55	煙囪屋瓦等將被吹毀。	猛浪驚濤，海面漸呈洶湧，浪花白沫增濃，能見度減低。	-	7 (10)	23 (32)
10	狂風	48-55	24.5-28.4	89-102	55-63	陸上不常見，見則拔樹倒屋或有其他損毀。	猛浪翻騰，波峰高聳，浪花白沫堆積，海面一片白浪，能見度更低。	-	9 (12.5)	29 (41)

*括弧內為約略最大波高

表3-6-2　台中港務局舊有領港船性能一覽表

（資料來源：中華顧問工程司，1988年）

76.1.10

船　名	總噸位 (T)	登記尺寸(M) 長	寬	深	平均吃水 (M)	主機馬力	速率 (節)	發電機容量	建造完成日期	備　考
中 407 (小拖船)	27.67	13.70	4.0	1.67	0.936	2部×230HP	11.9	無	67.10	
中 408	41.80	16.20	4.91	2.00	1.377	2部×400HP	13.3	5KVA×1部	60.8.16	1.適合港外作業 2.能在八級風力下作業。
中 312	58.75	20.95	5.10	2.88	1.356	後主機 2部×445HP 前主機 1部×228HP	14.5	25KVA×1部	75.5.6	1.適合港外作業 2.能在九級風力下作業。

註：每日維持兩艘24小時服務航商及港區水域突發事件之處理。

表3-6-3　台中港務局現有領港船性能一覽表

85.10.1

船　名	總噸位 (T)	登記尺寸(M) 長	寬	深	平均吃水 (M)	主機馬力	速率 (節)	發電機容量	建造完成日期	備　考
互 明	29.57	16.36	4.2	2.15	1.103	2部×500HP	15.18	14KVA×1部	83.1.4	1.適合港外作業 2.能在八級風力下作業。
互 華	29.57	16.36	4.2	2.15	1.103	2部×500HP	15.18	14KVA×1部	83.1.4	1.適合港外作業 2.能在八級風力下作業。

註：每日維持兩艘24小時服務航商。

表3-6-4　台中港民國83年領港船使用情形統計表

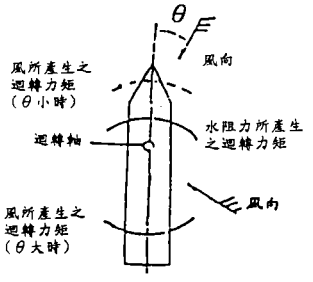
（民國83年2月～83年12月）

船名	馬力(HP)	全年作業總時數			全年維修天數		全年實際工作天數(2)	平均每天工作時數(1)/(2)	使用總時數	備考
		領港作業時數	非領港作業時數	小計(1)	歲修	零修			全年標準4380小時	
互明	500	2416	0	2416	7	12	346	6.98	55.16%	民國83年前省交通處訂定之全年標準作業小時爲2200小時
互華	500	2575	0	2575	6	5	354	7.27	58.79%	
平均值		2496	0	2496	6.5	8.5	350	7.13	56.98%	

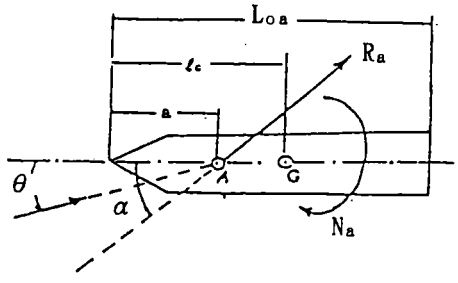
表3-7-1　台中港現有營運拖船性能一覽表

85.10.3

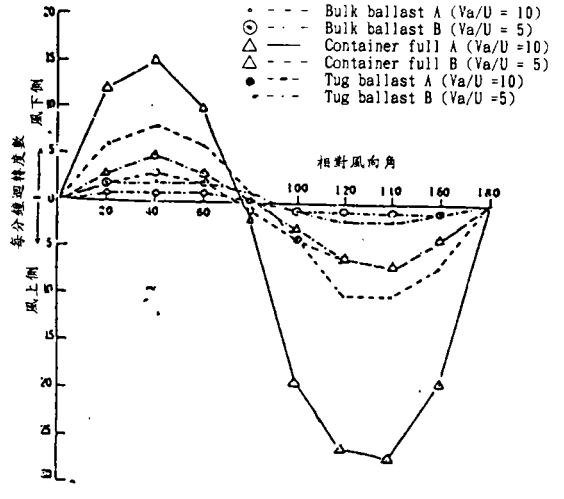
船名	型　式	總噸位 (T)	登記尺寸(M) 長	寬	深	平均吃水 (M)	主機馬力	速率 (節)	拖力	發電機容量	建造完成日　期	備　考
中409	Z-PELLER TYPE	201.59	26.20	8.02	2.65	2.60	2部×800BHP	12	20	60KVA×2部	69.1.13	
中410	Z-PELLER TYPE	202.14	26.00	8.02	2.61	2.57	2部×800BHP	12	20.4	60KVA×2部	70.5.15	
中404	Z-PELLER TYPE	233.29	29.11	8.82	2.57	2.20	2部×1200PS	12	34	80KVA×2部 15KVA×1部	62.11	適合外海作業
中405	Z-PELLER TYPE	207.56	28.20	8.82	2.82	2.70	2部×1200PS	12	36	80KVA×2部 3KVA×1部	67.1.12	適合外海作業
中406	Z-PELLER TYPE	221.70	28.01	8.82	2.58	2.54	2部×1200PS	12	33	60KVA×2部	62.3	適合外海作業
中411	TRACTOR TYPE	459.65	32.59	11.0	4.20	5.30	2部×1700PS	12.02	42.5	125KVA×2部	73.9.21	適合外海作業
中412	Z-PELLER TYPE	434.92	33.01	11.00	4.20	5.21	2部×1700PS	12.41	40.5	160KVA×2部 15KVA×1部	74.12.31	適合外海作業
中413	S.R.P.	272.0	25.66	9.40	4.40	3.40	2部×1200PS	12	35.0	80KVA×2部	82.9	適合外海作業
中414	Z-PELLER TYPE	約400	30.5	9.60	4.40	3.80	2部×1700PS	12	40.0	150KVA×2部	85.10	適合外海作業
中415	Z-PELLER TYPE	約400	30.5	9.60	4.40	3.80	2部×1200PS	12	35.0	100KVA×2部	85.10	適合外海作業



(a)風向角度與風壓力矩



(b)風壓力與風壓力矩



(c)相對風向角與船舶迴轉的關係

圖3-1-1　風對船舶運動之影響

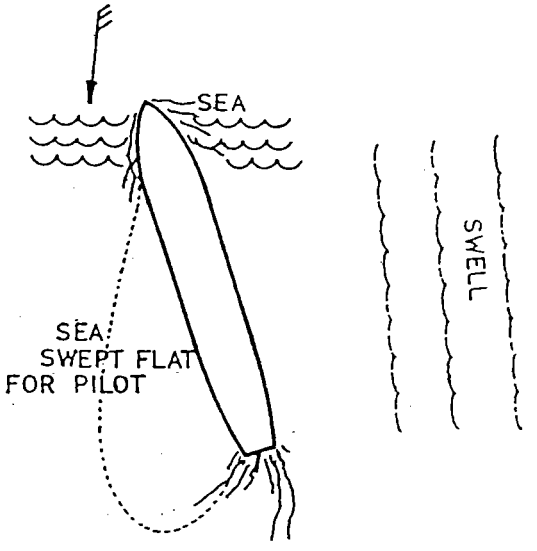
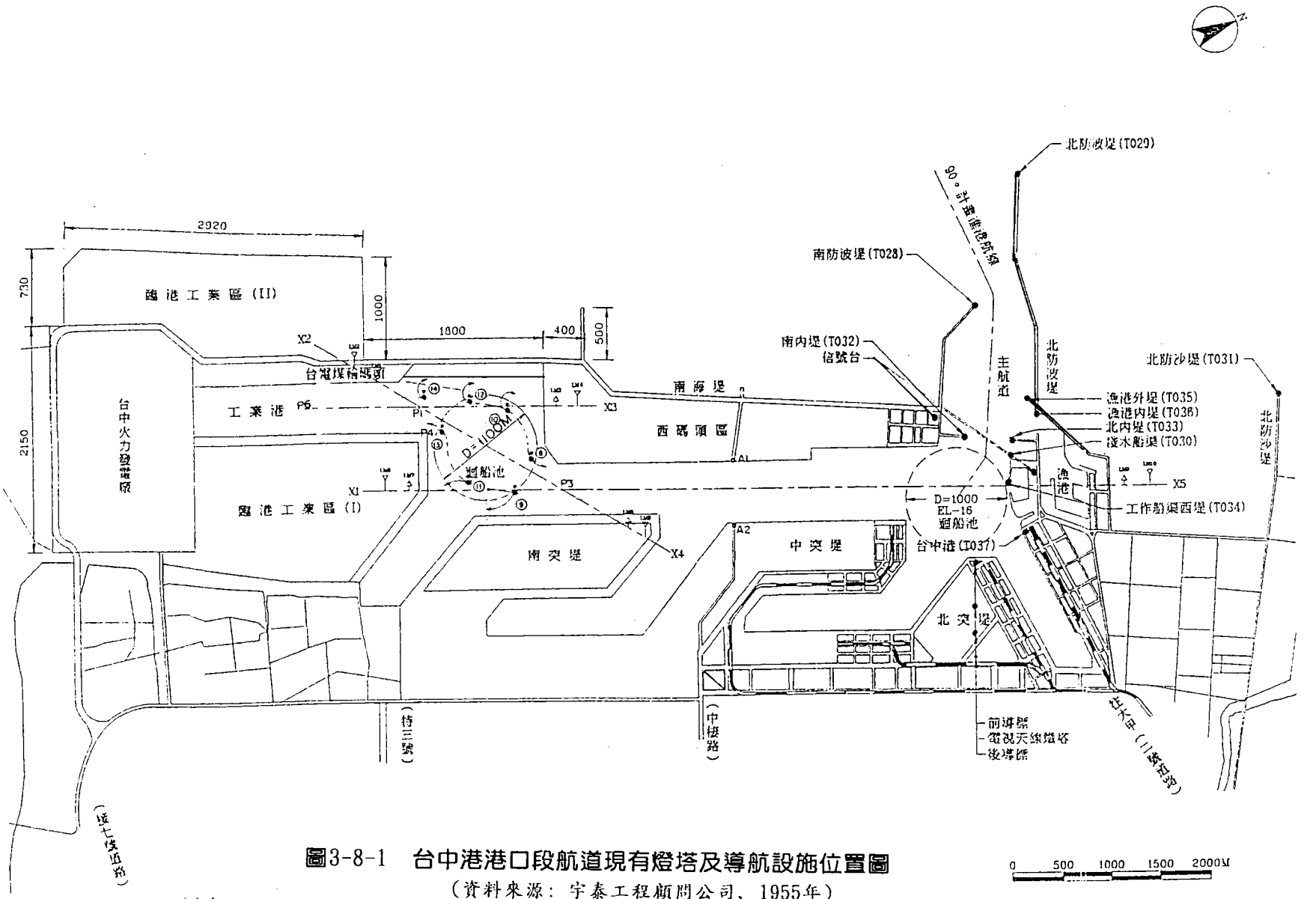


圖3-6-1　船舶形成之登輪水域(Makeing a Lee)示意圖
（資料來源：中華工程顧問公司，1988年）



tch.dwg

圖3-8-1 台中港港口段航道現有燈塔及導航設施位置圖

(資料來源：宇泰工程顧問公司，1955年)

第四章 台中港港口波浪與海流數值模擬

4-1 概 述

一般而言，波浪與海流爲從事海岸及港灣工程所必需首先面對與克服之自然海象要素。台中港爲適應不同階段擴建發展之需要，建港以來曾進行多次之海象調查，唯實際海象調查工作人力及物力之耗費頗爲龐大，欲全面性廣泛地執行調查工作更是曠日費時，因此，以往的調查成果，僅足明瞭並推估局部區域已成事實之海象特性，對於配合港灣設施改變前後所需之全面性即時及預期之海象變化尚無法滿足。近年來，因電腦科技之發展，結合理論與實際量測調查資料進行數值模擬，以計算方式取得港灣設施改變前後之即時及預期之全面性海象資料已爲目前之趨勢。

台中港港口段爲因應船舶大型化之發展，目前已完成北外防波堤850公尺延伸之第二期擴建工程。爲確保未來大型船舶進泊之安全性，於本研究計畫中，台中港務局除指定研議減風設施設置之可行性外，並指定針對第三代(3000TEU級)以上貨櫃輪以現況港口配置進行操船模擬，同時研議港口段及航道上必要之配合改善措施。由於操船模擬及未來之設施改善方案皆需有全面性即時及預測之海象資料爲依據，故在研究計畫完整性之考量下，進行台中港港口段波浪與海流之數值模擬。

4-2 台中港海象調查回顧

4-2-1 波浪調查回顧

台中港波浪觀測起始於民國60年7月[1]，採超音波波高計，儀器設置於北防波堤外海低潮位下19公尺處，每隔兩小時記錄20分鐘資料。該次觀測作業一直持續至民國68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。

自民國70年起，本所爲配合「台中港口流況調查研究」[20]基本研究計畫之施行，另以浮球式波高計(waverider)及NBA壓力式波高計進行短期波浪觀測，每隔1～2小時記錄約5分鐘資料。最近針對台中港進行之波浪調查爲民國84年6月之「台灣海域海氣象特性之研究」[8]。其間，民國77年4月中華顧問工程司[1]亦曾蒐集台中港務局觀測所得資料進行統計分析，相關之波浪調查結果參見本研究報告第二章2-2-2海象章節內2. 波浪項之說明。

4-2-2 海流調查回顧

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、船舶進出口港口之操航等關係密切,爲一項極重要之海岸工程研究課題。海流在區域上可以碎波帶劃分爲內、外兩區。碎波帶以外海流主要成份爲恒流(黑潮或親潮)、潮流及風驅流;碎波帶內主要爲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。

依中華顧問工程司民國77年於「台中港港口擴建計畫評估研究」[1]之報告指出,台中港流況較有系統之研究,始於民國70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,並委請本所辦理港口流況調查[20]。該調查於冬夏季共進行7點次連續觀測。在東北季風鋒面過境時,曾測得港口外流速高達2.0m/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。隨後本所於72年將台中港口流況調查列入基本研究課題,另進行10點次之觀測及水工模型試驗。73年台電進行台中火力電廠計畫,亦曾請台灣大學海洋研究所於當時港口南側觀測4點次之海流。民國75年起台中港務局爲辦理「台中港港口擴建計畫評估研究」再委請本所繼續進行更綿密之觀測作業[21]。歷年調查時間、成果表及觀測之地點詳如圖4-2-1及圖2-2-10所示。

爲便於對台中港往昔海域流況有一整體之概念,並爲方便數值模擬成果之驗證及說明,茲引用中華顧問工程司民國77年對台中港區北外防波堤延伸850公尺前之海流分析結果[1]如下:

(一)海流調查資料分析

1.冬季流況特性

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向爲主,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,茲將圖4-2-1中部分主要測點於冬季北外防波堤延伸850公尺前之歷次觀測結果簡述如下:

B站:

圖4-2-2至圖4-2-4實線圖形表示東北季風期北外防波堤延伸850公尺前B站典型之流況變化。本站在東北季風盛行時,流速明顯隨風速變化而起伏。流向幾乎一致向SW流(220°～240°),於民國70年11月7日20時測得最大流速爲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爲NE(40°～60°),其餘時間主要爲WNW向(270°～290°)。流速約介於10～60cm/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。

D站:

圖4-2-2虛線圖形表示東北季風期D站流況變化。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,流向爲WSW (240°～260°)。民國70年11月27日14時最大流速爲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。

C站:

圖4-2-3虛線圖形表示東北季風期C站流況變化。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。主要流向爲WSW(240°～260°),較B點略爲偏西。民國70年11月27日8時測得最大流速爲211.95cm/sec(約4節)。當東北季風減弱,漲潮達高潮位時流向爲350°～30°,略較B點偏北。流速約介於10～60cm/sec。

BU及BD站:

爲瞭解台中港北外防波堤延伸850公尺前港口冬季強勁海流垂直流速分佈,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測站爲小。但二測站基本特性與前述B測站相近。於民國75年初觀測期間BU測站測得最大流速爲101.8cm/s,流向仍爲西南向。此時刻BD測站流速爲83.5cm/s。二測站流速變化如圖4-2-5(a)所示。但於民國75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測站爲高,如圖4-2-5(b)所示。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,其極端值(Peak)約發生於最低潮位前後;而BU測站則無此現象。此點可能爲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爲快之現象。

2. 夏季流況特性

本海域夏季風力微弱,流況主要由恒流(黑潮)及潮流所控制。圖4-2-4(a)可明顯看出B、C測站型夏季流況變化圖。於B點流向一律朝向NE或ENE向(40°～

60°)。C點流向大部份時刻向N或NNE。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。圖2-2-24所示即爲台中港夏季實測海域流況。

(二)各海流成份強度分析

1.恒流

(1) 夏季

台中港北外防波堤延伸850公尺前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),如圖4-2-6所示,可知流速與風力並無明顯之關係,恒流流速約在10cm/sec～45cm/sec之間,流向約平行於海岸向東北流動。

(2) 冬季

台中港冬季恒流主要爲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,則如圖4-2-7所示。冬季恒流沿海岸向南流動,流速極強,通常隨風力強弱而有變化。圖4-2-7中於第4至第8日東北季風增強時,風力共行逕約41.7公里,而海流行逕約1.64公里,依此可計算得日平均風驅流速約爲風速之3.9%。依同樣方法計算第10至第11日平均風驅流速爲風速之4.2%左右。風驅流流向與風向之夾角約10度左右。

風驅流造成之原因係當風吹掠海面,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,平均流速約爲風速之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:

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

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(呎)$^{1/3}$,則

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

假設d=20公尺≒66呎,則V=0.036U

表層及底層流速分佈大約爲

表層流= 3/2 V = 0.054U

底部流= 2/3 V = 0.024U

風驅流對近岸區之影響,如圖4-2-2, D測點流況變化與風力並無十分明顯之關係,於漲潮時D點流速反極遽減少。故可研判外海風驅流及潮流強度於近岸區應依水深變化而遞減。

2. 潮流

潮流係因天體引力引起海面升降產生之海水流動。漲潮時潮波由台灣海峽南北端向台中港附近集中,所以台中港附近潮差高而潮流大。退潮時潮流一般循相反方向流動。

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爲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。而台中外海潮流流速如圖4-2-7(a)台電ATP點於夏季所測,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。

3. 近岸流

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,水面起伏之波浪變爲水體之移動性運動,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沿海岸方向流動。在碎波帶內與海岸

平行方向流動之水流稱爲沿岸流(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爲離岸流(Rip Current)。

由於沿岸流及離岸流均受波浪影響而發生,再加上地形及人工構造物之影響,使得近岸水域之流況極爲複雜。

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[18]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$T_z = 7sec$,入射角$\alpha_b = 30^o$,海底坡度m=1/200之條件計算,則沿岸流流速約44cm/sec。

海岸離岸流之流速分佈,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,僅本所於民國74年12月27日～76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,據資料顯示,於鋒面過境及退潮時流速可達80～180cm/sec之間。另D點位於北防波堤北側,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外防波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,於堤跟處形成渦流(Vortex),能量逐漸消散,故漲潮時D點及E點所測流速迅速減弱。

(三)台中港海流簡易預報模式

經上述資料之分析可明瞭影響台中港北外防波堤延伸850公尺前海流流況之主要因素包括有黑潮、風驅流、潮流、沿岸流、海岸地形及海上結構物等之影響

,其流況分佈相較於台灣其他各港口爲複雜。爲使引水人員在引領船隻進港前,對海域流況能事先有所瞭解。中華顧問工程司特依過去實測資料,建立一簡易之海流預報模式[1],依該模式可由當時發生之風力、潮汐、波浪等因素,迅速估算北外防波堤延伸850公尺前,港口外海域可能發生之流速流向。

1. 夏季簡易海流預報模式

夏季海流主要爲恒流與潮流,風驅流則爲次要。該預測模式謹依民國71年4月28日～5月3日於B站實測資料,以最小平方法求流速與潮位的二次曲線關係,其迴歸式爲

$$V(t) = 18 + 1.05 \times TL(t+4) + 1.12 \times TL^2(t+4)$$

V(t)：B站t時刻流速(cm/sec)

TL(t+4)：t+4時刻之潮高(m)

上述流向假設約與恒流流向相同,主要爲NE向。

2. 冬季簡易海流預報模式

冬季海流主要爲風驅流,潮流成份影響較小。不同測點流況因受海底地形、地物影響而有甚大差別,茲將各測點預報模式分述於後:

(1) B測站

本站冬季海流特性主要受風驅流之影響,流速與風速間呈極密切之關係。以民國70年11月21日～12月10日實測資料進行迴歸分析,得流速與風速之關係爲

$$VB(t) = 27.8 + 0.3 \times U^2(t-2)$$

式中

VB(t): B站t時刻之流速(cm/sec)

U(t-2):港研所風力測t-2時刻之風速(m/sec)

依上述預測結果,二變數間迴歸係數R^2約0.78,標準偏差約20.3cm/sec。由於B站冬季流向依實測結果,均穩定向SW流動,其主要流向偏差均不逾10^o,故不另作預測。

(2) C測站

依實測結果C測站於外海當風速與波浪較小時其流速約與B站相同,而風速增強時流速受碎波帶移動影響甚大,茲推導C站流速變化之關係如下：

風速$U < 10m/sec$　　$Vc(t) = 27.8 + 0.3 \times U^2(t-2)$

風速$U > 10m/sec$　　$Vc(t) = 24.3 + 3.8 \times U^2(t-2) - 0.9 \times D(t)$

$$D(t) = (TL(t) - d_b(t)) \times m/1000$$

$$d_b = 1.28 \times \frac{1}{3.3 \times (H_o/1.56T^2)^{1/3}}$$

式中

V(t)：B站t時刻流速cm/sec

U(t-2)：港研所風力測站t-2時刻風速(m/sec)

D(t)：C點與碎波帶距離變動量(km)

TL(t)：t時刻潮高(m)

$d_b(t)$：t時刻碎波水深(m)

m：海底坡度(約1/200)

H_o：深海波高(m)

T：波浪週期(sec)

依實測資料分析，當風速大於10m/sec時C點流速與風速U_w之相係數約0.27，與C點至碎波帶距離變動量D關係爲-0.76，二者複迴歸係數R^2約0.83。標準偏差約16.5cm/sec。

(四)北外防波堤延伸850公尺前港口流況之綜合評估

台中港北外防波堤延伸850公尺前港口強勁橫流主要爲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。

港口強勁橫流雖影響船隻進港安全，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。如圖2-1-1中，台中港外廓防波堤完成至民國75年間，此股橫流於港口處曾浚深一廣達350m × 800m，最深達32公尺之坑洞。依坑洞之位置及其等深線之分佈，研判應與港口外防波堤堤頭深度方向之流速及流向之分佈有關。

台中海域流況主要成份爲潮流、恒流、風驅流及波浪造成之近岸流，各成份海流強度說明如下：

1. 潮流

流速約0.5m/sec，流向漲潮時爲東北向，退潮時西南向。

2. 恒流

本海域恒流主要爲黑潮之支流，全年向北流動，流速約10～45cm/sec。

3. 風驅流

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爲$V_c = 0.03 \times U_w$，若風速達20m/sec，則風驅流之流速約爲60cm/sec。

4. 近岸流

波浪作用產生之近岸流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。

台中港北外防波堤延伸850公尺後，港口外堤頭附近之海流調查分析結果參見本研究報告第二章2-2-2海象章節內3.流況項之說明。

4-3 台中港海流數值模擬計算回顧

台中港在北外防波堤延伸850公尺前曾先後於民國71年及77年委託本所配合海象調查[20][21]進行港口海流數值模擬計算，民國77年中華顧問工程司爲進行「台中港港口擴建計畫評估研究」[1]亦曾委託荷蘭PRC工程顧問公司辦理港口相關之海流數值模擬計算，同時並進行Fast Time之操船模擬。當時PRC公司係採用REFRAC及CURMO二程式分別計算波浪及風與潮造成之海流。

PRC公司之REFRAC程式係以折射理論計算波浪由外海入射至近岸之折射係數，在考慮波浪淺化、碎波及底床摩擦能量消散等作用下，估算近岸區波浪之波向及波高值，進而計算波浪引起之輻射剪應力，作爲CURMO程式波浪影響因子之輸入資料。

CURMO程式則係以動量平衡及流體連續性觀念，藉差分法計算水面因外力作用或不同水面高程差造成之海水流動。外力因素除潮位因素外已導入波浪造成之輻射應力及風之剪應力，故波浪及風所產生海流之效應加上潮汐因水面高程差異所產生之潮流，可同時於計算中顯現。根據中華顧問工程司之研究報告[1]知道，當時之計算條件於參考實際海氣象調查資料分析結果後，曾研選三種風速及波浪條件進行數值模擬，其研選之條件摘列如下：

條件A

風：$U_w : 15m/sec, \quad Dir = NNE$

浪：$H_s = 2.5m, \quad T_z = 7.0sec(T_p = 9.0sec), \quad Dir = N,$

條件B

風：$U_w : 20m/sec, \quad Dir = NNE$

浪：$H_s = 3.5m$, $T_z = 8.0sec(T_p = 10.4sec)$, $Dir = N$,

條件C

風：$U_w : 25m/sec$, $Dir = NNE$

浪：$H_s = 4.0m$, $T_z = 8.5sec(T_p = 11.0sec)$, $Dir = N$,

另爲配合不同計算目的(波浪及海流)及精度需要,共以四種網格分別處理計算海域。各網格涵蓋範圍如圖4-3-1所示。茲將各網格之範圍及分割方式摘述如下：

1. A網格(Refraction Model)

   主要供REFRAC程式計算波浪折射所需,因主要波浪爲N向約略平行海岸,計算範圍涵蓋台中港區及大安溪以北海岸,面積$9 \times 25Km^2$,網格間格250m。

2. B網格(Coarse Grid Model)

   本網路主要計算恒流及潮流之流況變化計算範圍$20 \times 30Km^2$,網格間距1000m。

3. C網格(Fine Grid Model)

   因B網格間距較寬,對於近岸較複雜地形之流況較難模擬,故另進行較精確之C網格計算,其範圍$7 \times 10Km^2$,間距250m。C網格四週邊界條件,採B網格所計算之水位及流速作輸入資料,再加上風及浪產生之剪應力。所得成果並與實測資料驗證,憑以修正有關輸入資料及係數,以建立一較正確之模式。

4. D網格(Detail Model)

   D網格主要供各擴建方案流況計算所採用。但其間距較小,精確度較高。計算範圍$5.5 \times 4Km^2$,網格間距125m。其邊界條件處理及風、浪外力之輸入同C網格。

台中港附近海域之波浪,當時經PRC公司以REFRAC程式模擬計算,結果如圖4-3-2所示。海流之計算,引用條件B並配合民國70年12月1日22時至12月2日14時之潮位以CURMO程式計算,所得部分之計算結果如圖4-3-3所示。

4-4 台中港現況波浪與海流數值模擬

根據以往台中港海象調查之分析及數值模擬結果可知,台中港海流之構成成分含有風、浪、潮及其他恒流等複雜因子,且不同之港口水域點其隨季節之變化特性亦不盡相似。爲能充分評估各不同原因造成之海流大小及波浪之影響,本所特別引用丹麥水力研究所研發之MIKE21水動力模擬軟體,以計算台中港區北外防波堤延伸850公尺後之波浪及海流特性。詳細計算流程如圖4-4-1所示。

4-5 近岸波浪數值模擬

近岸波浪數值模擬之目的主要在建立近岸波浪場資料，俾提供港口外廓堤防規劃及相關改善方案之參考，除此之外，其結果尙可提供近岸地區計算海流所須考慮之波浪作用力，同時並可提供港口外廓堤防遮蔽及港口內港池靜穩度計算之波浪依據。

4-5-1 近岸波浪模式

本研究使用MIKE21-NSW近岸波浪計算模式，該模式主要爲模擬短週期波浪在近岸海域之傳播過程，其中可考慮在季風作用下，受海岸地形變化所造成的波浪折射、淺化等效應以及因底床摩擦與波浪碎波所造成的能量減衰，此外，波流交互作用之影響亦可加以模擬。

本模式之特性爲一定常性(Stationary)及具方向性的多變數波浪模式，模式中波動平衡方程式的變數包含零階及一階頻譜動差函數m_o及m_1，模式中輸入示性波波高Hs，平均週期Tm，平均波向θ_m與方向分佈係數(Directional Spreading Factor)n以表示入射波浪頻譜分佈。基本方程式根據波浪頻譜之能譜密度守恒推導而得，以零階(m_o)及一階(m_1)的頻譜動差函數爲變數，將守恒方程式(Holthuijsen et.al., 1989)表示如下：

$$\frac{\partial(c_{gx}m_o)}{\partial x}+\frac{\partial(c_{gy}m_o)}{\partial y}+\frac{\partial(c_\theta m_o)}{\partial \theta}=T_o \qquad (4-1)$$

$$\frac{\partial(c_g m_1)}{\partial x}+\frac{(c_{gy}m_1)}{\partial y}+\frac{\partial(c_\theta m_1)}{\partial \theta}=T_1 \qquad (4-2)$$

式中：

x及y：卡式直角座標

θ：波浪進行方向

$m_o(x,y,\theta)$：零階頻譜動差函數

$m_1(x,y,\theta)$：一階頻譜動差函數

C_{gx}及C_{gy}：群波波速在x,y方向之分量

C_θ：波向線與群波波向線角度變化率

T_o及T_1：能量與外力項

其中第n階頻譜動函數之定義如下：

$$m_n=\int w^n A(w,\theta)dw \qquad (4-3)$$

式中w爲角頻率，A(w,θ)代表各方向頻譜之頻譜密度，群波波速可由線性波理論得之，方程式左邊各項考慮波浪之繞射及淺化作用，而方程式右邊T_o和T_1則包括底床摩擦與波浪碎波之能量減衰以及風吹供給波浪成長之能量。

有關風吹供給波浪成長之關係，其公式乃採用美國陸軍工程兵團海岸保護手冊(SPM)深水海域之有限風域波浪成長的經驗公式。底床摩擦採用速度二次方來表示底床摩擦力，其中摩擦係數C_{fw}根據Jonssen(1966)及Swart(1974)之經驗公式可以尼古拉(Nikuradse Roughness)係數K_N表示。波浪碎波時能量消耗則採用Battjes & Jannsen(1988)之表示式。有關模式輸出之波浪參數包括示性波高Hs，平均週期Tm，平均波向θ_m等，同時尙可計算近岸之輻射應力(Sxx, Syy, Sxy)。

4-5-2 模式建立與計算限制

依據MIKE21-NSW之基本控制方程式可知，計算波浪必須滿足零階與一階動差頻譜之守恒，同時在模式計算時，利用歐拉(Eulerian)有限差分之方法，配合格網化地形，以求解各格網點的波浪頻譜變數(波高Hs，週期Tm，波向角θ_m)等。由於數值解析過程係以x軸(波浪行進方向)爲差分行進方向(Once-Through March Procedure)，故模式建立時，必須考慮以西邊邊界(x=0)爲波浪入射方向，同時爲能獲得較精確之結果，邊界上入射波向之角度不宜太大(一般均在60^o以內)，以避免輸入非對稱性(Unsymmetric)之波浪頻譜條件；因此本研究波浪模式之建立，除必須依據不同波浪氣候條件(經常性與極端性)，建立不同波向入射之波浪模擬領域外，計算中尙必須考慮下列因素：

(1) 模式計算範圍必須涵蓋研究區域(Interest Area)，且同時應考慮能提供水動力學模式計算所需之輻射應力分析與沿岸流計算之邊界條件。

(2) 由於MIKE21-NSW可提供計算沿岸流流場之動力，而沿岸流流場主要係由於波浪碎波後所產生之水流(Longuet-Higgins, 1964)，因此模式格網之間距必須足以解析此現象(一般而言，破碎帶內至岸線至少必須有5～6個以上之格點)。

(3) 網格間距及波向之分割必須滿足下列計算之穩定條件：

$$\frac{\triangle x}{\triangle \theta} \leq \frac{1}{2}\frac{d}{\nabla d} \qquad (4-4)$$

$$\frac{\triangle y}{\triangle x} \geq 2\tan\theta \quad (Holthuijsen\ \ et\ \ al, 1989) \qquad (4-5)$$

$$\frac{C_{gy}\triangle x}{C_{gx}\triangle y} + \frac{C_\theta \triangle x}{C_{gx}\triangle \theta} \leq 1 \quad (Abbott, 1979) \qquad (4-6)$$

其中$\triangle x$、$\triangle y$、$\triangle\theta$分別爲格網間距與波向角間隔，C_{gy}、C_{gx}、C_θ同4-5-1節所定義，d、∇d爲水深與底床坡度。

(4) 模式計算時間(CPU)與檔案存取空間

在解析度許可之情況下，電腦計算時間之久長與磁碟容量必須兼顧。

4-5-3 參數與邊界條件設定

MIKE21-NSW模式計算結果之可靠性與準確性，除受模式解析方法與控制方程式之假設所限制外，模式建立時，邊界條件之設定與模式相關經驗參數的正確性亦有著密切的關係。有關本模式之相關參數與邊界條件之設立如下：

(1) 底床摩擦(Bottom Dissipation)

本模式可考慮淺水區中底床摩擦對波能消散之影響，依據底床摩擦力爲速度平方之關係，可將其消散波能表示如下式：

$$\frac{dE}{dt}=\frac{-1}{8\pi^{1/2}}\frac{C_{fw}}{g}[\frac{wH_{rms}}{\sinh(kd)}]^3 \qquad (4-7)$$

式中$E=H_{rms}^2/8$

w：角頻率

k：波數

d：水深

H：波高

C_{fw}：底床摩擦係數

其中底床摩擦係數C_{fw}可利用Jonssen (1966)及Swart (1974)之經驗公式，以尼古拉糙率係數(Nikuradse Roughness Parameter)K_N表示如下：：

$$a_b/K_N<2\ ;\quad C_{fw}=0.24$$

$$a_b/K_N\geq 2\ ;\quad C_{fw}=\exp(-5.977+5.213(a_b/K_N)^{-0.194}) \qquad (4-8)$$

式中a_b爲底床水粒子之運動振幅。

本研究中以$K_N=0.002m$爲模式區域內之糙率係數，不考慮底床摩擦損耗對波浪週期之影響。

(2) 碎波

本模式中考慮波浪碎波之能量損失主要乃根據Battjes & Janssen(1978)之經驗公式：

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\alpha}{8\pi} Q_b w H_m^2$$

$$\frac{1-Q_b}{1n(Q_b)} = -[\frac{H_{rms}}{H_m}]^2 \qquad (4-9)$$

式中E：波能

w：角頻率

H_{rms}：波高均方根值

Q_b：碎波量之大小

H_m：最大容許波高

其中最大容許波高

$$H_m = r_1 k^{-1} \tanh(r_2 kd/r_1) \qquad (4-10)$$

上式中k爲波數，d爲水深，係數α, r_1, r_2在模式中分別爲1.0、1.0、0.8，碎波對頻譜週期之影響忽略不計。

(3) 吹風成長

本模式依據台中港北防波堤堤跟處風測站之風速記錄，風速以平均風速15m/sec，風向以NE輸入。

(4) 波浪分散

本研究中控制方程係採用有限差分法求解，其中考慮波浪頻譜能量分佈將受水深淺化、折射以及底床摩擦、碎波等之影響，因而在計算時將波浪頻譜能量離散化(Discretization)；即根據波浪頻譜之能量分佈，在格網內藉數個波浪擴散方向以描述波浪進行時能量擴散之現象，其表示方式如下：

$$E(\theta_i) = E_t D(\theta_i) \qquad (4-11)$$

式中$E_t = H_s^2/16$表示波浪各方向之總能量，方向分散函數$D(\theta_i)$可定義如下：

$$D(\theta_i) = \beta \cos^n(\theta_m - \theta_i) \; ; \quad |\theta_m - \theta_i| \le \theta_d$$
$$D(\theta_i) = 0 \; ; \quad |\theta_m - \theta_i| > \theta_d \qquad (4-12)$$

式中β爲頻譜正規化參數，n爲方向分散係數，θ_m平均波向，θ_d爲最大波向角。

在本模式計算中，波向以平均波向角爲中心，並用波向角間距$\triangle\theta = 10°$，切割爲13個波浪分散方向來加以計算波浪能量擴散之現象，另外方向分散係數(Directional Spreading Factor)以n=128設定。

(5) 邊界設定

本模式解析方法乃是設定x軸爲波浪前進方向,同時配合波浪分散角度與Y軸方向之有限差分,因而一般以模式西邊邊界(X=0)作爲外海入射波浪條件之輸入,即依據所需模擬之波浪氣候給定其波浪頻譜特性參數(示性波高H_s、平均週期T_m、平均波向角θ_m、以及方向分散係數n),而模式區域南邊(y=0)、北邊(y=ymax)邊界則考慮爲對稱性(Symmetric)邊界條件,在東邊邊界(X=Xmax)上假設波浪傳出模擬區域之外,不使波浪反射回計算區域內部,即爲吸收邊界(Absorbing Boundary);此外,對模式中所有陸地邊界之處理亦採取吸收邊界,即不考慮波浪在淺灘處之溯上與反射之效應。

4-5-4 計算範圍配置與條件

本研究中,近岸波浪計算之範圍及結構物配置係以台中港北外防波堤延伸850公尺後之現況爲依據,地形資料採用台中港務局提供之民國83年水深測量結果再結合海圖地形輸入。大區域之計算範圍如圖4-5-1所示,局部區域之計算範圍如圖4-5-2所示。計算之波浪條件參考相關報告之統計特性及試驗條件後選定如下:

(1) 大域計算條件

平均波向: N;示性波高: 3.5米;平均週期: 8秒,

平均風速: 15m/s;平均風向: NE

(2) 小域計算條件

自大域計算結果中截取小域計算邊界上所需之波浪條件。

4-5-5 近岸波浪計算結果及驗證

根據大域及局部區域近岸波浪之計算結果,台中港近岸現況冬季經常性波浪可得如圖4-5-3及圖4-5-4所示。在北外防波堤延伸850公尺前,中華顧問工程司亦曾對本區域波浪進行計算,結果如圖4-3-2所示,比較圖4-5-4及圖4-3-2b可知,儘管台中港自民國七十七年來外廓設施已作若干改變,近岸水深亦多變化,但就波浪折射之總體結果而言,其間之差異仍甚有限。依據圖4-5-4之計算結果分析,現況北外防波堤堤頭,因其水深在22米左右,對於8秒週期之季風波浪而言,波浪之行進尚未有水深明顯之影響,因折射淺化效應引起之波高變化亦不大,以外海入射波高3.5公尺估計,其淺化係數約爲0.85。北外防波堤以北之岸灘區,因水深大部分皆在10米以內,因此波向變化較大,近岸地區波向甚至可約轉爲西北向入射。

關於碎波波高及水深,依Munk(1949)之研究結果,其約可依下式估算,

$$\frac{H_b}{H_o'} \doteq \frac{1}{3.3(H_o'/L_o)^{1/3}} \qquad (4-13)$$

$$\frac{d_b}{H_b} \doteq 1.28 \qquad (4-14)$$

上列式中，H_b表碎波波高，d_b表碎波水深，H_o'爲未受折射效應影響前之入射波高，L_o爲深海波長。將本研究近岸之波浪條件代入估算可得，台中港週期8秒，波高3.5公尺之外海入射波浪其碎波波高可達約3.24公尺，碎波水深約在4.2米左右，對照圖2-1-1現況台中港水深圖知道，其碎波線當在5米水深等深線以內，離岸線約1公里左右，與現況北外防波堤堤頭之距離則在1.5公里以上。依美國工程兵團海岸保護手冊建議採用之沿岸流流速公式(參考本研究4-2-2節)，使用底床坡度m=1/200, H_b=3.2m, $\alpha_b = 35^o$估算可得碎波帶內最大沿岸流速約爲54cm/s，亦即台中港在冬季經常性波浪作用下，北外防波堤以北的岸灘區將存在有大小約一節左右之沿岸流，由於現況北外防波堤堤頭離碎波線距離在1.5公里以上，水深又達22米左右，依此估計，近岸流速應尙不致於會對港口流況造成影響。

4-6 港口靜穩度數值模擬

爲瞭解台中港北外防波堤延伸850公尺後現況港口及領港登輪區之波浪遮蔽效果及港內水域之靜穩度，本研究將以數值模擬方式進行探討，部分計算結果並將配合爲現況港口設施改善評估之依據。

4-6-1 港口靜穩度計算模式

本研究使用MIKE21-EMS橢圓緩坡方程式計算港口遮蔽及港內水域之靜穩度。其主要之架構係屬線性折繞射模式，可考慮波浪碎波、底床摩擦及波浪相關散射之效應，並可涵括樁、碼頭、消浪堤等結構物之部分反射及透射模擬，此外，其尙可應用於不等深水域之折射及繞射計算。對於水域面積不大之港池，其亦可用以計算港池盪漾及探討港池共振之特性。

MIKE21-EMS使用隱式有限差分迭代法(Iterative Implicit Finite Difference Method)求解緩坡方程式，而緩坡方程式一般可寫爲

$$\nabla(C \cdot C_g \nabla\xi) = (C_g/C) \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \qquad (4-15)$$

式中C爲波浪進行速度，C_g爲波浪群速度，其可分別表示爲$C^2 = (g/k)\tanh(kh)$及$C_g = 1/2[1 + 2kh/\sinh(2kh)]C$，其中$k = \frac{2\pi}{L}$表示波浪週波數，$h = h(x;y)$表示水

深，L表波浪波長，ξ表自由水面；∇爲水平梯度運算符號：$(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y})$。引入x及y方向之假想流量$P^*$及$Q^*$，則緩坡方程式可以質量及動量守恒方程式形式表爲：

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} + CC_g \frac{\partial \xi}{\partial x} = 0 \qquad (4-16)$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial t} + CC_g \frac{\partial \xi}{\partial y} = 0 \qquad (4-17)$$

$$\frac{C_g}{C}\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial y} = 0 \qquad (4-18)$$

在時間變量假設具簡諧(Harmonic)穩定解下，ξ; P^*; Q^*可分別以下式表示

$$\begin{aligned} \xi &= S(x,y,t)\cdot e^{i\omega t} \\ P^* &= P(x,y,t)\cdot e^{i\omega t} \\ Q^* &= Q(x,y,t)\cdot e^{i\omega t} \end{aligned} \qquad (4-19)$$

此時，S, P, Q之時間變量則假設其具緩變特性，引入入射波、反射波、部分反射波、散射波及吸收邊界與底床摩擦及碎波效應後，控制方程式可進一步化簡爲

$$\lambda_1 \frac{\partial S}{\partial t} + \lambda_2 S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = SS \qquad (4-20)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial P}{\partial t} + \lambda_3 P + C_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \qquad (4-21)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda_3 Q + C_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} = 0 \qquad (4-22)$$

式中：

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{c_g}{c} \\ \lambda_2 &= \frac{c_g}{c}\cdot i\omega + f_s \\ \lambda_3 &= \frac{c_g}{c}\cdot \omega(i+f_p) + f_s + e_f + e_b \end{aligned} \qquad (4-23)$$

ω表波浪頻率；i表複數虛部；SS爲單位水平面上之源流強度；f_p表多孔體內部因線性摩擦因素損失之能量；f_s表示吸收邊界之線性摩擦因子；e_f表底床摩擦造成之能量消散；e_b表示因碎波引致之能量損失。

根據以上控制方程式之描述，在模式計算中只要設定適當之計算範圍，給定欲模擬計算之波浪波高與週期，再配合必要邊界條件及相關參數之設定，則港口遮蔽效應與港內靜穩度即可計算求得。

4-6-2 模式建立與計算限制

港口靜穩度之計算模式，由於x及y方向假想流量P^*及Q^*之引入，使得橢圓型態之緩坡方程式變形成爲拋物線型方程組，因此在使用有限差分法求解之過程中，網格之大小尺度除必須滿足每一波長至少10至15個分割點外，計算中，對於流體計算穩定性相關之Courant Number: C_r之限制亦必須遵從。C_r一般係用來描述一單位計算時距內，計算訊息傳播影響之格點數目，其可表示爲

$$C_r = C \cdot \triangle t / \triangle x \qquad (4-24)$$

C表示計算訊息之傳遞速度，$\triangle x$及$\triangle t$分別爲計算格距及時距。一般，C_r值在計算區域內必須小於1，如此，數值計算方易趨於穩定，否則將導致發散。

除以上計算格距及時距之限制外，計算範圍之人爲邊界尙必須離計算區域有效結構邊界至少4至6波長之距離，藉以減小人爲邊界對計算結果之影響。

4-6-3 參數與邊界條件設定

數值模式計算結果之可靠性與準確性，除受計算模式解析方法及控制方程式建立之假設所限制外，相關邊界條件之設定及參數之使用亦有密切的關係，對於MIKE-EMS模式而言，本研究相關之參數及邊界條件設定如下：

(1) 底床摩擦

底床摩擦爲促使波浪失去部分能量之致因，能量失去量之大小隨波浪行進距離、波高及波週期增加而增大，但隨水深之變深而遞減。對於單一簡諧波而言，其能量消散率可表爲

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-1}{6\pi}\frac{f_e/2}{g}\left(\frac{\omega H}{\sinh(kd)}\right)^3 \qquad (4-25)$$

式中，f_e表能量消散係數，ω爲波浪週頻率，k爲波浪週波數，d爲水深，H爲波高。

對於波高具雷利(Rayleigh)分佈之波浪而言，其能量消散率可表爲

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-1}{8\pi^{1/2}}\frac{f_e/2}{g}\left(\frac{\omega H_{rms}}{\sinh(kd)}\right)^3 \qquad (4-26)$$

式中，H_{rms}爲波高之均方根值。

上列式中，f_e與尼古拉(Nikuradse)糙度係數K_N有關，其關係如下：

$$f_e = 0.24 \quad ; \quad a_b/K_N < 2$$
$$f_e = \exp(-5.977 + 5.213(a_b/K_N)^{-0.194}) \; ; \; a_b/K_N \geq 2 \qquad (4-27)$$

式中，a_b 爲底床上波浪水粒子之運動振幅，一般設定 K_N=0.002m，在本研究中，由於選定相對波高值計算，且主要在計算港口內波浪之遮蔽係數，故未對此值設定。

(2) 碎波

碎波爲因波浪尖銳度增大而變得不穩定後所產生之能量消散效果，其能量消散量可依下式計算

$$E_{diss} = \frac{-1}{4T} \cdot Q_b \cdot H_{max}^2 \qquad (4-28)$$

式中，H_{max} 表某一水深下允許之最大波高，而

$$H_{max} = \gamma_1/k \tanh(\gamma_2 kd/\gamma_1) \qquad (4-29)$$

Q_b 表碎波量，可依下式估算

$$\frac{1-Q_b}{1nQ_b} = -(\frac{H_{rms}}{H_{max}})^2 \qquad (4-30)$$

上列式中，T 爲波浪週期，k 爲波浪週波數，d 表水深，H_{rms} 爲波高均方根值。γ_1 及 γ_2 爲碎波控制指標，一般使用 $\gamma_1 = 1.0$ 而 $r_2 = 0.8$，在本計算中，碎波效應未計入考量。

(3) 邊界設定

在MIKE21-EMS 中，邊界之設定有三類：第一爲反射邊界，可依據結構物反射率之大小，透過線性摩擦係數之轉換而設定，依美國工程兵團海岸保護手冊之資料，對於不透水之光滑海灘，反射係數一般設爲0.8，對於粗糙之斜坡海灘及分階之結構物，反射係數一般在0.3至0.6間，本研究對於台中港防波堤構造物之反射率設定，在新舊北外防波堤堤面上，設定其爲全反射，南外防波堤靠海測部分亦設定全反射，其餘堤面及碼頭，反射係數設定在0.5至0.8間。第二類邊界爲吸收邊界，可依據港池特性及模擬區域需要而設置，藉以減小不必要及人爲邊界導致之反射影響。第三類爲造波邊界，可依據計算範圍配合上述二類邊界之設定選定造波方向。

4-6-4 計算範圍配置與條件

港口遮蔽及港內靜穩度模擬之計算範圍及結構物配置與近岸波浪計算一樣，仍以台中港北外防波堤延伸850公尺後之現況爲依據，地形資料亦仍使用民國83

年之水深測量結果，在模式建立之必要限制及電腦記憶容量考量下，計算範圍設定如圖4-6-1所示，計算之波浪條件，冬季經常性波浪以週期8秒，波向NWN爲主，夏季颱風波浪，波浪週期以8秒，10秒及12秒爲主，計算之波向則僅考量WSW方向。

4-6-5 港口遮蔽計算結果及驗證

台中港北外防波堤延伸主要目的之一係爲遮蔽冬季經常性波浪，俾使領港登輪區可有效外移，港內靜穩度可大幅提昇。北外防波堤延伸850公尺完成後，經以週期8秒波向NWN之冬季經常性波浪計算，結果可得如圖4-6-2所示。由圖觀察可知，現況港口處之波浪遮蔽係數(k_d)僅約爲0.1，港內航道之遮蔽係數爲0.05，近漁港港口及南北內防波堤口處則在0.002以下，足見現況北外防波堤對港口之遮蔽性實甚良好，對港口內、外及主航道水域之靜穩度需求亦能有效地提供。但對領港登輪區而言，由於冬季領港登輪位置依領港作業規定。目前係設定在南防波堤燈塔西南西方約0.5浬(0.926公里)處，對照圖4-6-2b可得其座標位置約在(210,75)上，恰好偏離北外防波對NWN波向之遮蔽區，在冬季風急浪大之海氣象條件下，領港艇外航之困難度及領港人員登輪之危險性可以想見。

對於夏季WSW方向之颱風波浪而言，與冬季經常性波浪對照，北外防波堤之延伸將無法適切有效地提供港口遮蔽性及港內靜穩度。本研究對週期8秒、10秒及12秒，波向WSW之颱風波浪模擬計算結果分別如圖4-6-3，圖4-6-4及圖4-6-5所示。本所於民國七十七年爲現況北外防波堤延伸之需要，曾進行相似颱風波浪條件之水工模型實驗，相關之實驗結果如圖4-6-6[1]所示。將計算與實驗結果相驗證並比較後可知，本數值模擬之計算結果其與實驗所得之遮蔽係數值甚爲接近，總體之港池靜穩型態亦頗一致，只是實驗所得之遮蔽係數值稍偏小而已，而此現象經檢討應爲數值計算中，岸壁反射率之估計及設定差異所致。

依據本研究數值模擬計算之結果，WSW向颱風波浪在現況北外防波堤南側及南外防波堤西側皆將形成沿北外防波堤方向之短峰波，其波高係數值普遍在1.5以上，對港內靜穩度之影響隨週期之增大而遞增，在南北外防波堤口處，12秒週期之波浪將有兩條短峰波傳遞行進線通過港口進入港內，10秒增至三條，8秒則增至5條，此些向港內傳遞行進之短峰波波向亦將分別對漁港口，航道中線及南內防波堤口造成影響，以圖4-6-4及圖4-6-5之計算結果爲例，當波浪週期爲10秒及12秒時，沿北外防波堤形成之第一條短峰波波向線將會對漁港口造成威脅，唯其波高係數將會衰降至約0.2；第二條短峰波波向線由於其形成位置約略在主航道中線上，因此其將對主航道區域甚至南北內防波堤口附近之港區水域直接造成影響，所幸在

其直侵港內水域之同時，由於航道區水深之變化，其影響範圍將因折射淺化效應而偏向南內防波堤口附近，但其波高係數一般尙保持在約0.3左右。波浪進入內港口後，一般其波高係數將降至0.2以下，以大型船舶靠泊之靜穩度要求而言，若外海入射波高不大於4公尺，其靠泊之安全性應尙可接受。至於8秒週期之颱風波浪，因其形成之短峰波向線高達5條，複雜的岸壁反射及水深造成之折射淺化影響將使內外港口間水域明顯存在港池盪漾現象，漁港口及其附近水域波高係數一般亦達0.3左右。

4-7 海流數值模擬

本研究中，海流數值模擬之主要目的乃在探討台中港北外防波堤延850公尺後，現況港口附近之海流型態及特性，並提供台中港現況操船模擬所需之流場資料，必要時並可配合爲現況港口設施再改善之評估依據。

台中港近岸海流除受台灣海峽大尺度海潮流所控制外，局部尙受風趨流，近岸流及防波堤等突出結構物與地形之影響，海流之複雜度詳見本章前列各節之說明，短期內欲通盤考量全部構成因素應非容易之事，但爲能有效掌握台中港港口附近海流之變化型態與特性，本研究因此將就各影響海流之因素中，配合台中港局部區域之特性後，擇其要者，考量潮汐與風之因子，進行台中港港口現況海流之數值模擬。

4-7-1 海流計算模式

理想的海流計算模式應可配合研究區域之局部需要，將局部區域會影響海流之構成因素儘量納入，經評估結果，本研究選用之計算模式爲丹麥水工研究所研發之水動力計算模式MIKE21-HD 。

丹麥水工研究所研發MIKE21-HD 模式主要基於目前世界各國使用之同等模式均採用相同之學理，但該模式經丹麥水工研究所整合開發後，其可提供使用者極佳之操作環境、極快速之運算速度及良好之技術服務，使用紀錄甚爲良好。並且該模式目前在國際上有爲數眾多之使用者，其中包括許多主要港埠單位如新加坡港等，在國內則有海洋大學河海工程系，成功學水工試驗所及中興工程顧問社等使用。衡諸本研究計畫大量之計算工作，計算時間又甚緊迫且需迅速地將計算結果適切地表達，因此，使用像MIKE21這樣操作簡單且有高品質輸出結果之數值模式，將有助於本計畫之執行。

MIKE21-HD 模式能夠考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，可模擬海水位變化及海潮流流況。河川流

量型態之流源(Source)或如蒸發損失型態之流陷(Sink),此模式亦皆可加以考慮。研究區域之海水位變化及海潮流流況係以時變性之二維方格網系統加以計算解析。

該模式計算主要在求解平面X及Y方向之水深平均連續方程式及動量守恒方程式,其計算輸出結果則包括每一計算時階及格網點上之水深(h)、X方向通量(p)及Y方向通量(q),根據這三個基本物理量及地形資料,可推導出每一計算時階及格網點上相對應之海水位變化、X方向流速、Y方向流速、合成流速(純量)及流向。流場模式校正可藉調整底床摩擦係數(型態及大小)、消散係數(型態及大小)及風摩擦係數(常數或變數)等加以完成。主要之控制方程式如下:

連續方程式:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial q}{\partial y}=I-e \tag{4-31}$$

運動方程式:

X方向:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\frac{p^2}{h})+\frac{\partial}{\partial y}(\frac{pq}{h})+gh\frac{\partial \zeta}{\partial x}\\&+\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2\cdot h^2}-\frac{1}{\rho_w}[\frac{\partial}{\partial x}(h\tau_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(h\tau_{xy})]-\Omega q\\&-fVV_x+\frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial x}(P_a)=0\end{aligned} \tag{4-32}$$

Y方向:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}(\frac{q^2}{h})+\frac{\partial}{\partial x}(\frac{pq}{h})+gh\frac{\partial \zeta}{\partial y}\\&+\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2\cdot h^2}-\frac{1}{\rho_w}[\frac{\partial}{\partial y}(h\tau_{yy})+\frac{\partial}{\partial x}(h\tau_{xy})]-\Omega p\\&-fVV_y+\frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial y}(P_a)=0\end{aligned} \tag{4-33}$$

上列式中,各符號說明如后:

$\zeta(x,y,t)$:水位變化(m)

$p,q(x,y,t)$: x及y向之流量強度$(m^3/s/m)$=(uh,vh);

(u,v)爲x及y方向之水深平均流速

$h(x,y,t)$:水深

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$(m^{1/2}/s)$

g:重力加速度(m/s^2)

$f(V)$:風摩擦係數

$V, V_x, V_y(x,y,t)$:風速及其x及y方向速度分量(m/s)

$\Omega(x,y)$:柯氏(Coriolis)參數,與緯度有關(S^{-1})

$P_a(x,y,t)$:大氣壓力$(kg/m/s^2)$

ρ_w:水密度(kg/m^3)

x,y:空間座標(m)

t:時間(s)

τ_{xx} 、 τ_{xy} 、 τ_{yy}:有效剪應力分量

4-7-2 模式建立與計算限制

本計算模式爲時變性水深方向積分之二維模式使用變方向隱式有限差分法(ADI FDM)求解,模式之穩定條件依水動力學計算之一般準則,時間間距必須滿足Courant Number: C_r 小於1之限制,故計算中,時距可依計算變數之最大訊息傳遞速度C_{max}及空間格距大小$\triangle x$決定如下:

$$\triangle t_{max} = \frac{\triangle x \cdot C_r}{C_{max}} \qquad (4-34)$$

在計算範圍確立上,由於其直接關係計算邊界條件之控制,邊界條件選取及設定之良窳將嚴重影響計算結果之精度,因此計算範圍一般依據現有水位站劃定,另爲檢核計算結果,計算之研究區域內尙應有水位及流速測站資料可供配合驗證。必要時,當進行水理資料之短期實際觀測。

4-7-3 參數設定

水動力計算模式必須設定之參數如下:

(一) 底床摩擦係數

底床摩擦係數一般可選擇Chezy Number (C)或使用Manning Number (M)表示,兩者之關係爲$C = Mh^{1/6}$, h爲計算區之水深, C及M之單位分別爲$m^{1/2}/s$及$m^{1/3}/s$,且M=1/n, n爲一般文獻使用之Manning Number。當計算區域水深變化較大時,建議使用Manning Number,其選用範圍約在20至40間,一般可

選用M=32。而Chezy Number之值域介於30至50間,考量摩擦係數隨水深變化時可選用Chezy number。本研究計算選用M=30。

(二) 風摩擦係數

風摩擦係數主要用來計算風剪力之大小,其係數一般可依下式計算:

$$f(V)=\begin{cases} f_o & \text{for } V<V_o \\ f_o+\frac{V-V_o}{V_1-V_o}\cdot(f_1-f_o) & \text{for } V_o\le V\le V_1 \\ f_1 & \text{for } V>V_1 \end{cases} \qquad (4-35)$$

式中

$$\begin{aligned} f_o &=0.00063, V_o=0m/s \\ f_1 &=0.0026, V_1=30m/s \end{aligned} \qquad (4-36)$$

本研究計算選用f=0.002。

(三) 渦度係數(Eddy Viscosity)

渦度係數(E)主要用來計算動量方程式中之紊流效應,藉以阻滯(Damping)短波之長向振盪及表現小網格之尺度影響,一般其大小必須滿足下列限制:

$$E\le\frac{\triangle x^2}{2\triangle t} \qquad (4-37)$$

並可依下式估算

$$E=0.1\times\triangle x\times V \qquad (4-38)$$

式中,$\triangle t$爲時距,$\triangle x$爲網格間距,V爲流速。對於流場係隨時空而變化時,渦度係數尙可依Smagorinski觀念依下式估算,即

$$E=C_s^2\triangle^2[(\frac{\partial U}{\partial x})^2+\frac{1}{2}(\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial x})^2+(\frac{\partial V}{\partial y})^2] \qquad (4-39)$$

U,V表水深平均之X及Y向流速分量,$\triangle$爲網格間距,C_s可於0.25至1.0間選用。綜觀上述,E之大小與時距及網格距皆有分不開之關係,本研究中依格距大小不同選用之E值分別如下:

$$E=8.0;\triangle x=1000m$$

$$E=4.0;\triangle x=100m$$

$$E=1.0;\triangle x=25m$$

4-7-4 計算範圍

台中港區之潮流活動主要受台灣海峽海潮流活動所影響，在台灣附近海域由東向西傳播之海潮流在台灣海峽中部即本研究區域附近匯合，形成本區海域複雜之海潮流狀況，理想上海潮流之模擬需包括台灣海峽總體流場模擬，但依據丹麥水工研究所曾對台灣海峽總體海潮流流場進行研究之結果顯示[22]，若研究海域在台中以南，模式範圍涵蓋台灣西海岸至澎湖群島則可正確地掌握該區海域海潮流特性，但台中以北區域，限於計算範圍及邊界條件之掌握，仍以局部區域考量爲宜。因此本研究不對台灣海峽總體流場進行模擬。計算範圍僅就研究區域邊界條件效應、模式校正及驗證所需資料之數量加以考量並決定。

由於海流數值模擬計算最困難之事即在計算區域上之邊界條件設定，正確且品質良好之邊界條件爲海流數值模擬計算準確成功之先決條件。根據資料收集結果知道，台中港南北兩側具有充足潮汐水位資料之海氣象測站甚爲有限，南側最近測站僅有芳苑一站，北側則需遠至新竹方有新竹漁港一站，因此計算區域選定如圖4-7-1。另爲配合計算精度之要求，同時並將計算區域分爲大域、小域及局部等三種，網格間距分別爲1公里、100公尺及25公尺，各計算區域所涵蓋之計算範圍分別爲120公里×60公里、18.1公里×14公里及6.25公里×6.5公里，各計算區域位置、範圍及相關之地形如圖4-7-2、圖4-7-3及圖4-7-4所示。海測之計算範圍或其邊界線依海圖恒流方向而劃定，亦即大域計算區域之海側邊界係取其平行於恒流方向，此考量主要在實際計算時可方便設定海側之邊界條件。

4-7-5 邊界條件

依據台中港海流計算範圍之設定，在大域計算區域上，計算區域南側邊界將引用芳苑潮位站之驗潮結果做爲南側水位變化之控制，北側則引用新竹漁港潮位站之驗潮結果做爲北側水位變化之控制，西側之控制邊界因其距海岸線已達約60公里，且其又取與恒流方向平行，因此在大域海流計算中，計算之海流將僅有沿西側邊界運動之速度量，垂直西側邊界運動之速度量將不存在。完成大域海流計算後，小域海流計算區域之各側邊界條件，如流速或水位時變量將可自大域海流計算結果之相關位置上萃取，並據以進行小域之海流計算模擬，局部區域海流計算之邊界條件，依上述方法亦可自小域海流之計算結果中萃取其相對位置上之邊界條件。經過大域、小域及局部區域網格計算之變換，台中港區之海流及水位變化特性即可精細地計算求得。

4-7-6 潮汐特性比較

台中港區海流數值計算，除邊界條件必須引用鄰近潮位站之潮位資料外，爲驗

證之需要，台中港區本身之潮位資料亦是不可或缺的，以下將就本研究使用之潮位站潮汐資料特性做一簡要之比較：

(1) 芳苑驗潮站潮汐之實測資料如圖4-7-5之實線所示，由圖可看出，芳苑驗潮站近年僅能記錄平均水位以上之資料，欲用其作爲潮汐分析及預報將甚困難，但爲邊界條件引用之需要，經向台灣省水利局洽取民國78年6月至民國79年6月之完整記錄後，經潮汐分析可得芳苑60個分潮振幅及遲角如表4-7-1所示，引用一般潮型之分類指標：

$$R = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

上式中，K_1 、O_1 、M_2 及 S_2 爲其各別對應之分潮振幅大小

當 $R < 0.25$ 爲半日潮型

$0.25 < R < 1.5$ 爲混合潮型

$1.5 < R$ 爲全日潮型

將表4-7-1芳苑之分潮振幅代入計算，可得芳苑潮型指標R值爲0.217，因此芳苑之潮型屬半日潮型態。將芳苑60個分潮參數用於潮汐預報，結果如圖4-7-5虛線所示，比較芳苑驗潮站之實測潮位後可知，預報與實測實際上頗爲吻合。

(2) 台中港驗潮站設於北泊渠#4A碼頭附近，其各分潮振幅參數[23]如表4-7-2所示，實測及預報潮位如圖4-7-6所示。台中港之潮型依本研究第二章海象—潮位之說明，其亦屬半日潮型態，潮型指標R=0.191，半日潮型態甚爲明顯。且每月大潮約有一至二次。

(3) 新竹漁港驗潮站各分潮振幅參數依據台灣省漁業局之分析資料[24]可得如表4-7-3，實測及預報潮位之比較如圖4-7-7所示，潮型指標R=0.212，亦屬半日潮型，且與芳苑測站之潮型指標R=0.217頗爲接近。

(4) 台中港、芳苑及新竹漁港之潮汐型態，根據以上之分析可知其皆屬半日潮型，但將三測站同時期之潮汐水位做一比較，結果如圖4-7-8所示，由圖可知，在漲潮至最高潮時間上，新竹漁港雖遠在台灣海峽之北側，但其滿潮位最先到達，其次爲芳苑，台中港最後，也因有此特性，在漲潮時段，台灣海峽南北兩側之潮波將向台中港區附近匯集。在退潮至最低潮時間上，新竹漁港亦首先達到最低潮位，其次爲台中港，芳苑最後，由此判知，退潮時，潮波將由南向北移動。

(5) 由於潮波之運移特性不同，由圖4-7-8尙可明顯判知，台中港潮差最大，新竹漁港次之，芳苑潮差最小。僅管如此，在大潮期間，芳苑之最大潮差亦高達4公尺，同時間，台中港之最大潮差則高達約5公尺。

(6) 就漲退潮之時變率而言，台中港與新竹漁港相近似，最大時變率接近每小時1公尺，而芳苑漲退潮之時變率則僅有每小時約80公分左右。

4-7-7 計算條件

爲配合本研究操船模擬海流環境設定之需要，並爲充分瞭解潮汐與冬季風所造成之海流對台中港港區之影響，海流數值模擬算條件將以1994年1月冬季大潮期間之潮汐變化爲主要計算依據，計算期間自1994/01/11 20:00:00至1994/01/14 08:00:00總計算時距共2日又12小時，真時潮位之變化如圖4-7-8所示，其中芳苑站之潮位將用爲大域計算區域南側邊界之控制水位，新竹漁港站之潮位將用爲北側邊界之控制水位，台中港站之潮位則保留做爲計算結果之檢證。

雖然計算開始之水位邊界係選用在冬季期間，但在未將季風影響計入考量前，單純的海流計算實可類比爲台中港夏季或冬季風速較小期間之海潮流流況。至於冬季季風期間之海潮流流況模擬，在計算中，風速將以平均風速15m/sec，風向NE，全計算期內恒向恒大小作用模擬。

4-7-8 大域網格潮流模擬結果與驗證

台中港區大域計算區域如圖4-7-2所示，最南邊爲芳苑，最北側爲新竹漁港，台中港港口位置之網格座標爲(47, 46)，在季風風速不考慮下，大域之潮計算結果如圖4-7-9a至i所示。以台中港港口之水位爲計算結果討論之基準，由圖4-7-9可知：台中港在滿潮期間，全計算區域潮流流向皆向南流動，流速強度由北向南遞增；自滿潮位開始退潮後，全區域之流速逐漸減小，新竹漁港外水域部分水流並開始由南轉爲北向；在台中港之平潮階段，港口外水域適爲潮流南北向流動之分隔帶，在此時期港口外水域最平靜，流速亦最小；在平潮1小時後之退潮期間，全區域潮流流向皆轉向北流動，流速之強度由南向北遞增，台中港港外流速此時亦已逐漸轉強；在台中港干潮期間，全計算區域潮流以極強之流速全面向北流動；自干潮後2小時之漲潮期間，向北流動之潮流流速已稍減弱；至漲潮期間之近平潮點時，新竹漁港外海區域原向北流動之潮流此時已再轉向南行，北向及南向流動之水流於此時期於通霄外海相遇，隨著潮位之逐漸升高，此南北向潮流之分隔帶亦逐漸南移；至平潮後1小時，此分隔帶將南移至彰濱工業區外海，全區域流速仍普遍保持向南之流動；及至台中港接近滿潮時段，潮流又以極強之流速全面向南流動。根據以上之計算結果估計，台中港外海之潮流流速最強約在50cm/s至70cm/sec間，此與實際海象調查所得之結果頗爲一致。

爲進一步驗證海流數值模式計算結果之可靠性，將台中港港口位置之計算水位萃取後與實測值相比較，驗證結果如圖4-7-10所示，由圖可知，無論潮位或潮時相位，計算與實測結果皆頗爲吻合。

4-7-9 小域網格潮流之模擬結果

小域網格潮流之模擬計算，主要在承繼大域網格之計算結果，並提供局部計算區域所需之計算邊界條件。此外，因小域網格之格距大小已做適當之減縮，因此亦能輔助瞭解研究區域整體性較粗略區域之水理現象。

小域網格潮流之模擬結果如圖4-7-11a至i所示。對照比較圖4-7-9a至i大域網格之計算結果可知：由於台中港北外防波堤850公尺之延伸突出，台中港港口南側在滿潮至平潮之退潮階段，因海域潮流向南之流動，北外防波堤南側水域將有反時鐘方向旋轉之環流形成，環流自滿潮階段開始發展，外環強度甚強；至平潮階段，環流發展成熟，強度亦稍減弱，環流中心隨著潮位退減而逐漸增大；在平潮至干潮之退潮階段，由於潮流整體轉向北流動，延伸突出之北外防波堤在此階段上亦會於北外防波堤以北之水域造成順時鐘方向旋轉之環流，值得注意的是，港口向外之流速雖會因港內水位已接近干潮位而逐漸減小，但北外防波堤堤頭附近之流速此時卻甚強勁，流速最大可高達約80cm/sec；干潮至平潮之漲潮段，順時鐘方向之環流雖持續於北外防波堤以北水域發展，但港口之流速此時已自向港外方向轉爲向港內之流動；自平潮至滿潮之漲潮段上，由於港外潮流整體再轉向南流動，因此逆時鐘方向旋轉之環流再次地會於北外防波堤南側水域發展，且其強度將比滿潮至平潮段之同向環流爲強，另外，北外防波堤堤頭附近將有強度約80cm/sec，方向約爲西向之流速發展。至於港口之水流，由平潮至滿潮階段，潮流保持向港內流動之方向，但在平潮段約1小時後，於港口附近將有強度約60cm/sec之流速形成。

4-7-10 局部區域網格潮流模擬結果

局部區域網格之計算除了可提高研究區域必要之流場精度，使研究區域內局部之流場特性易於展現外，由於其邊界條件係萃取自小域網格之流場計算結果，因此尙可克服邊界條件設定之困難與障礙，使計算結果更能反應現場實測及調查所得之水理現象。

台中港局部區域網格配置如4-7-4所示，圖4-7-12a至y爲1994/01/13 00:00:00至1994/01/14 00:00:00台中港大潮期間計算所得之細部流場逐時圖，#4A碼頭潮位測站之近似網格座標爲(240, 180)，以其潮位變化爲計算結果討論說明之基準，則比較圖4-7-12流場逐時圖後可知：台中港自滿潮至平潮之退潮段上，現況北外防堤

以南之水域存在有逆時鐘方向旋轉之環流，環流自近滿潮階段開始發展，規模雖小，但強度卻甚強，北外防波堤堤口附近之最大流速估計約在40cm/sec至50cm/sec間；至近平潮階段，環流幾已發展成熟，強度亦稍減弱，環流中心隨著潮位退減而逐漸向南移動，在此過程，港口內外及航道上之水流皆向港外流動，且流速亦逐漸增強；在平潮至干潮之退潮階段上，由於港外水流整體向北流動，環流在此時期轉爲順時鐘方向旋轉，並形成於北外防波堤以北之水域，內外港口及航道上之水流並於平潮後約1小時達到最大，估計最大流速約可達1m/sec左右；干潮至平潮之漲潮段，順時鐘方向旋轉之環流持續於北外防波堤以北發展，環流規模亦持續擴大，所不同地，爲港口水流已轉向港內流動，流速亦不斷地增強中；在漲潮段之近平潮點上，由於港口外原向北行進之潮流，此時必須返轉向南流動，故而在北外防波堤以北水域之環流其特性將不單純因北外防波堤延伸突出之影響，而尙必須顧慮北防沙堤之突出作用，由圖4-7-12j可看出在此時期，北外防波堤以北近岸潮流流速將甚爲可觀；自平潮至滿潮之漲潮段上，由於港外潮流整體再轉向南流動，故而逆時鐘方向旋轉之環流再次地會於北外防波堤南側水域發展，且其強度將比滿潮至平潮段之同向環流爲強，在此階段上，北外防波堤堤頭附近水流之最大強度約可達1m/sec，方向約爲西向，港口水流仍維持向港內之流向，港口附近最大之流速約可達60cm/sec，發生於漲潮段平潮後約1小之時刻。

圖4-7-12m至圖4-7-12y爲半日潮第一次滿潮後之流況，將以上結果與滿潮前流況逐時對照比較後可知：在一半日潮漲退潮期間，水流在台中港附近水域之變化特性實際是甚爲相似的，所不同地，只是半日潮第一次滿潮後因其承續滿潮前之潮流特性，因此在環流規模與強度上將略有不同，港口及航道上之流況部分亦因此而有些許之變動及調整。

4-7-11 局部區域網格潮流模擬驗證

局部區域網格潮流之模擬計算因其未考量季風風速之影響，故可視爲冬季季風甚弱或近似於夏季之潮流流況。依據台中港#4A碼頭附近實測之水位資料，將其與計算水位相驗證，結果如圖4-7-13所示，由圖可知，計算與實測之水位，不論就水位與潮時相位而言皆甚吻合。

本所在1994年9月至1996年2月期間曾進行台中港海況調查研究[8]，港外測站名稱分別爲ST1, ST2及ST4，其設置位置如圖2-2-10所示，圖2-2-28至2-2-30分爲各測站實測之部分夏季資料結果，本研究相似對應位置之計算結果如4-7-14至圖4-7-16所示。比較各點位之水流特性後可知，雖然本模擬之計算條件係選擇月大潮期間計算，但計算與實測之總體趨勢仍甚一致。以ST2測站之計算結果(圖4-7-15)

爲例,北外防波堤堤頭附近之流速一般皆在80m/sec以下,而方向僅有近西及偏北之方向,此與實測之結果尚算吻合。在港內水流調查部分,本所亦曾自1996年1月7日11:20:00起於現有漁港港口外水深10米處進行25小時之水流實測,雖其爲冬季資料,但將實測與近似點位之計算結果移動對照後,可得比較結果如圖4-7-17所示,由圖可知,潮流引起之港內計算流速變化(虛線)其與實測結果(實線)實際亦甚相近。

4-7-12 局部區域網格季風與潮汐影響之海流模擬

台中港冬季季風以NNE向及NE向爲主,風速大於15m/sec以上之機會佔全冬季約14.3%,吹風延時超過8小時之機會約12.6%。爲探討台中港冬季因強盛季風及潮汐變化影響之海流特性,考量平均風速15m/sec,風向NE進行局部區域網格海流數值模擬,潮位條件仍引用1994年1月大潮期間芳苑及新竹漁港之水位資料。1994/01/13 00:00:00至1994/01/14 00:00:00之海流逐時模擬計算結果如圖4-7-18a至y所示。選取台中港北泊渠#4A碼頭之水位變化爲計算結果討論之基準,並取用圖4-7-12a至y純潮汐影響之逐時流況相互對照比較,由比較結果可知:台中港在滿潮至平潮之退潮段上,原由北向南流動之潮流因NE向季風之作用,流速普遍增強,漁港以北之近岸區域,風趨流之作用甚爲明顯,季風風速15m/sec在近岸區造成之風趨流流速大小約爲20cm/s左右,在北外防波堤南側水域形成之反時鐘方向旋轉之環流,不論規模與環流大小皆較純潮汐因素造成者爲大。北外防波堤堤頭附近之最大流速大小約在1.0m/sec上下,港口內水流向港外流動,流速隨潮位退減而遞增,內港口最大之流速約可達60cm/sec;在退潮段之平潮水位上,港口外部分原應向北流動之水流由於季風風速之作用,致使港外水域水流仍向南運動;平潮至干潮之退潮期間,由於強勁季風形成風趨流之壓制,原由南向北運動之水流速度整體減緩變小,通過北外防波堤堤頭原向北之水流,因風趨流之阻擋,流向亦大都向北並偏海側流動,由於北向流動之水流受阻擋,因此港口內向外之流速亦有減緩之趨勢;干潮至平潮之漲潮段上,由於潮流恰在由南向北轉爲由北向南之變化時段上,風趨流之作用因此可明顯地於漁港口北側及西碼頭區海側顯現;水位通過平潮點在平潮至滿潮之漲潮時段上,由於海流之流動已完全轉爲由北向南,因此海流之變化特性及季風對海流之影響將與滿潮至平潮之退潮期間特性相近似,所不同地爲港口水流此時係由港外持續向港內流動而已,向港內流動之水流最大可達約80cm/sec,發生於漲潮段平潮後約1小時之時刻上。

台中港季風期間半日潮第一次滿潮後之流況模擬結果如圖4-7-18m至y所示,除環流規模與強度及港口與航道之部分水流特性局部變動調整外,其餘之水流特

性及風趨流之影響與半日潮第一次滿潮前之逐時變化是甚爲相近的。

4-7-13 台中港季風期海流模擬驗證

自台中港冬季季風期海流模擬計算結果中萃取北泊渠區#4A碼頭測站之計算水位資料,將其與實測結果進行比較,結果如圖4-7-19所示,由圖比較可知,季風期計算所得之水位其與實測值之特性變化甚爲一致,干潮位微小的水位偏差應係台中港實測潮位平均水位之化算誤差所致。

本所在1994年9月至1996年2月期間曾進行台中港海況調查研究[8],港外測站名稱分別爲ST1, ST2及ST4,其設置位置如圖2-2-10所示,圖2-2-25至圖2-2-27分別爲各測站冬季部分之實測結果,本海流模擬相似對應位置之計算結果如圖4-7-20至圖4-7-22所示。比較各點位之水流特性後可知,雖然本模擬計算條件係選擇月大潮期間計算。且考量15m/sec之平均季風風速,但計算與實測比較之總體趨勢頗爲良好。以ST2測站之計算結果(圖4-7-21)爲例,雖然北外防波堤堤頭附近之計算流速最大曾高達1.25m/sec,但其係爲強盛季風與大潮期間所算得,此與實測海況當有所差異,但水流方向之變化則是甚爲一致的,由圖4-7-21 ST2測站之計算結果也可看出,除在退潮段之平潮水位附近,堤頭水流會有向北流動趨勢外,在季風吹拂下,台中港北外防波堤堤頭附近之水流不論潮位高低,其一般係爲偏西流動的。在港內水流調查部分,本所曾自1996年1月7日11:20:00起於現有漁港港口外水深10米處進行25小時之水流實測,將實測與近似點位之計算結果移動對照後,可得比較結果如圖4-7-23所示,由圖可知,季風與潮流引起之港內計算流速變化(虛線)其與實測結果(實線)比較亦甚相符合。對於南北內防波堤口間之水流強度,依據圖4-7-8台中港#4A碼頭潮汐水位實測站之潮汐水位時變率可知,台中港潮汐時變率最大可達每小時一公尺左右,假設港區水域面積爲500公頃,堤口流量係數爲0.5,則依港口寬350公尺,水深15米估算,港口之流速估計可達52.91cm/sec,其與內港口水流模擬計算結果60cm/sec亦甚接近。

依據以上季風期、非季風期與流速估算之驗證比較結果,綜合可得本研究以數值模擬方式計算台中港港口段及航道上之水流,雖僅考量潮汐與季風風速之影響,但其準確性應尚可信賴。

表4-7-1　芳苑驗潮站60個分潮之調和常數表

（依據民國78年6月至民國79年6月之潮汐資料）

分潮編號	分潮名稱	振幅(m)	遲角(度)	分潮編號	分潮名稱	振幅(m)	遲角(度)
1	ZO	0.0383	0.00	31	M2	1.4341	338.41
2	SSA	0.0540	248.49	32	MKS2	0.0168	208.45
3	MSM	0.0139	25.30	33	LDA2	0.0725	359.70
4	MM	0.0231	351.26	34	L2	0.0764	4.09
5	MSF	0.0339	23.18	35	S2	0.3812	29.40
6	MF	0.0138	347.94	36	K2	0.1018	17.81
7	ALP1	0.0040	202.00	37	MSN2	0.0058	229.71
8	2Q1	0.0042	210.16	38	ETA2	0.0037	41.44
9	SIG1	0.0076	203.78	39	MO3	0.0237	171.45
10	Q1	0.0356	219.45	40	M3	0.0052	241.02
11	RHO1	0.0082	192.59	41	SO3	0.0109	196.63
12	O1	0.1806	242.75	42	MK3	0.0232	195.12
13	TAU1	0.0091	359.96	43	SK3	0.0100	256.26
14	BET1	0.0035	345.00	44	MN4	0.0408	215.91
15	NO1	0.0114	272.90	45	M4	0.1111	239.13
16	CHI1	0.0040	206.71	46	SN4	0.0017	337.37
17	P1	0.0649	279.37	47	MS4	0.0727	287.53
18	K1	0.2144	282.44	48	MK4	0.0223	277.61
19	PHI1	0.0057	234.68	49	S4	0.0093	327.81
20	THE1	0.0035	202.75	50	SK4	0.0050	308.81
21	J1	0.0108	328.37	51	2MK5	0.0050	190.11
22	SO1	0.0104	88.94	52	2SK5	0.0012	33.91
23	OO1	0.0070	351.66	53	2MN6	0.0159	191.60
24	UPS1	0.0023	19.23	54	M6	0.0376	218.44
25	OQ2	0.0067	202.97	55	2MS6	0.0322	279.15
26	EPS2	0.0261	47.62	56	2MK6	0.0081	235.34
27	2N2	0.0349	252.35	57	2SM6	0.0046	316.64
28	MU2	0.0684	89.14	58	MSK6	0.0033	310.70
29	N2	0.2417	309.25	59	3MK7	0.0021	106.22
30	NU2	0.0922	314.86	60	M8	0.0117	83.31

表4-7-2　台中港驗潮站39個分潮之調和常數表

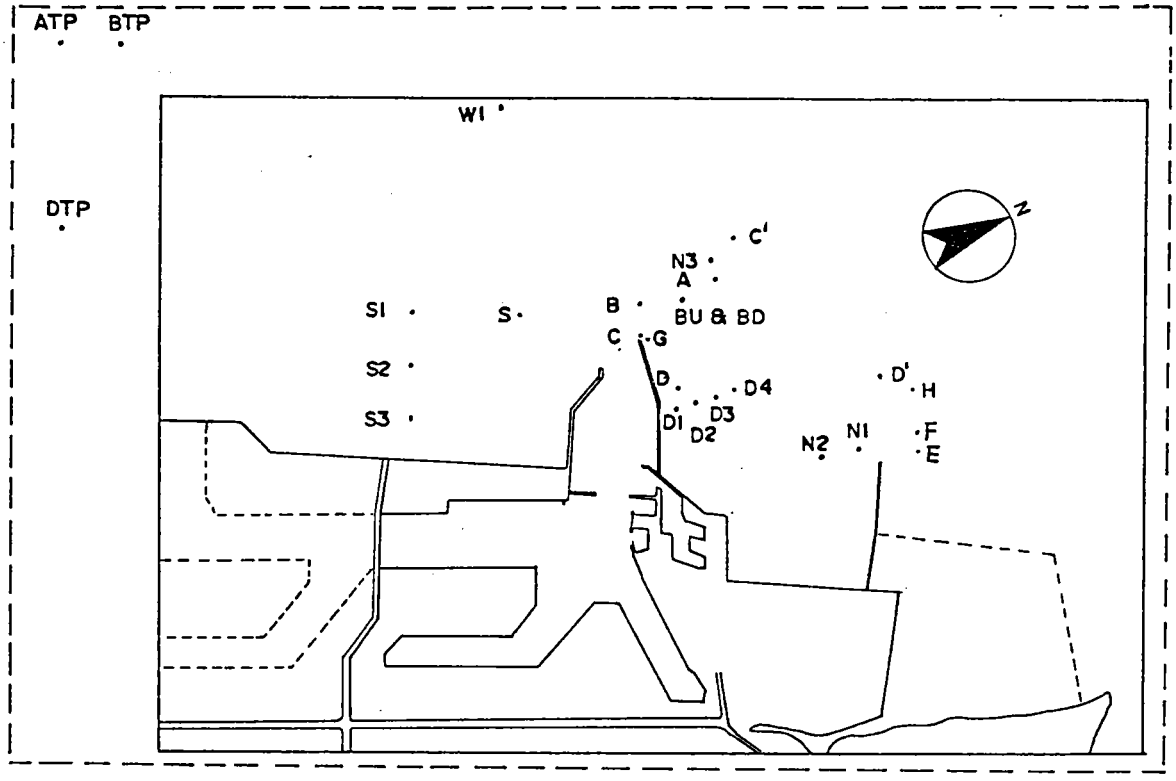
（註：平均水位2.70m）

分潮編號	分潮名稱	振幅（米）	遲角（度）	分潮編號	分潮名稱	振幅（米）	遲角（度）
1	H_m	0.032	103.36	21	MO_3	0.006	311.63
2	M_{sf}	0.026	40.597	22	M_3	0.000	155.17
3	$2Q_1$	0.008	-156.89	23	SO_3	0.007	248.10
4	ρ_1	0.027	304.88	24	MK_3	0.011	342.93
5	O_1	0.196	251.51	25	SK_3	0.003	332.20
6	M_1	0.021	269.83	26	MN_4	0.006	250.56
7	P_1	0.074	269.31	27	M_4	0.016	314.07
8	K_1	0.240	279.00	28	SN_4	0.002	23.58
9	θ_1	0.009	34.25	29	MS_4	0.008	325.08
10	SO_1	0.003	95.56	30	MK_4	0.004	99.72
11	OQ_2	0.010	13.05	31	S_4	0.001	1.51
12	MNS_2	0.032	133.90	32	SK_4	0.003	121.31
13	$2N_2$	0.030	13.58	33	$2MN_6$	0.008	213.75
14	N_2	0.388	329.38	34	M_6	0.007	276.46
15	M_2	1.767	0.22	35	MSN_6	0.003	196.71
16	L_2	0.158	50.75	36	$2MS_6$	0.006	291.99
17	S_2	0.515	35.38	37	$2MK_6$	0.003	108.03
18	K_2	0.117	44.45	38	$2SM_6$	0.002	307.96
19	MSN_2	0.018	259.81	39	MSK_6	0.002	201.16
20	$2SM_2$	0.033	262.32				

表4-7-3　新竹漁港驗潮站25個分潮之調和常數表

（資料來源：台灣省漁業局，1988年）

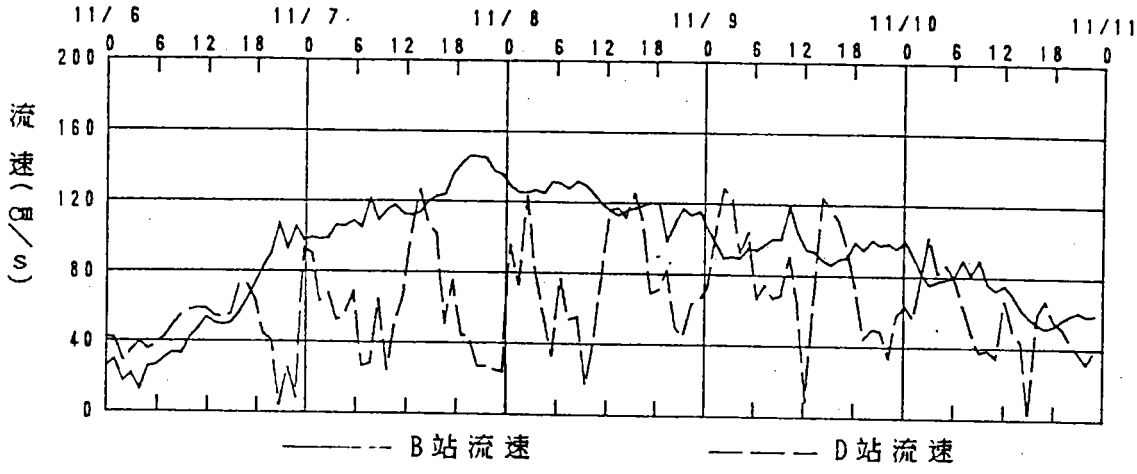
新　竹　漁　港			
No.	分潮名稱	振　幅（m）	相　角（°）
1	S_a	0.1818	135.369
2	S_{sa}	0.0691	205.405
3	M_m	0.0092	－193.812
4	M_{sf}	0.0240	－301.892
5	M_f	0.0144	149.694
6	Q_1	0.0276	306.978
7	ρ_1	0.0155	87.625
8	O_1	0.1703	－49.384
9	M_1	0.0143	68.372
10	P_1	0.0529	－145.515
11	K_1	0.1990	120.619
12	ϕ_1	0.0163	358.799
13	O_1	0.0210	113.079
14	J_1	0.0239	85.653
15	SO_1	0.0143	134.288
16	$2N_2$	0.0799	272.588
17	N_2	0.1713	187.102
18	OP_2	0.2300	167.314
19	M_2	1.2443	229.429
20	MKS_2	0.0486	291.287
21	λ_2	0.1489	－8.947
22	S_2	0.4982	－82.323
23	K_2	0.0585	34.488
24	M_4	0.0154	50.922
25	MS_4	0.0086	76.390



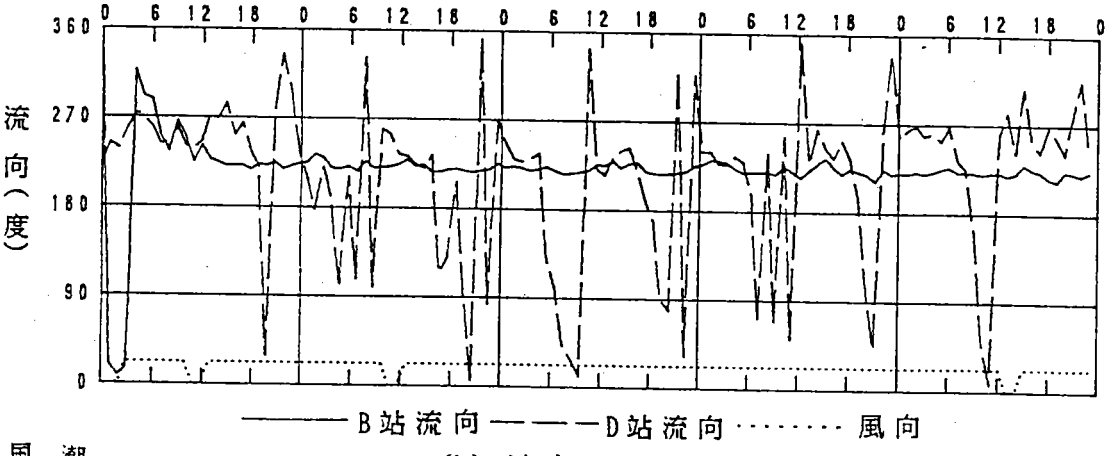
計畫名稱	觀測單位	測站代號	測站水深	儀器水深	觀測時間
中油 LNG	港研所	B	27	7	70.11. 5.12-11.13.13 70.11.19.17-12. 9.11 71. 4.30.14- 5. 2.22
		C	29	7	71. 5. 3.18- 5.17. 6 70.11.19.17-12. 4. 8 71. 4.29.14- 5.13.10
計畫		D	9	3	70.11. 5.13-11.16.11
港研所	港研所	D2	8	3	72. 3.21.18- 4. 3. 8
		D3	7.5	3	72. 3.21.18- 4. 1.12
		N1	11	3	71. 5. 5.11- 5. 5.15
		N2	20	4	71. 5. 5.11- 5. 5.16
		N3	26	4	71. 5. 5.12- 5. 5.16
		S1	14	4	71. 5.10.12- 5.11.10
		S2	13	4	71. 5.10.14- 5.11.14
		S3	7.5	3	71. 5.10.15- 5.11.15
基本研究		W1	50	5	71. 8.20.10- 8.21.11
台中火力	台大	Atp	20	10	73. 8.26.14-10. 8.10
			20	15	73. 8.25.14- 9.18.10
		Btp	20	10	73. 8.26.14- 9.18.10
		Dtp	10	10	73. 9.18.15-10. 9.10
台中港口	港研所	BU	20	4	75. 1.16.15- 2.25.14 75. 3. 7.13- 4. 3.13 75. 4. 4.13- 4.23.11 75.12. 2.11- 1. 6. 2
		BD	20	18	75. 1.15.15- 2.25.14 75. 3. 7.13- 4. 3.13 75. 4. 4.13- 4.23.11
		C'	22	4	75. 3.11.11- 4. 2. 1 75. 1.29.14- 3. 6.16
		D'	18	4	75. 3. 8.10- 4. 3.12 75. 4. 8.12- 4.23.13
		E	4	2	74.12.27.13- 1.18.11
		F	8		75. 1. 3.12- 1. 5.23
		S	15	4	75. 4. 8.13- 4.23.12
		G	25	4	76. 3. 6.12- 3.24.11
煩建評估		H	17	4	76. 3. 5.12- 3.24. 9

圖4-2-1　台中港往昔之海象調查點位置及期間

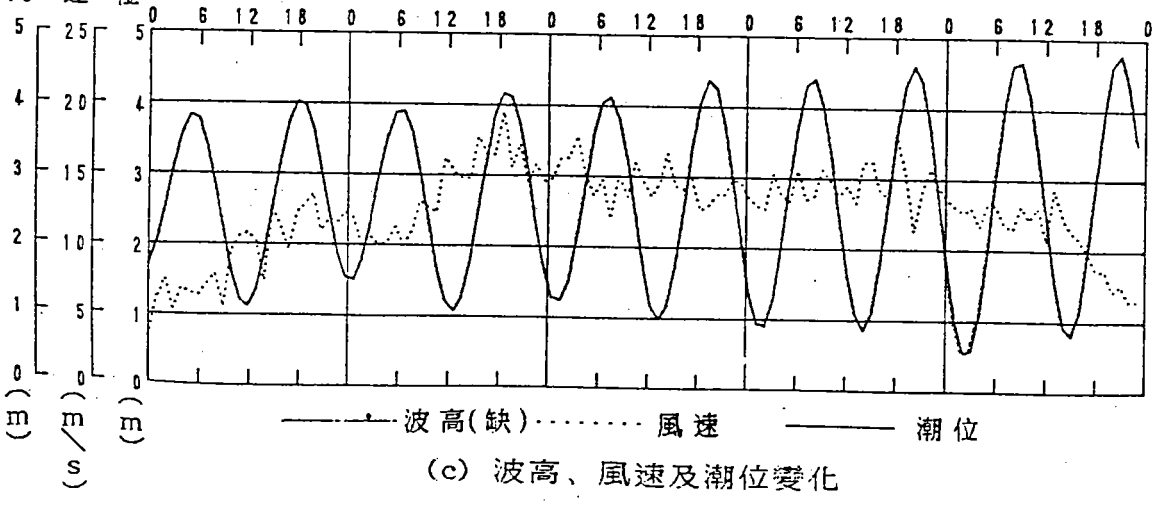
（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）



(a) B、D站流速變化



(b) 流向及風向變化

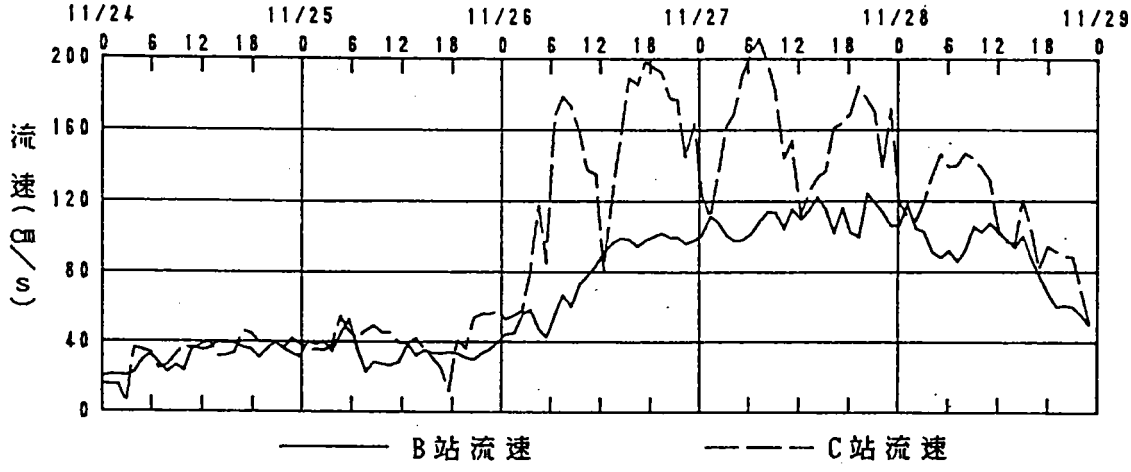


(c) 波高、風速及潮位變化

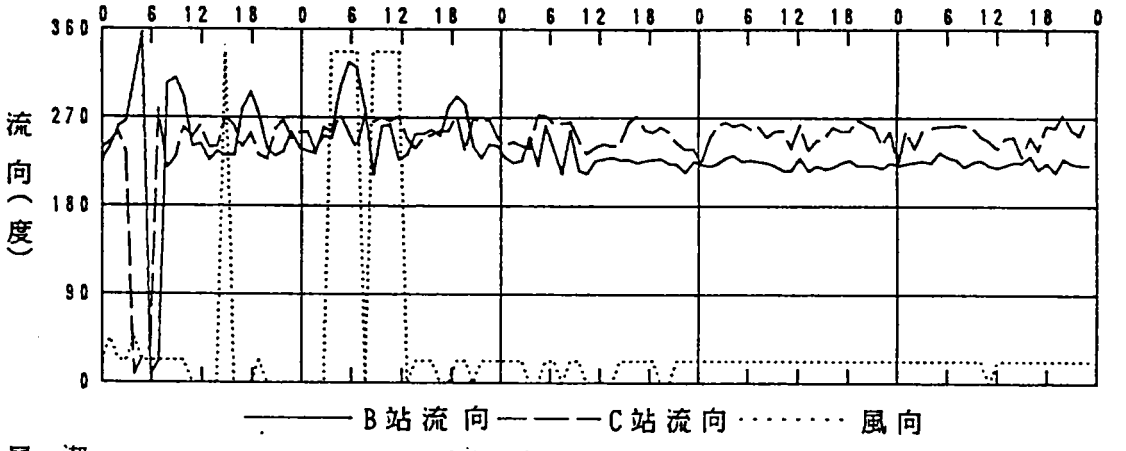
圖4-2-2 台中港B, D站流況及波浪、潮位、風力變化

(民國70/11/6~70/11/11)

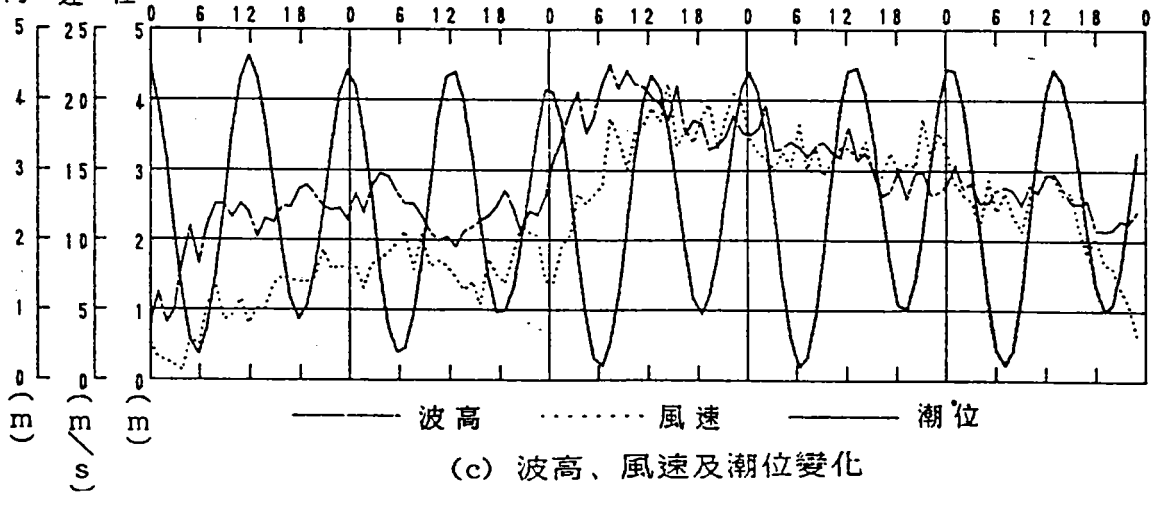
(資料來源：中華顧問工程司，民國77年)



(a) B、C站流速變化



(b) 流向及風向變化

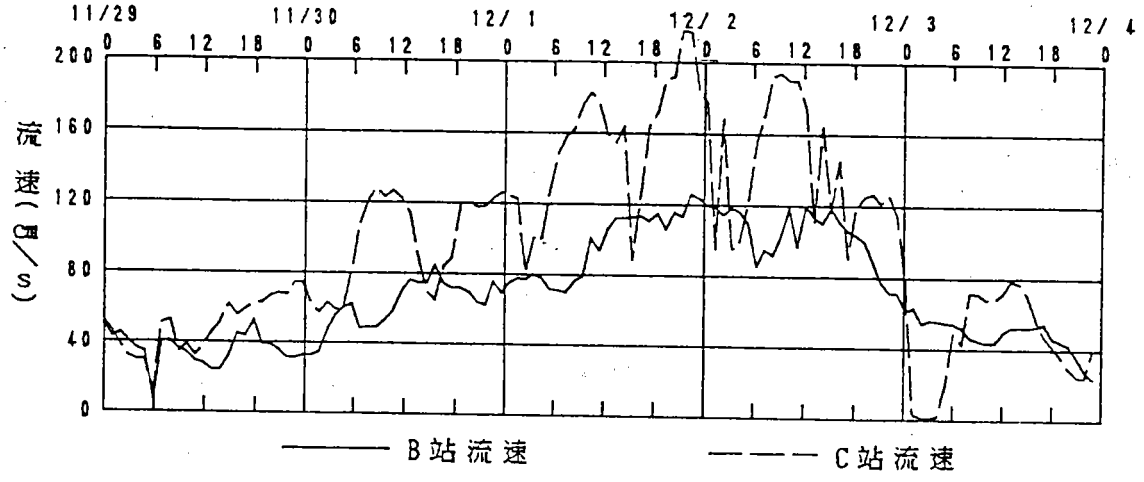


(c) 波高、風速及潮位變化

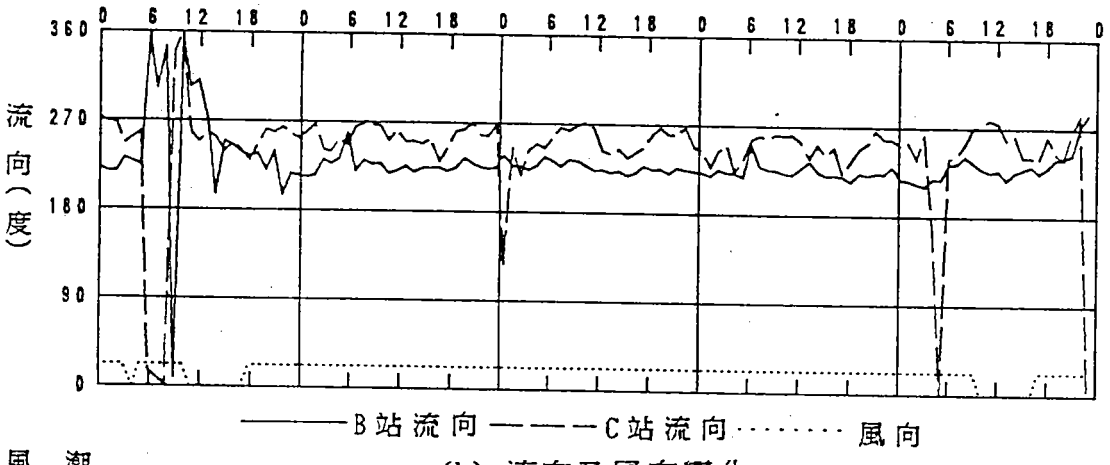
圖4-2-3 台中港B,C站流況及波浪、潮位、風力變化

（民國70/11/24-70/11/29）

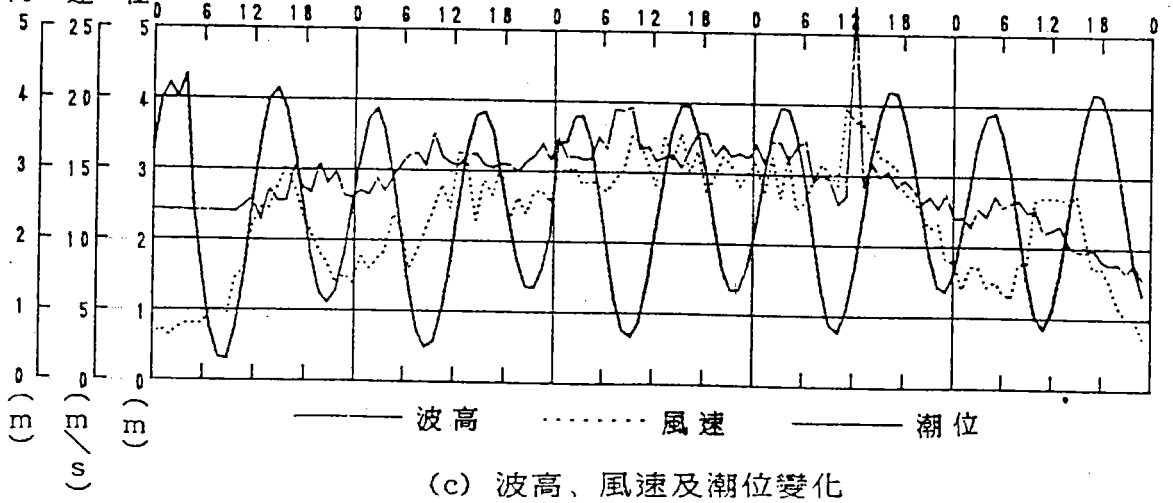
（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）



(a) B、C站流速變化



(b) 流向及風向變化

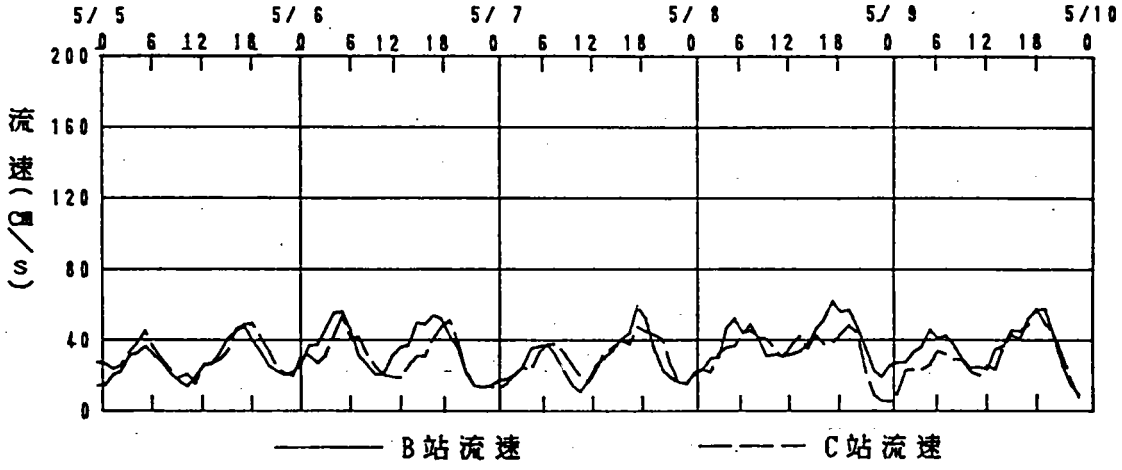


(c) 波高、風速及潮位變化

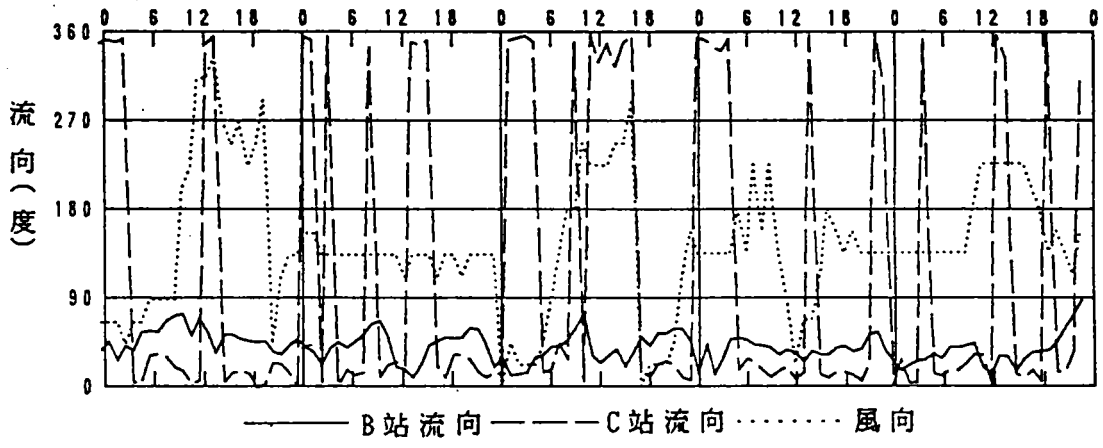
圖4-2-3(續) 台中港B,C站流況及波浪、潮位、風力變化

(民國70/11/29~70/12/4)

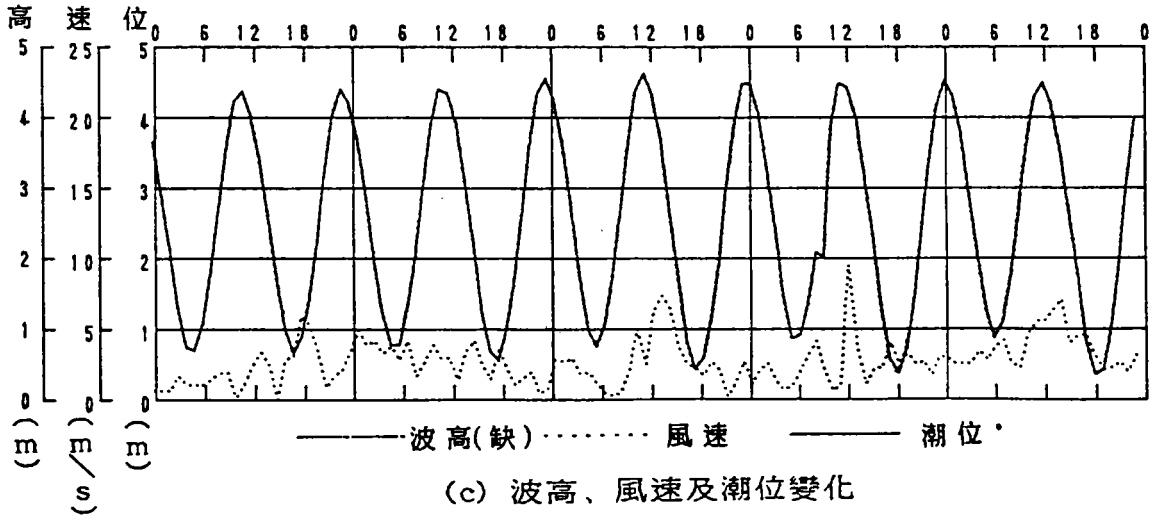
(資料來源：中華顧問工程司，民國77年)



(a) B、C站流速變化



(b) 流向及風向變化

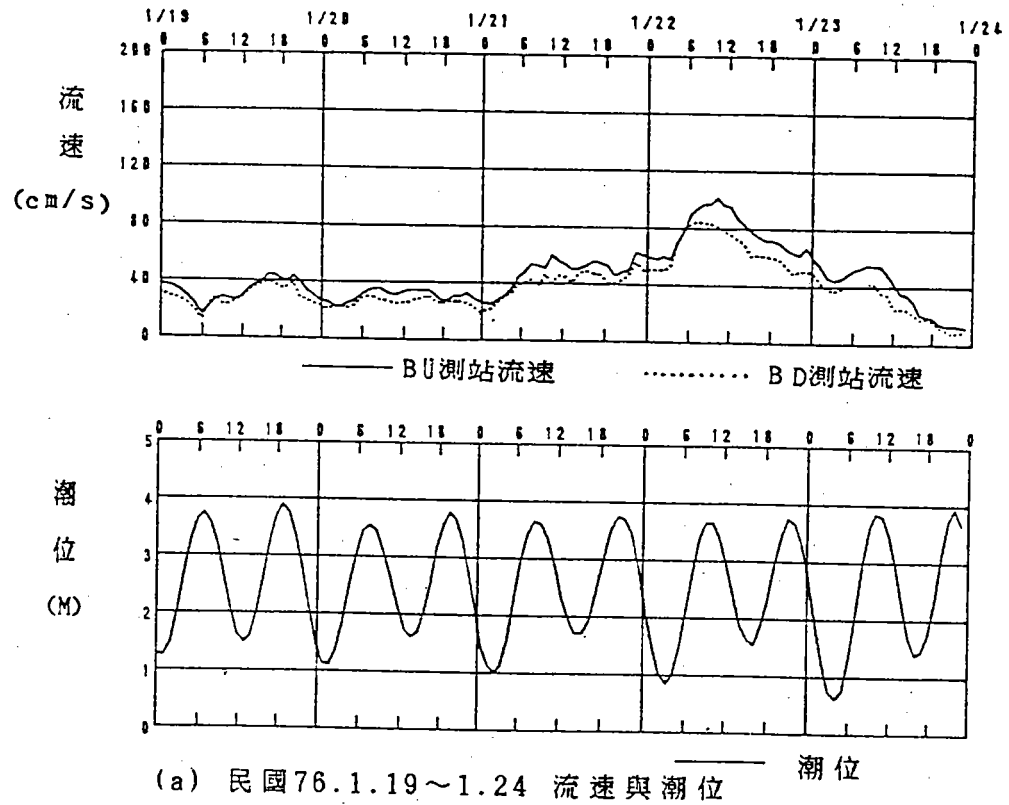


(c) 波高、風速及潮位變化

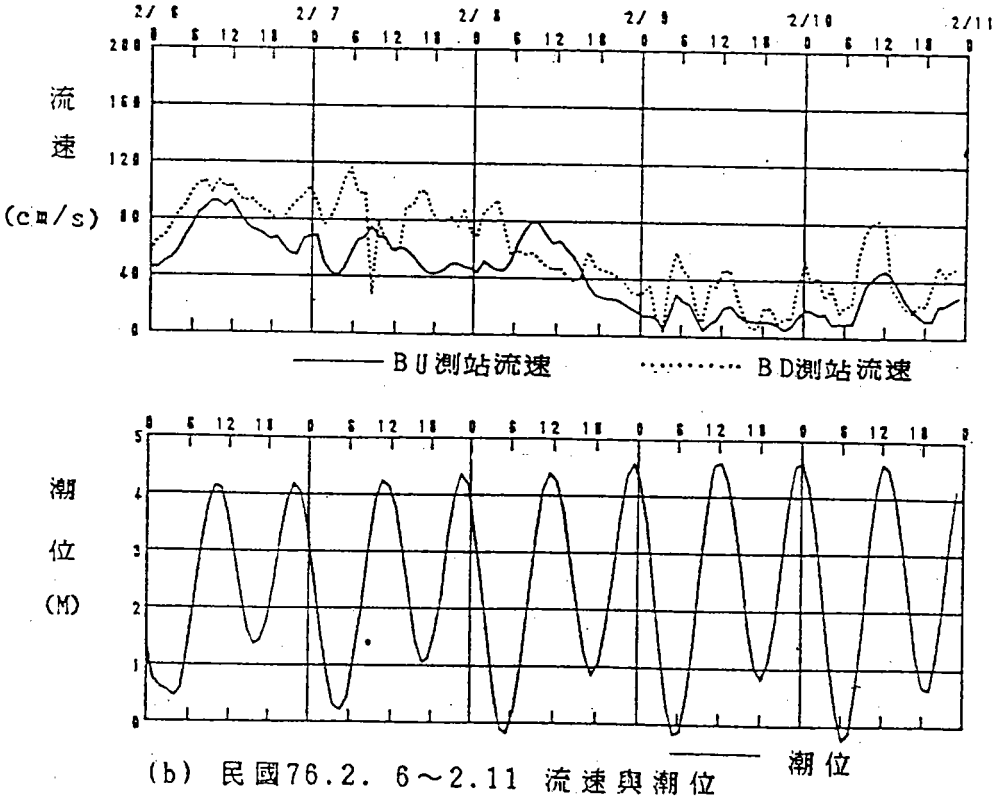
圖4-2-4 台中港B,C站流況及波浪、潮位、風力變化

(民國71/5/5~71/5/10)

(資料來源：中華顧問工程司，民國77年)



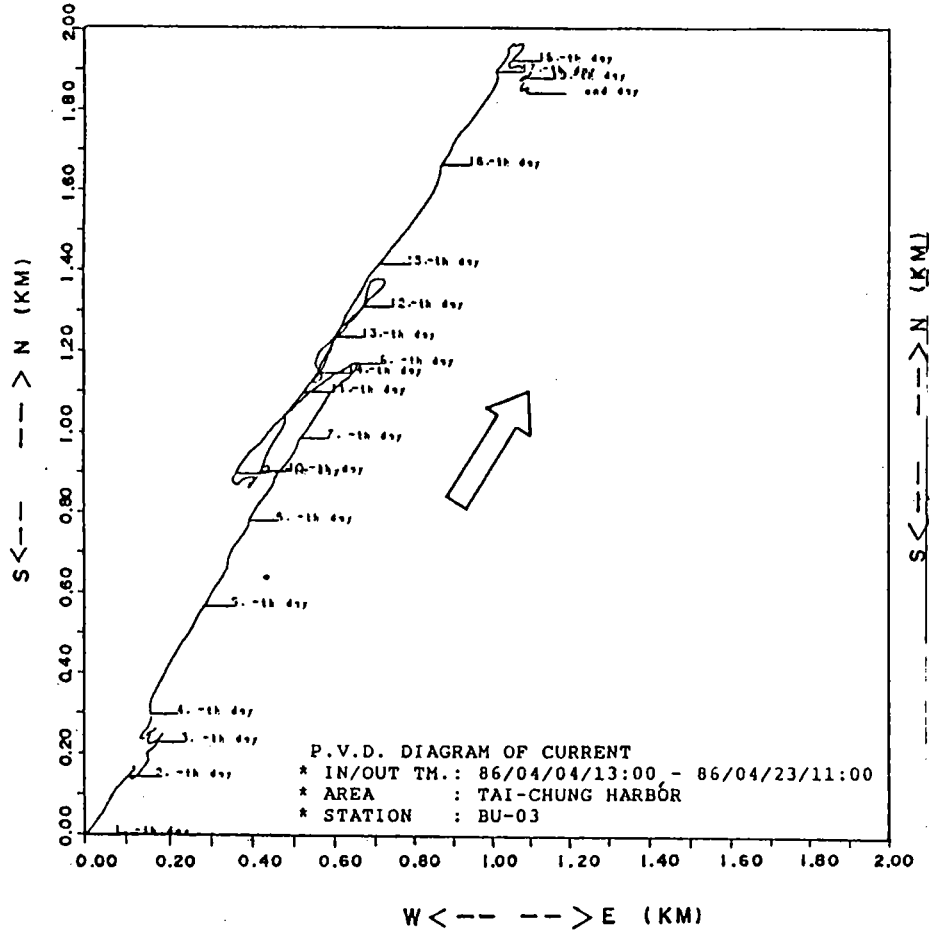
(a) 民國76.1.19～1.24 流速與潮位



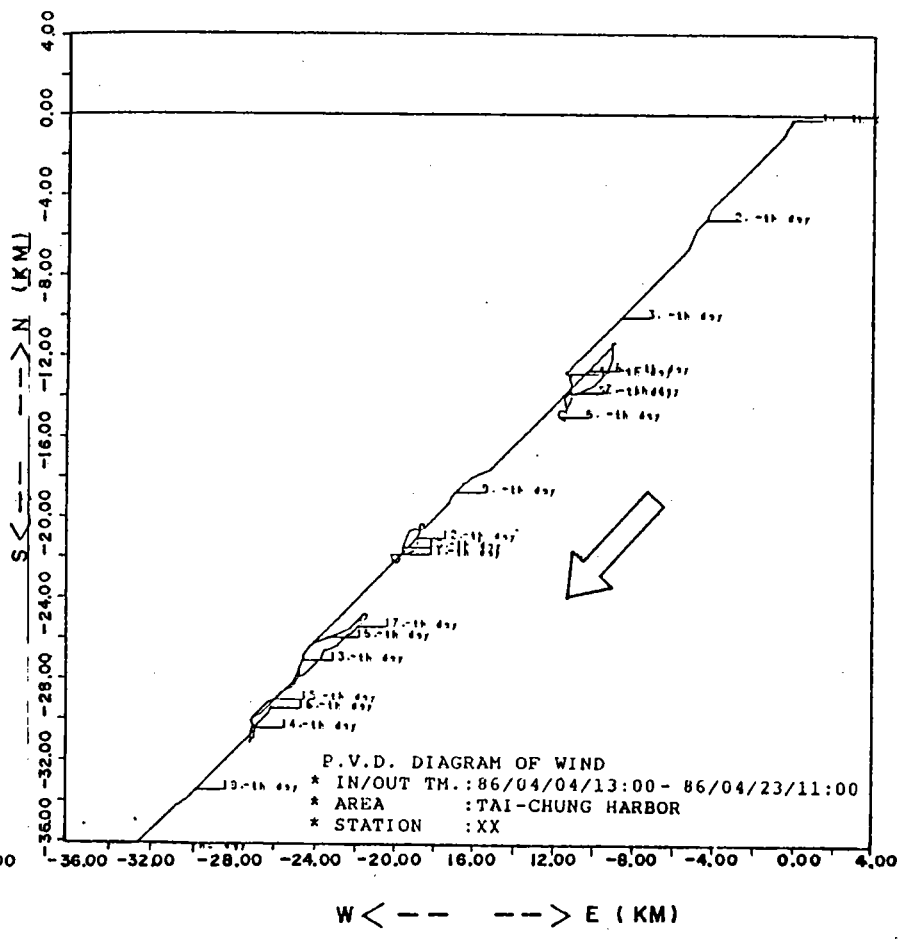
(b) 民國76.2. 6～2.11 流速與潮位

圖4-2-5 BU及BD測站流速與潮位變化圖

(資料來源：中華顧問工程司，民國77年)



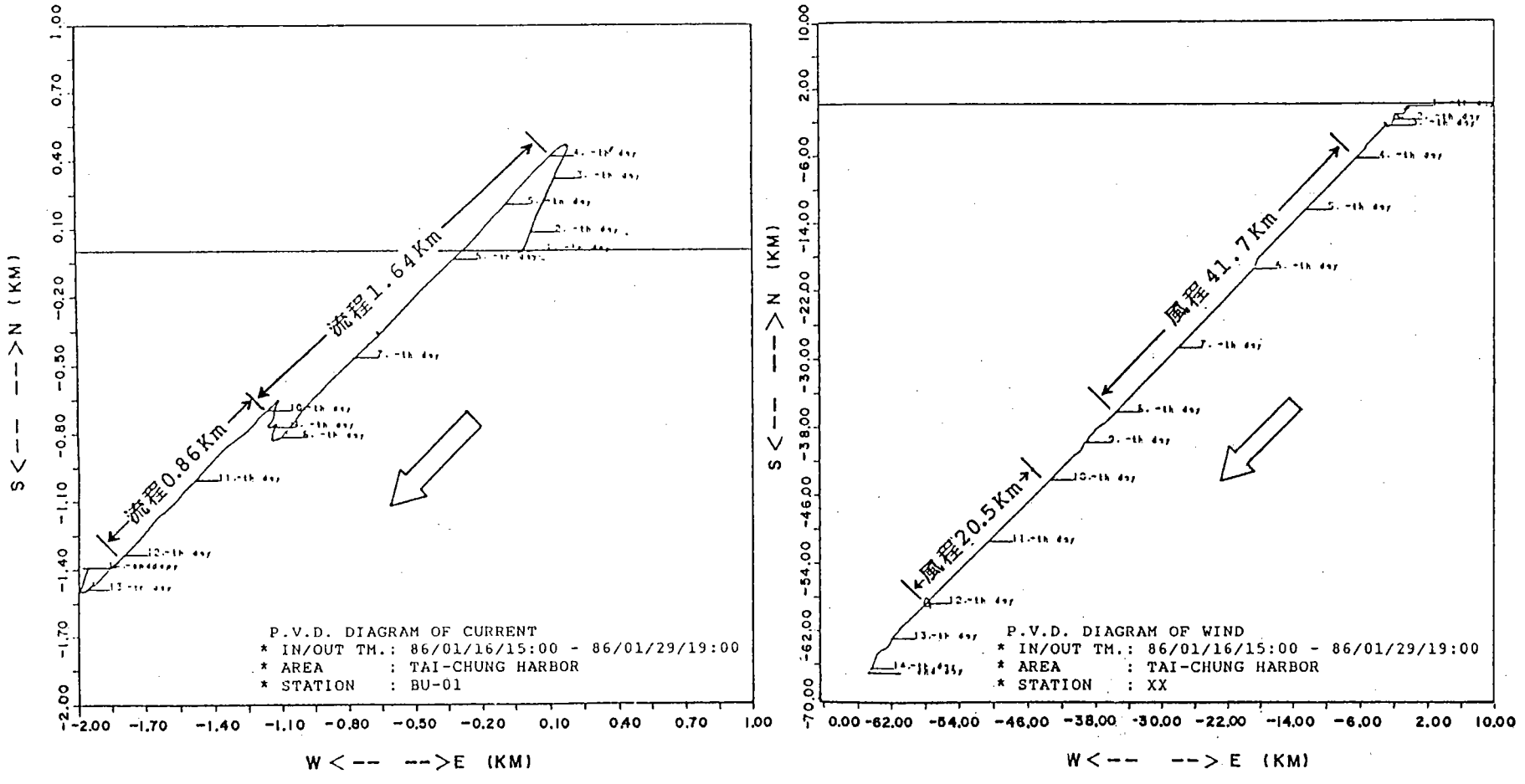
(a) 夏季海流行徑



(b) 夏季風行徑

圖4-2-6 台中海域夏季海流及風向量行徑

（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）



(b) 冬季海流行徑　　(a) 冬季風行徑

圖4-2-7　台中海域冬季海流及風向量行徑

（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）

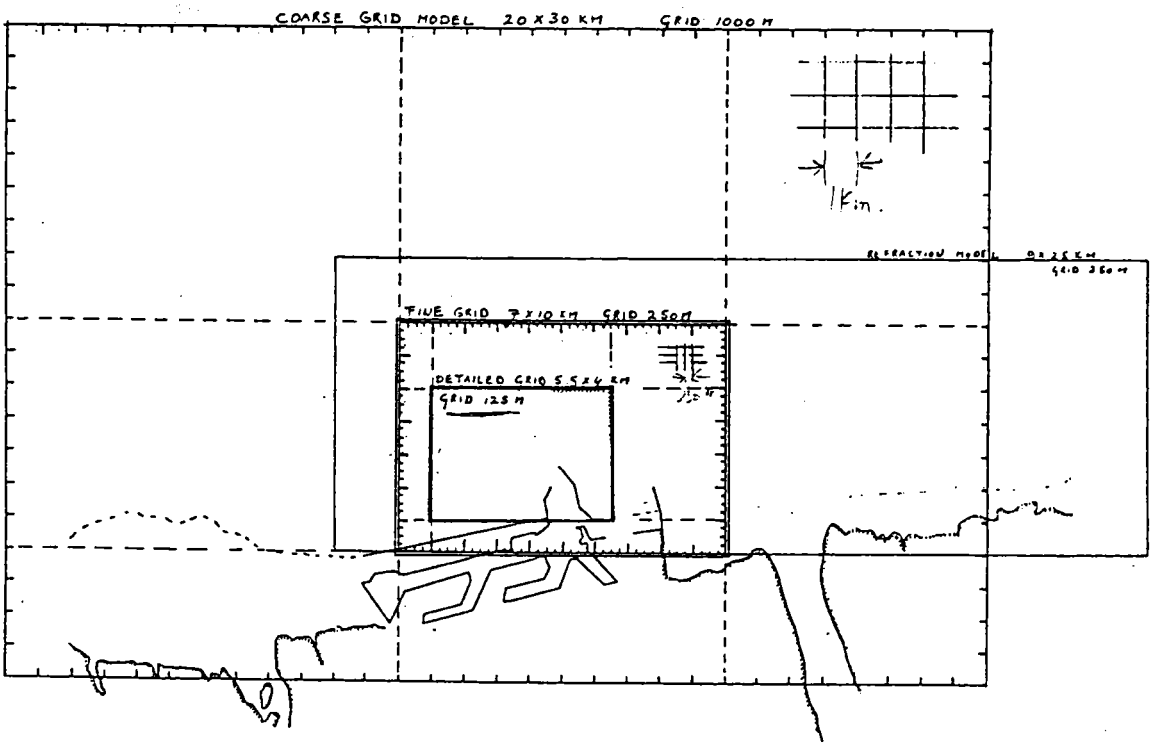
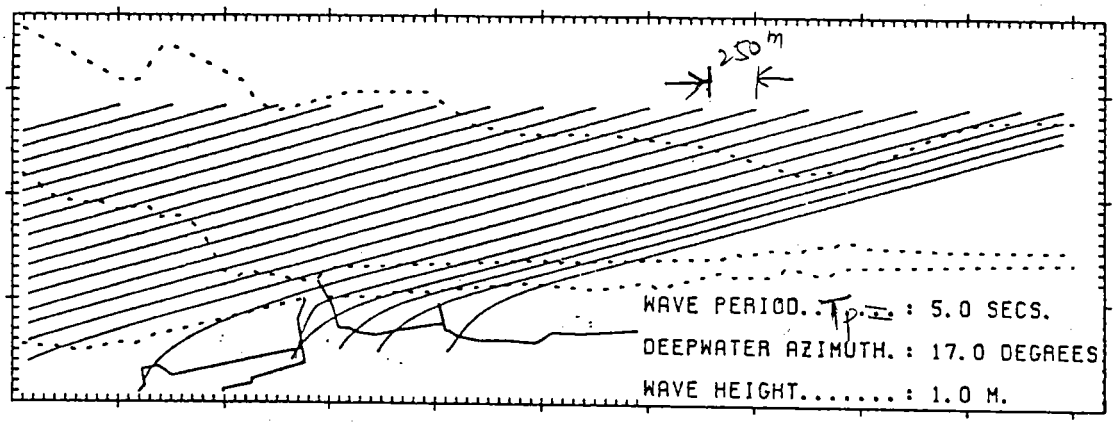
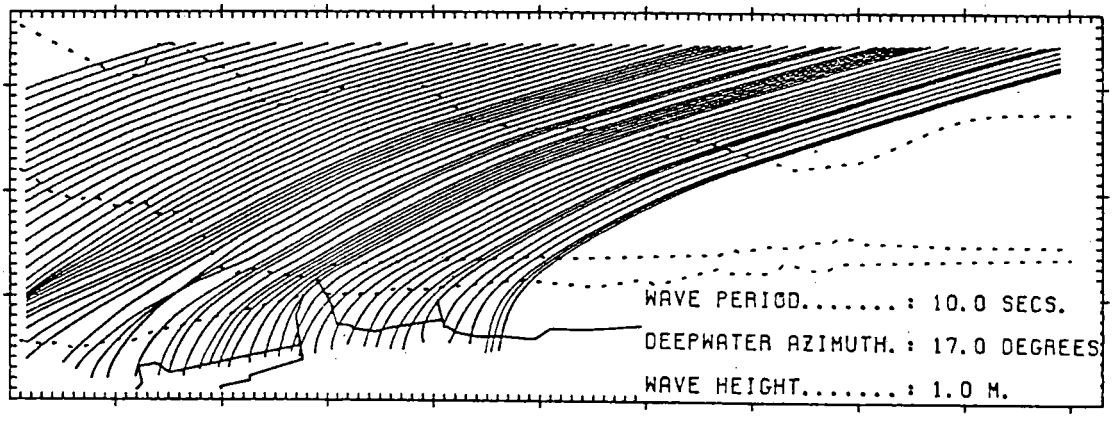


圖4-3-1 各種計算網格涵蓋範圍圖

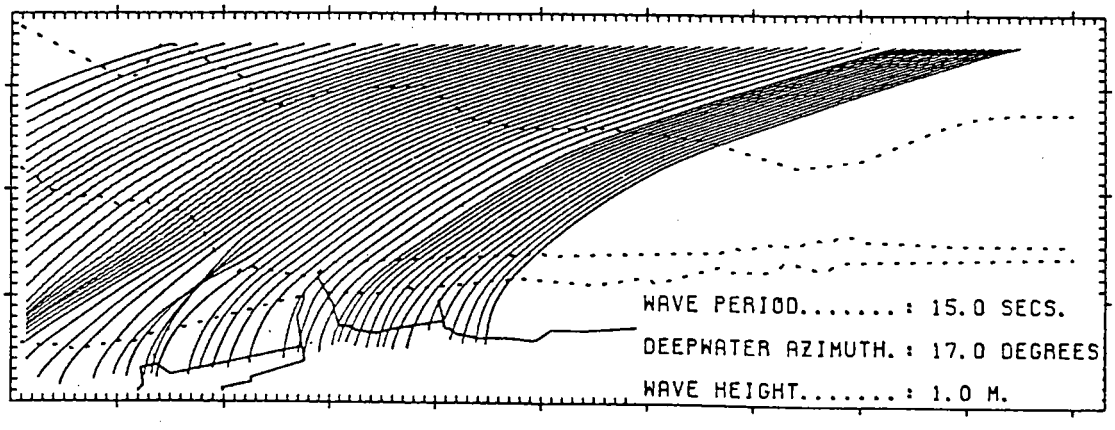
（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）



(a)



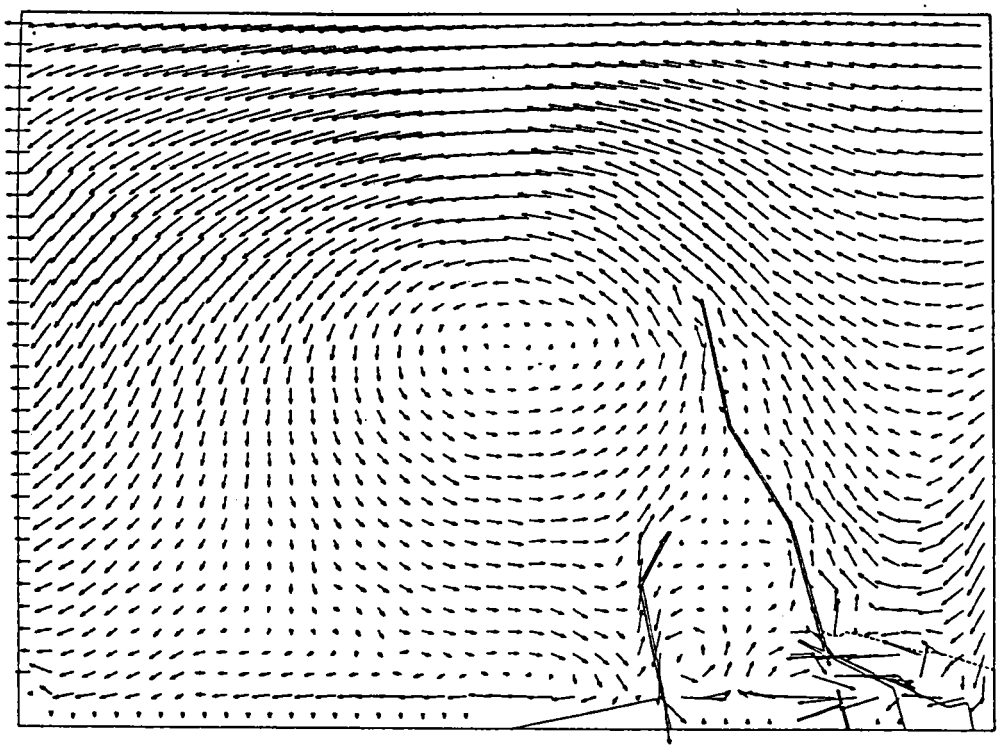
(b)



(c)

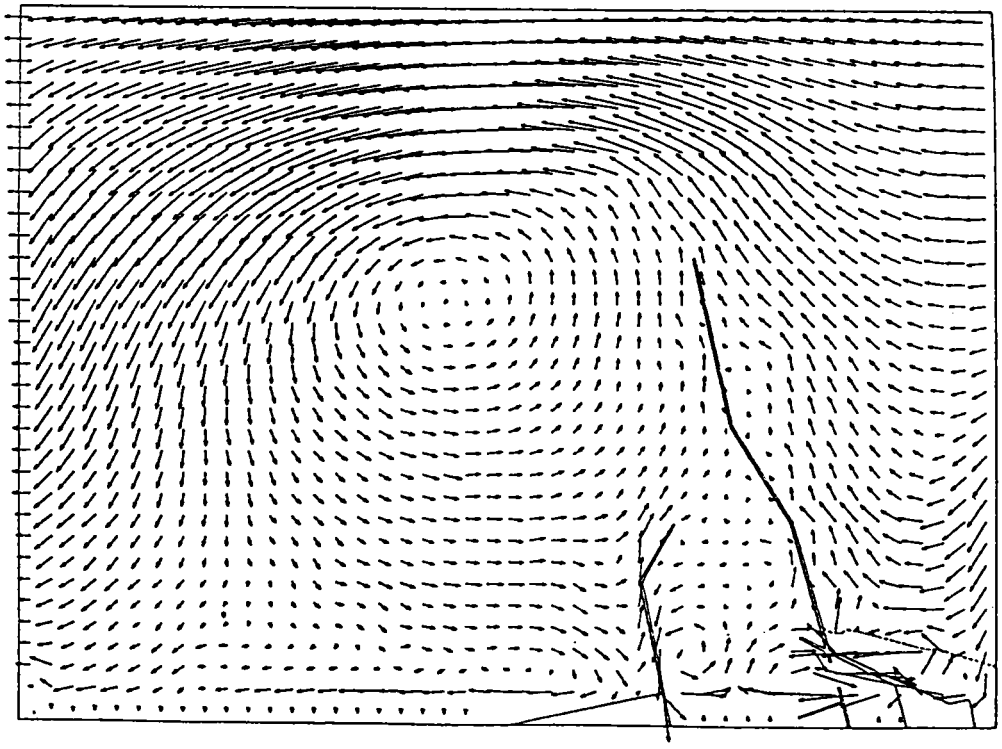
圖4-3-2　台中港波浪折射圖

（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）



(i)

TAI-CHUNG HARBOUR - SCHEME IV	T = 1.00	1.00 M/SEC
ENVIRONMENTAL CONDITION -B-	SCALE 1 : 20000	
PAC ENGINEERING INC.		



(j)

TAI-CHUNG HARBOUR - SCHEME V	T = 1.00	1.00 M/SEC
ENVIRONMENTAL CONDITION -B-	SCALE 1 : 20000	
PAC ENGINEERING INC.		

圖4-3-3　台中港港口擴建方案流況計算結果

（資料來源：中華顧問工程司，民國77年）

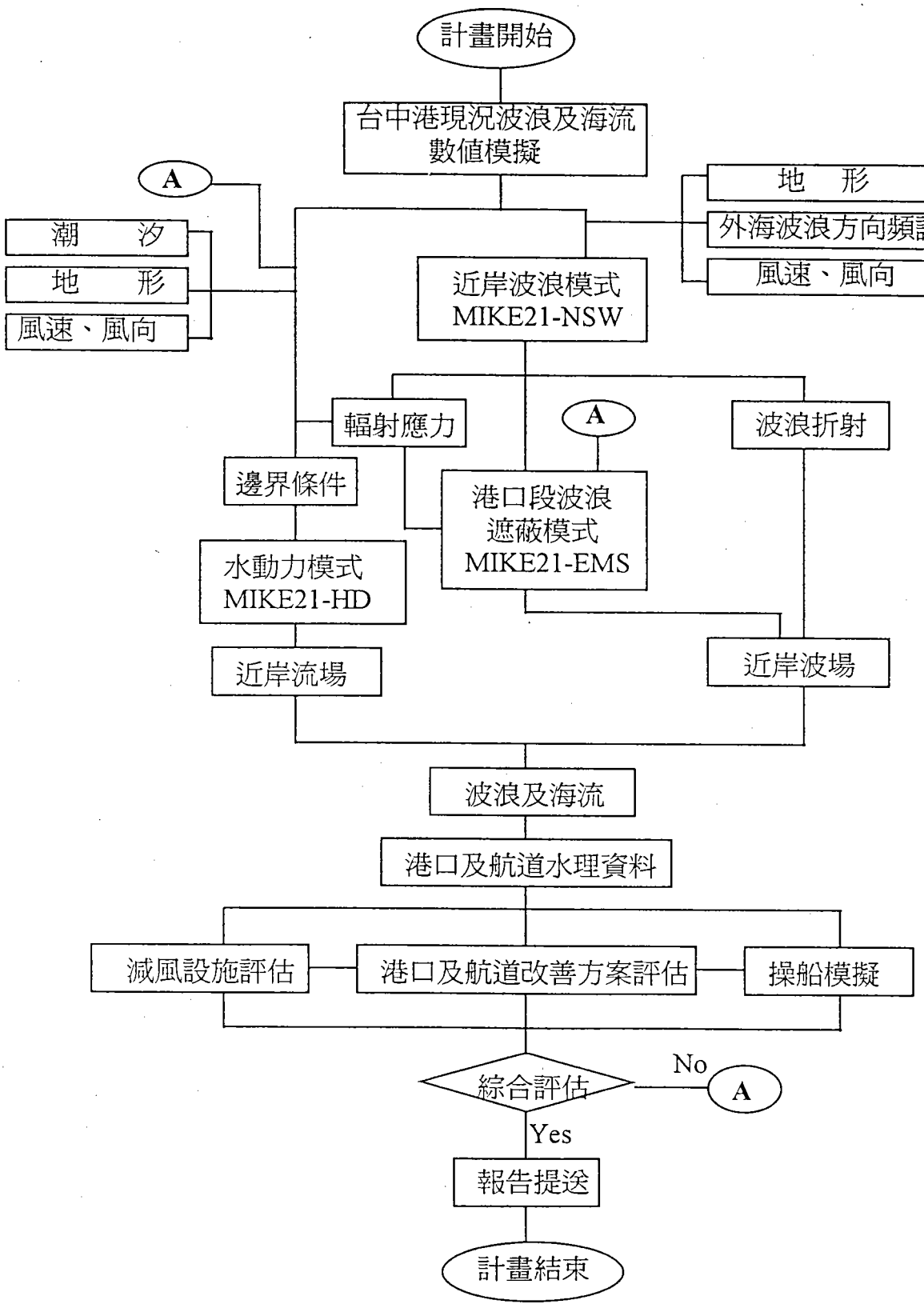


圖4-4-1　波浪及海流數值模擬流程圖

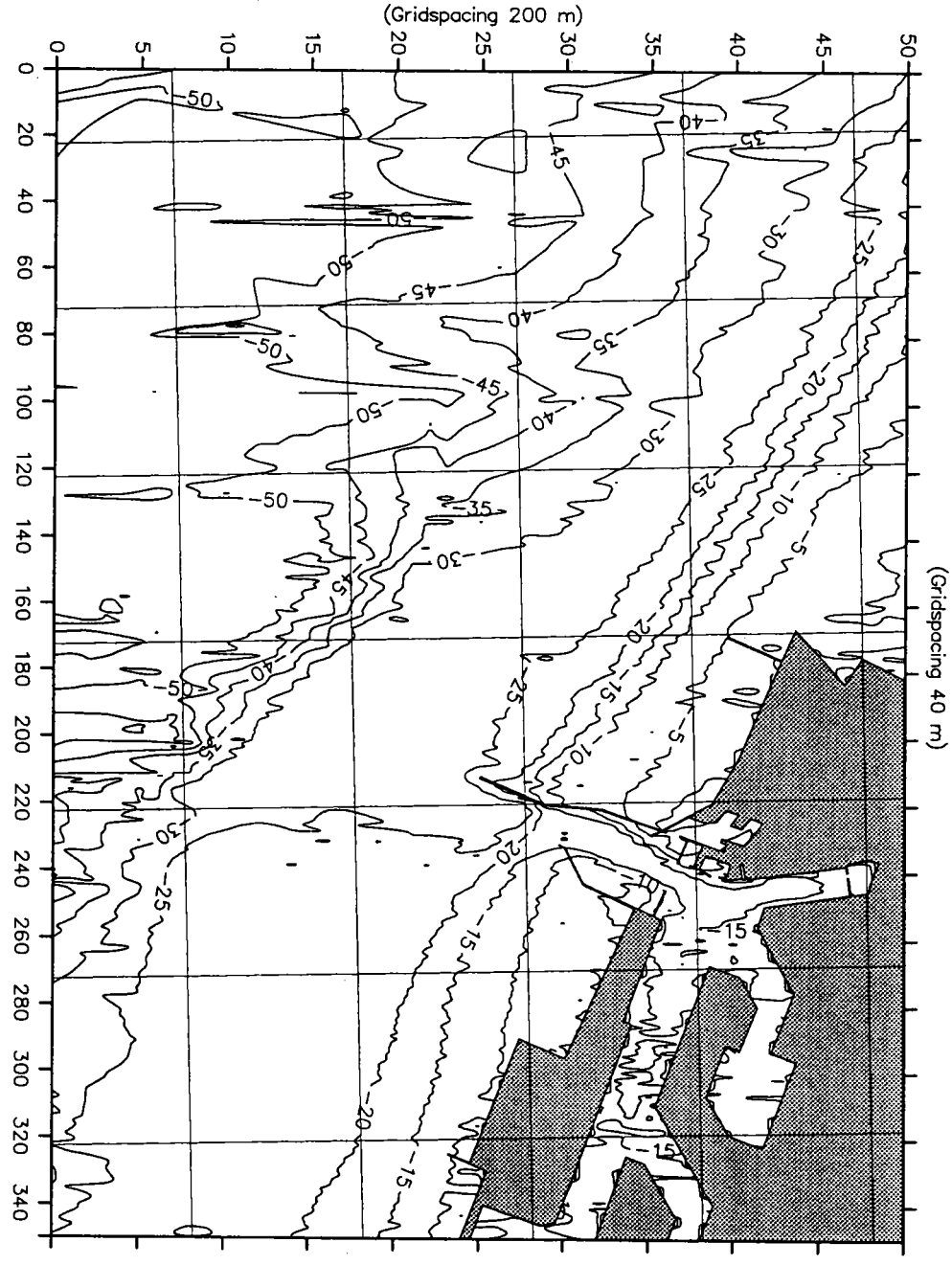


圖4-5-1　近岸波場之大域計算範圍

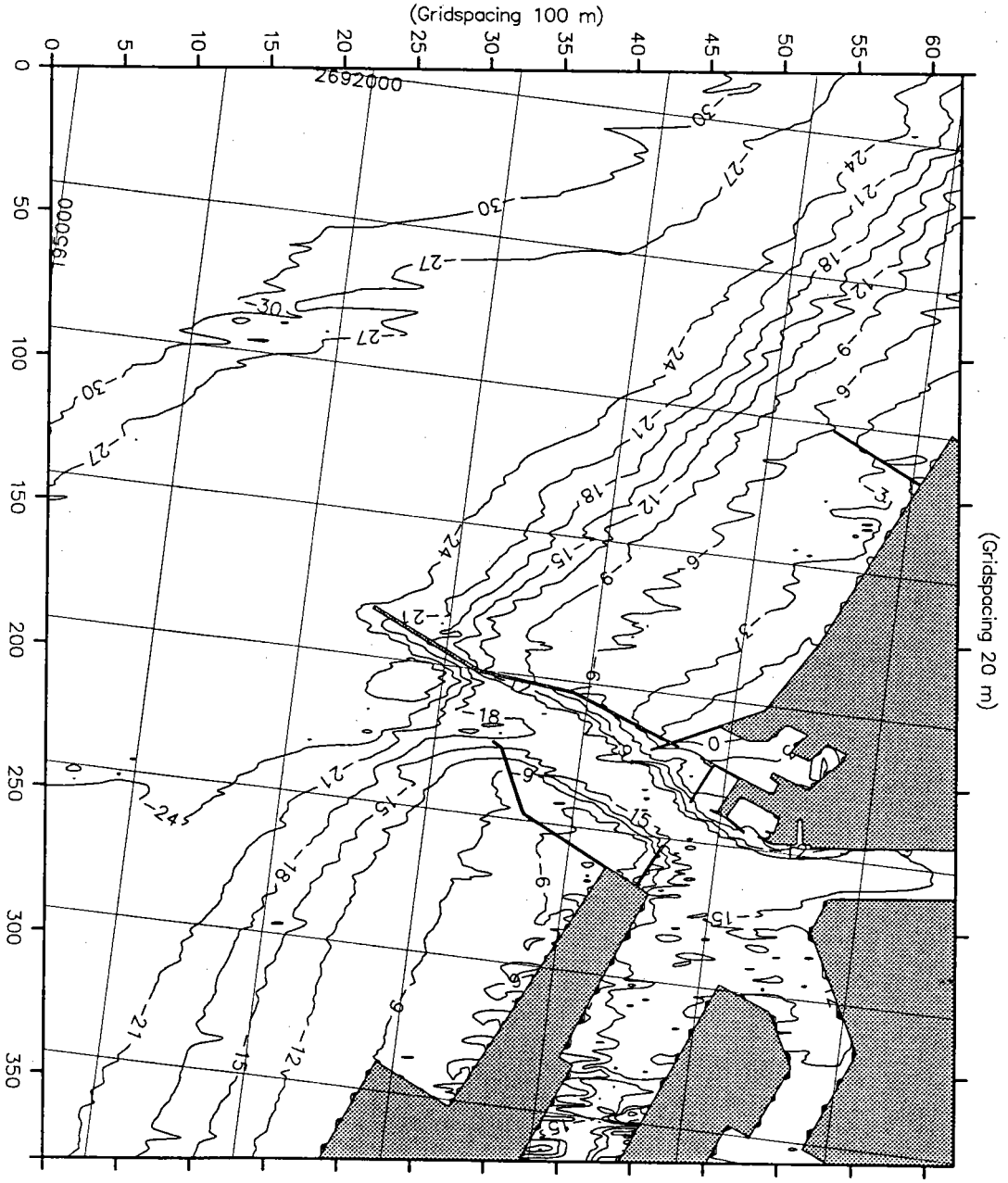


圖4-5-2　近岸波場之局部計算範圍

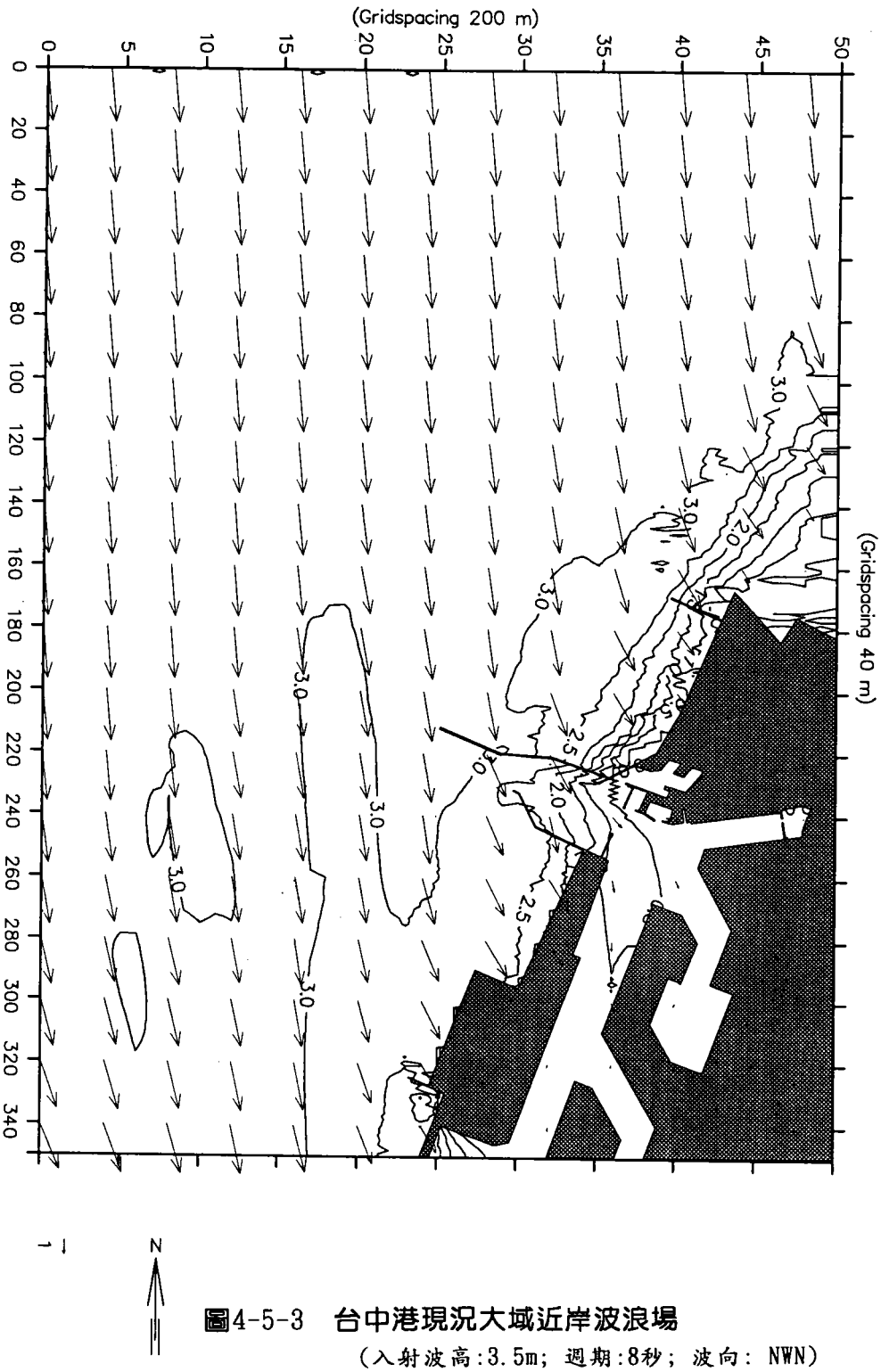


圖4-5-3　台中港現況大域近岸波浪場

（入射波高:3.5m; 週期:8秒; 波向: NWN）

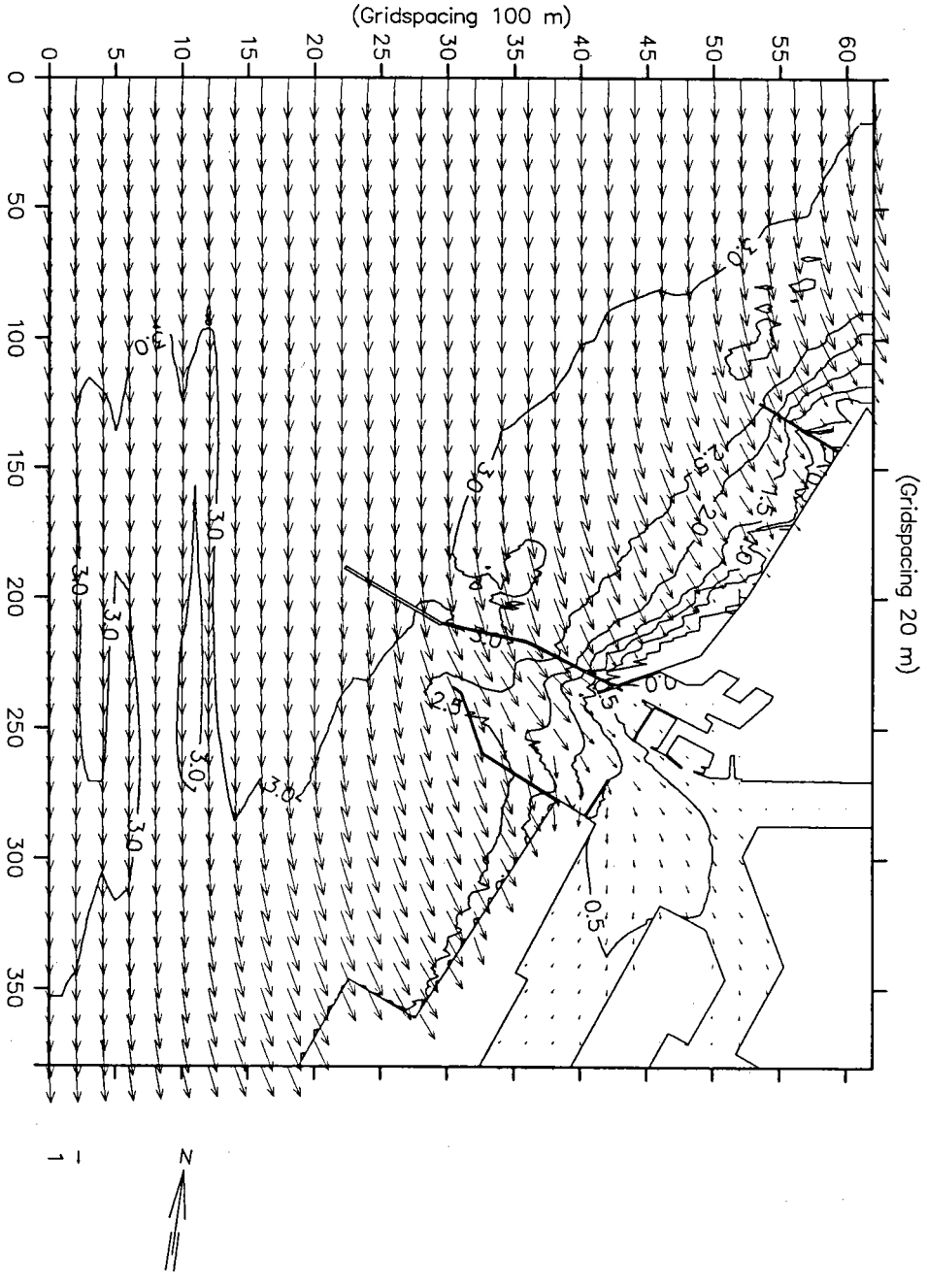


圖4-5-4　台中港現況局部區域近岸波浪場

（入射波高:3.5m；週期:8秒；波向：NWN）

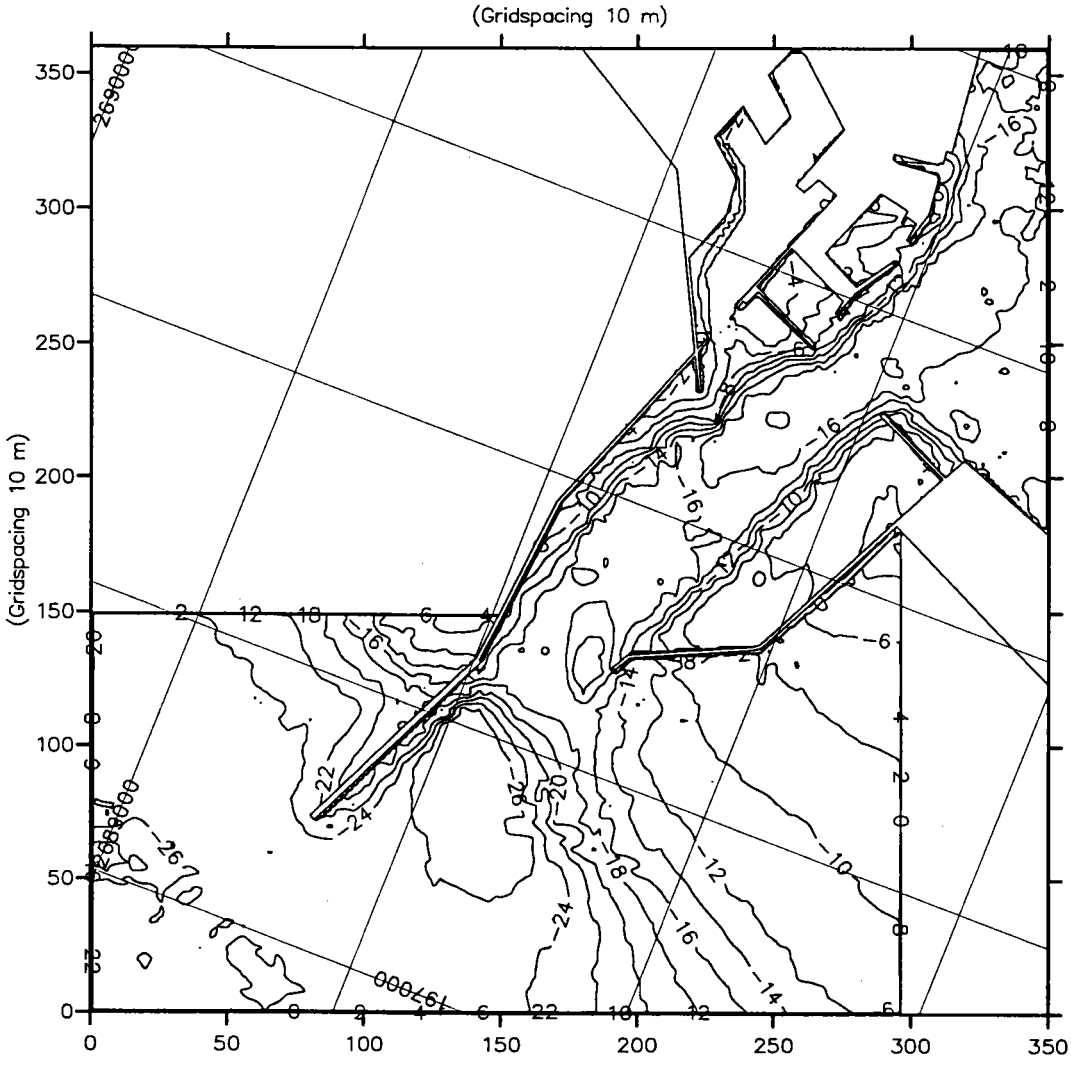


圖4-6-1　台中港現況港口遮蔽計算範圍

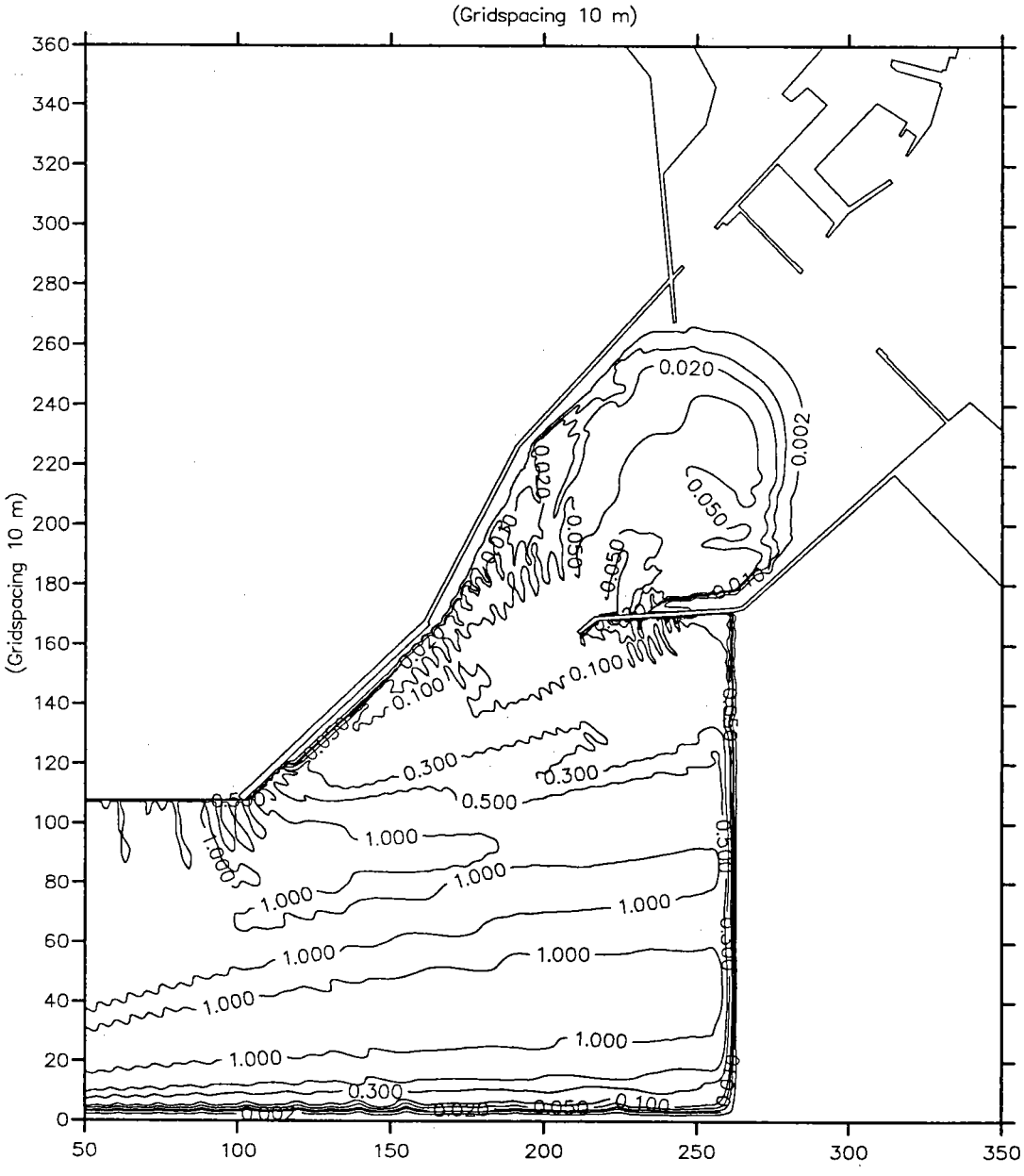


圖4-6-2a　台中港現況冬季經常性波浪週期8秒, NWN波向計算之Kd圖

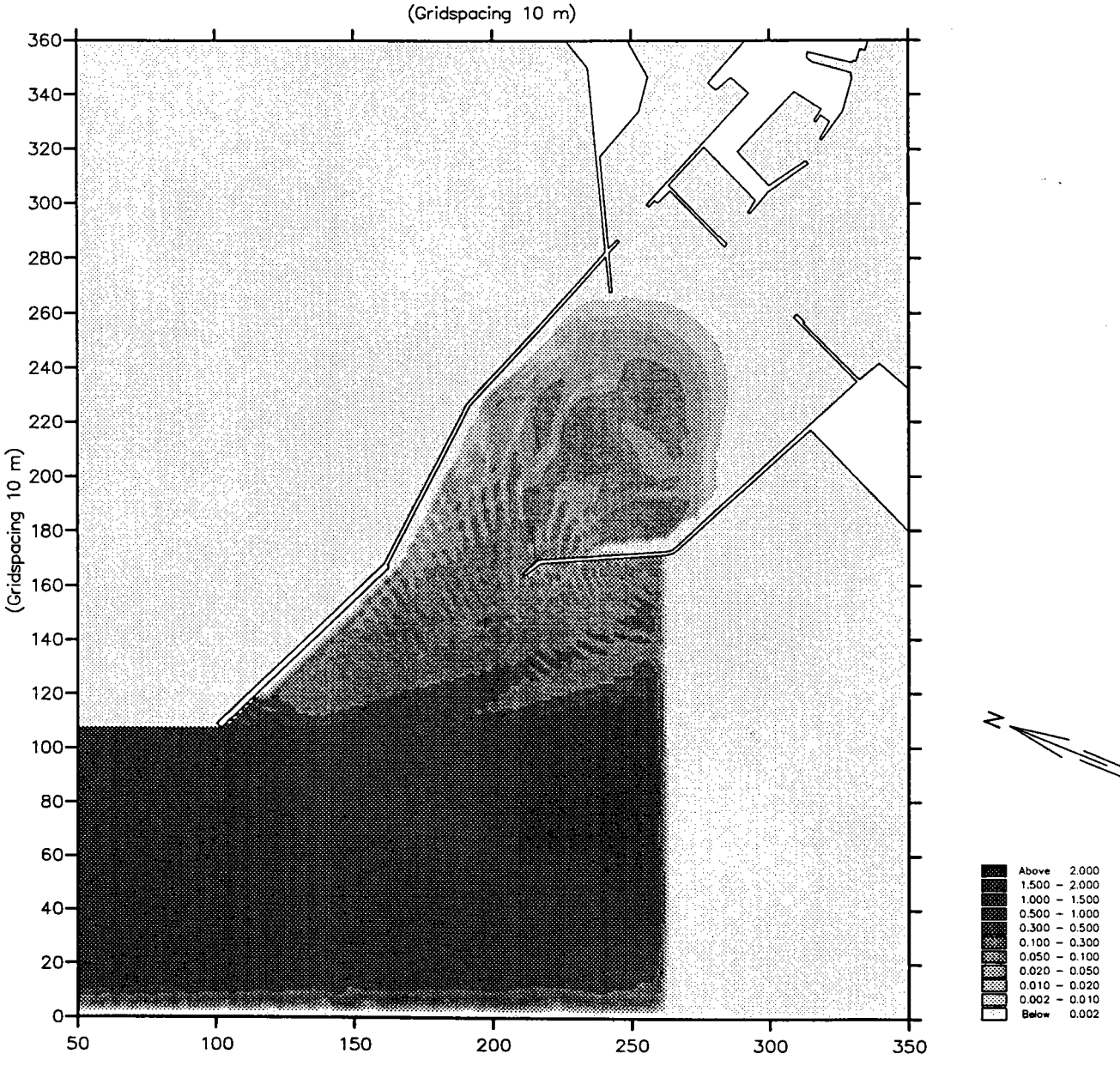


圖4-6-2b　台中港現況冬季經常性波浪週期8秒, NWN波向計算之Kd灰階圖

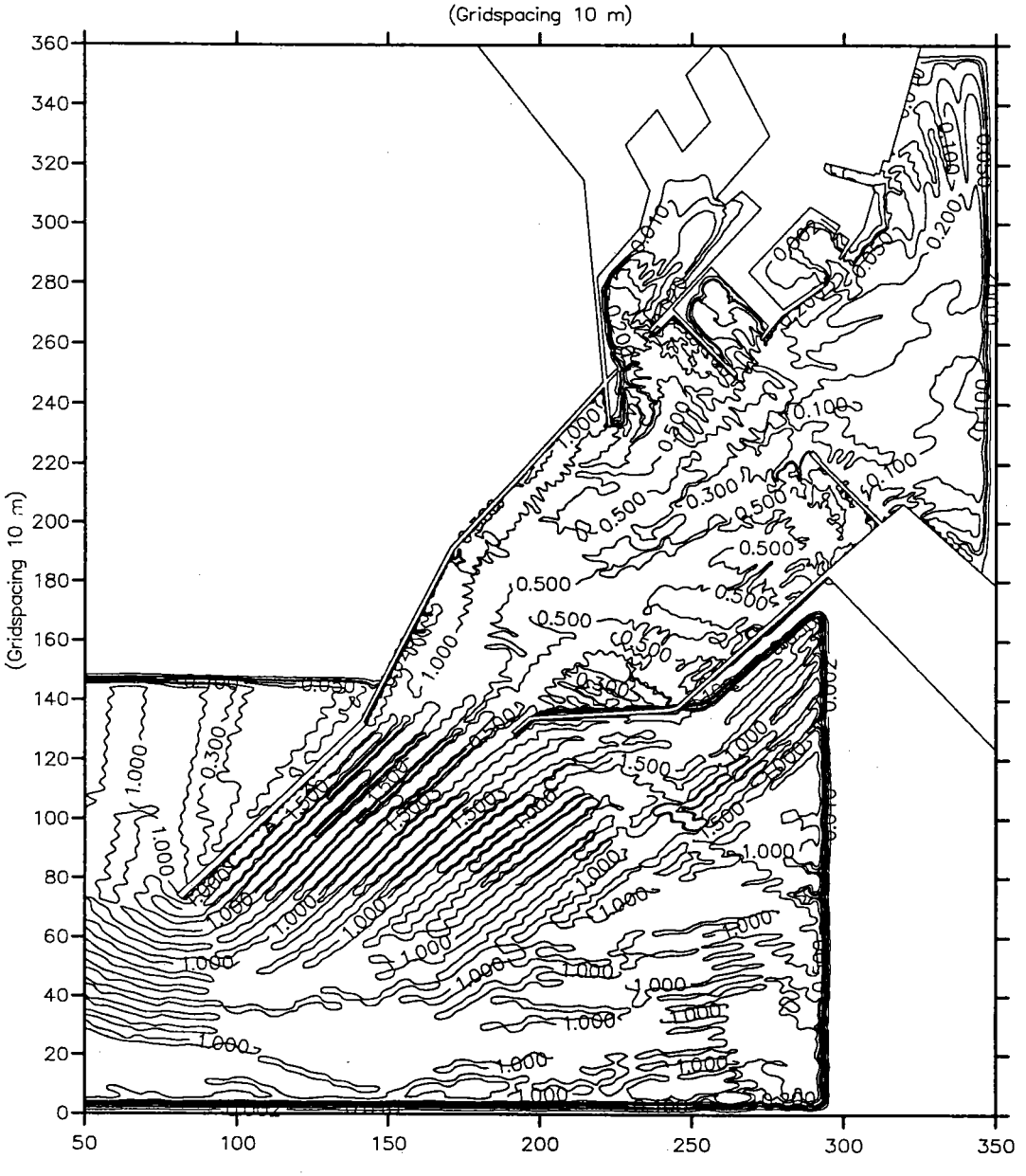


圖4-6-3a　台中港現況颱風波浪週期8秒，WSW波向計算之Kd圖

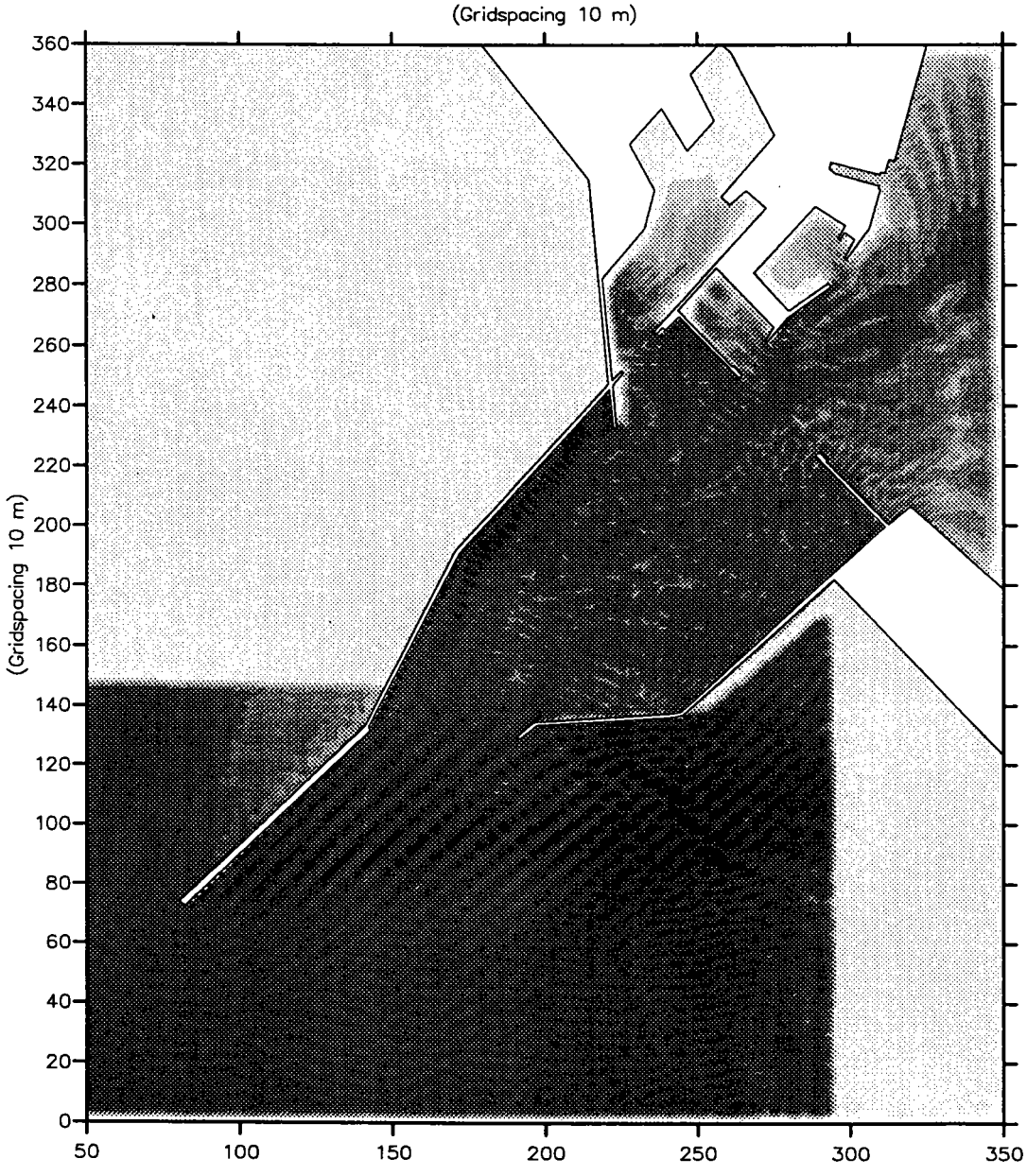


圖4-6-3b 台中港現況颱風波浪週期8秒，WSW波向計算之Kd灰階圖

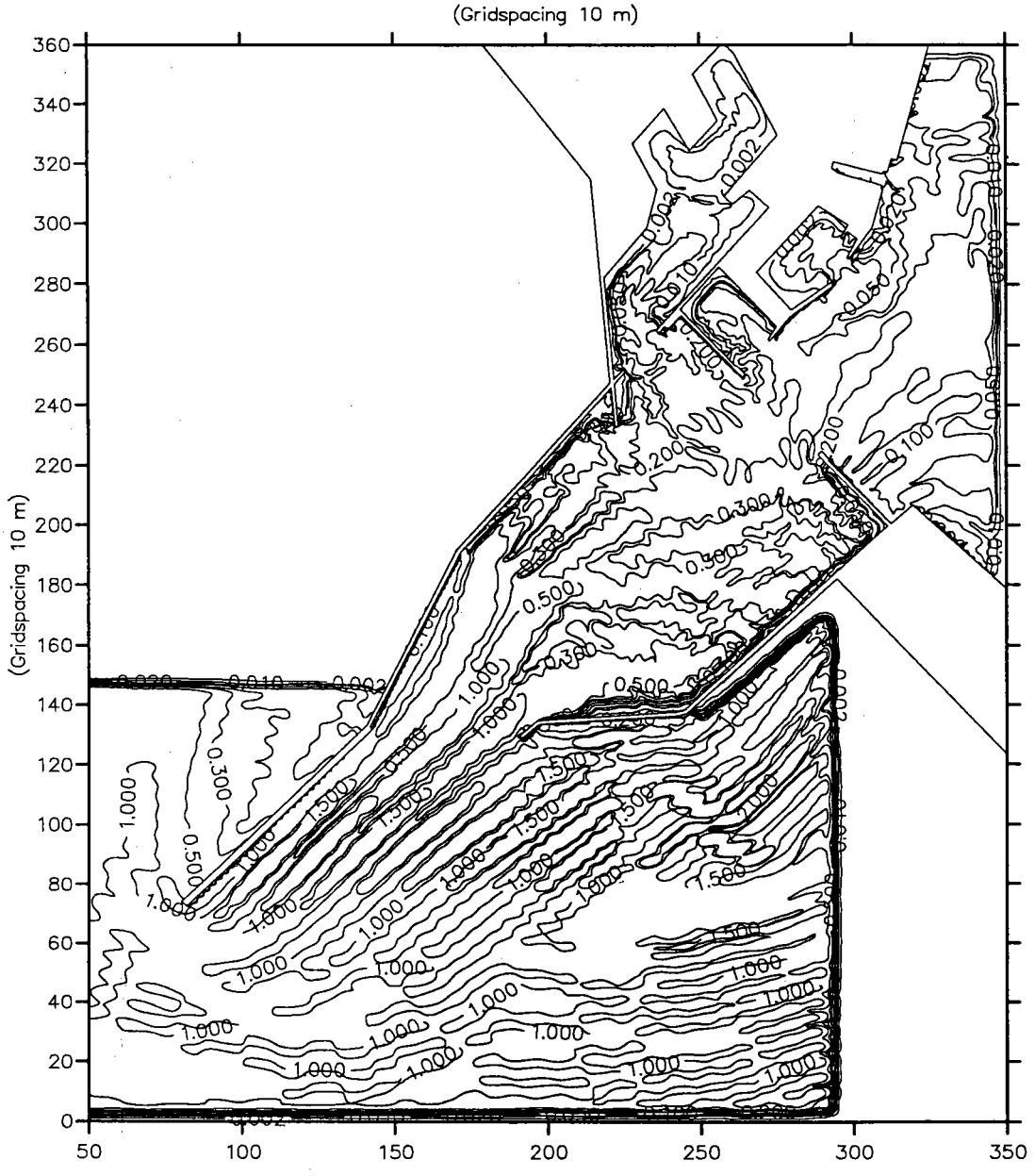


圖4-6-4a　台中港現況颱風波浪週期10秒，WSW波向計算之Kd圖

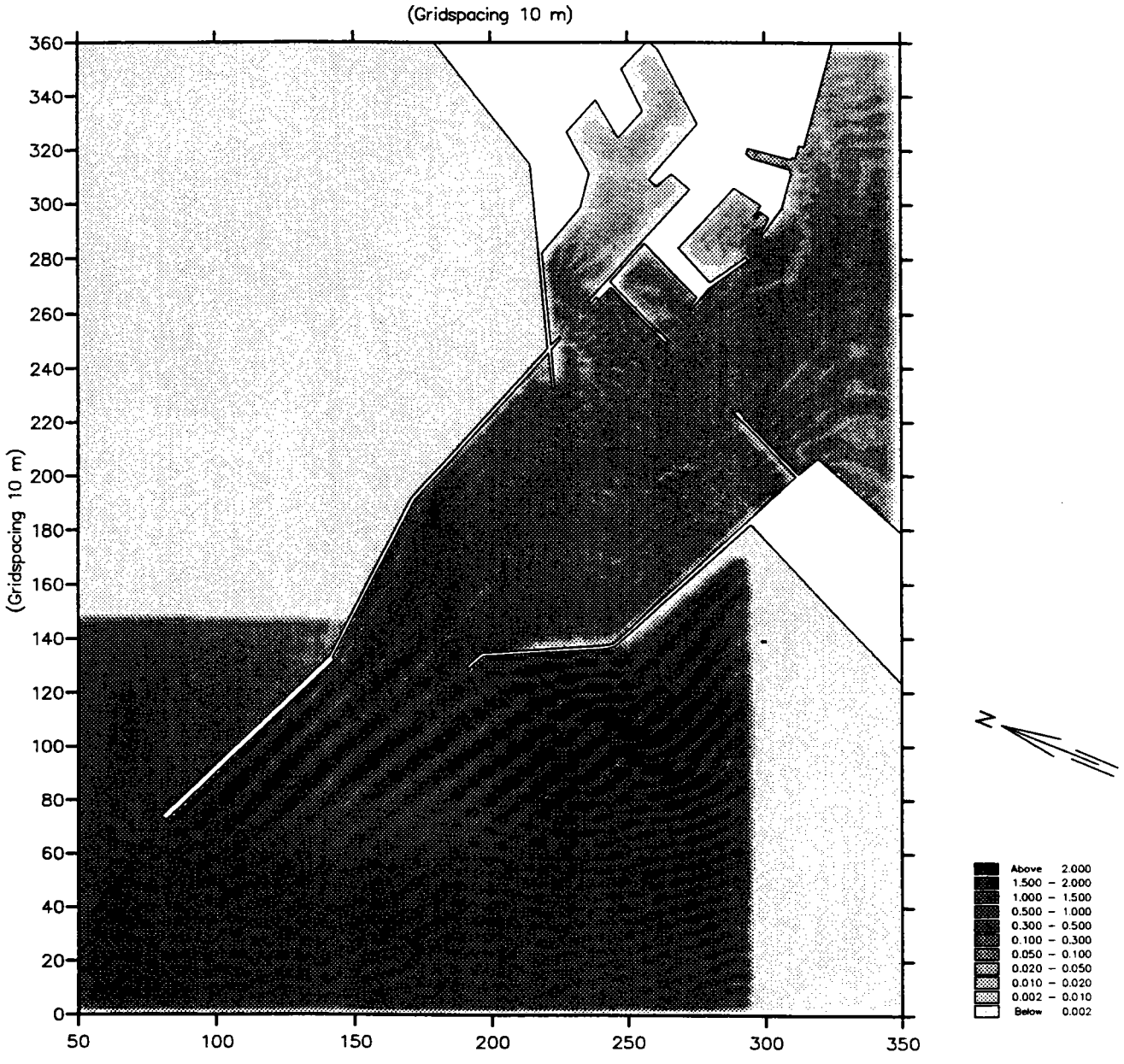


圖4-6-4b　台中港現況颱風波浪週期10秒，WSW波向計算之Kd灰階圖

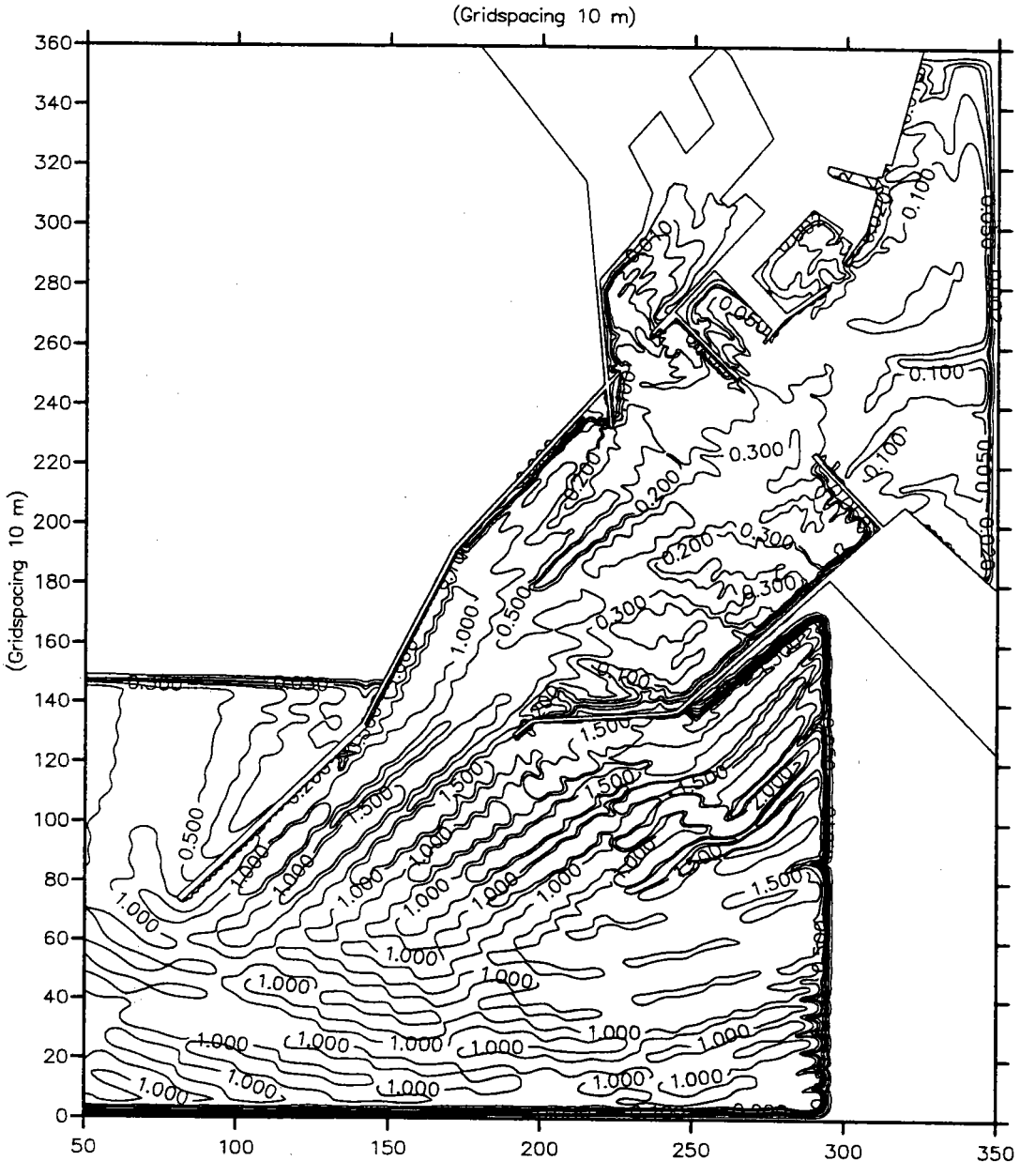


圖4-6-5a　台中港現況颱風波浪週期12秒，WSW波向計算之kd圖

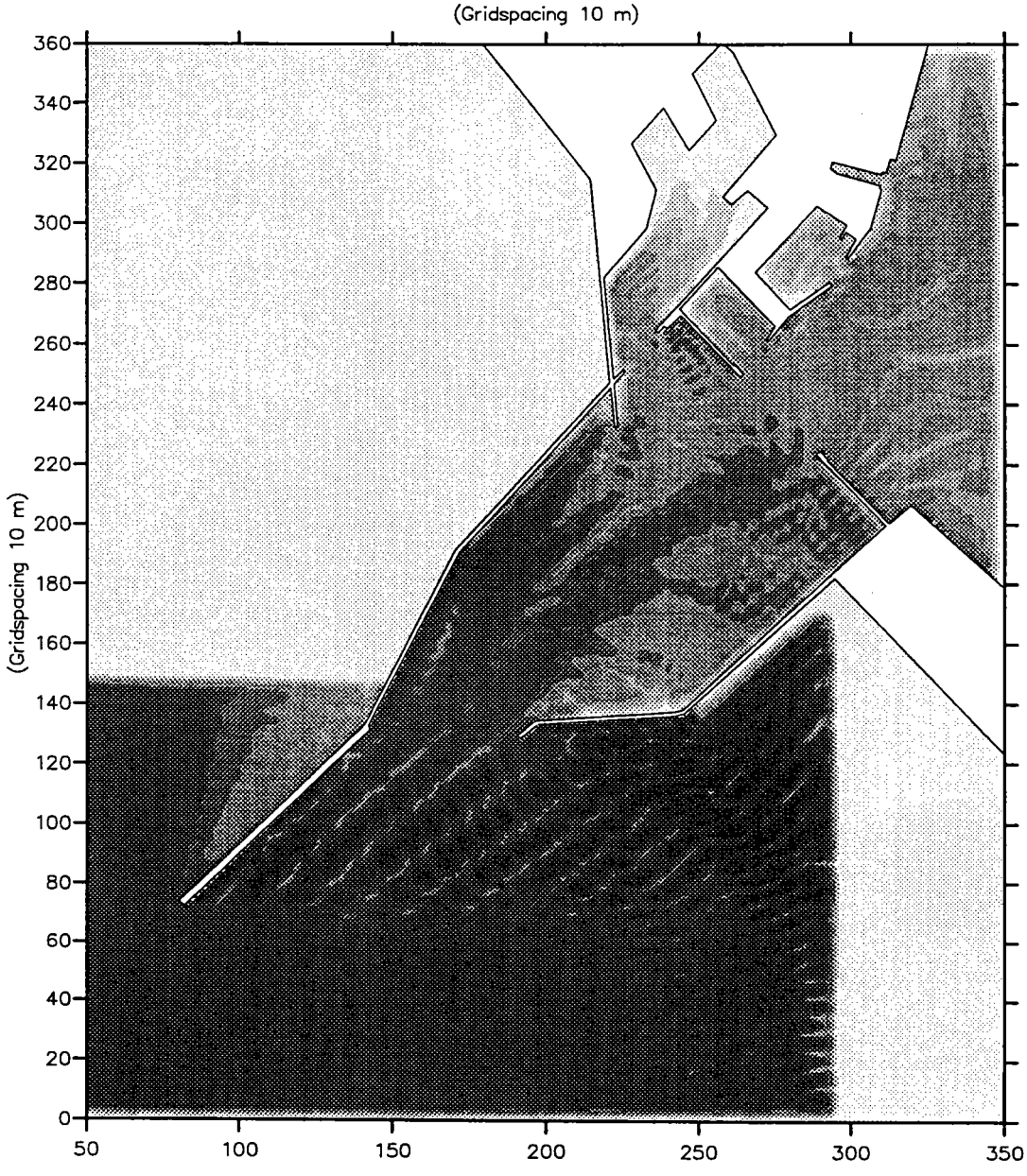
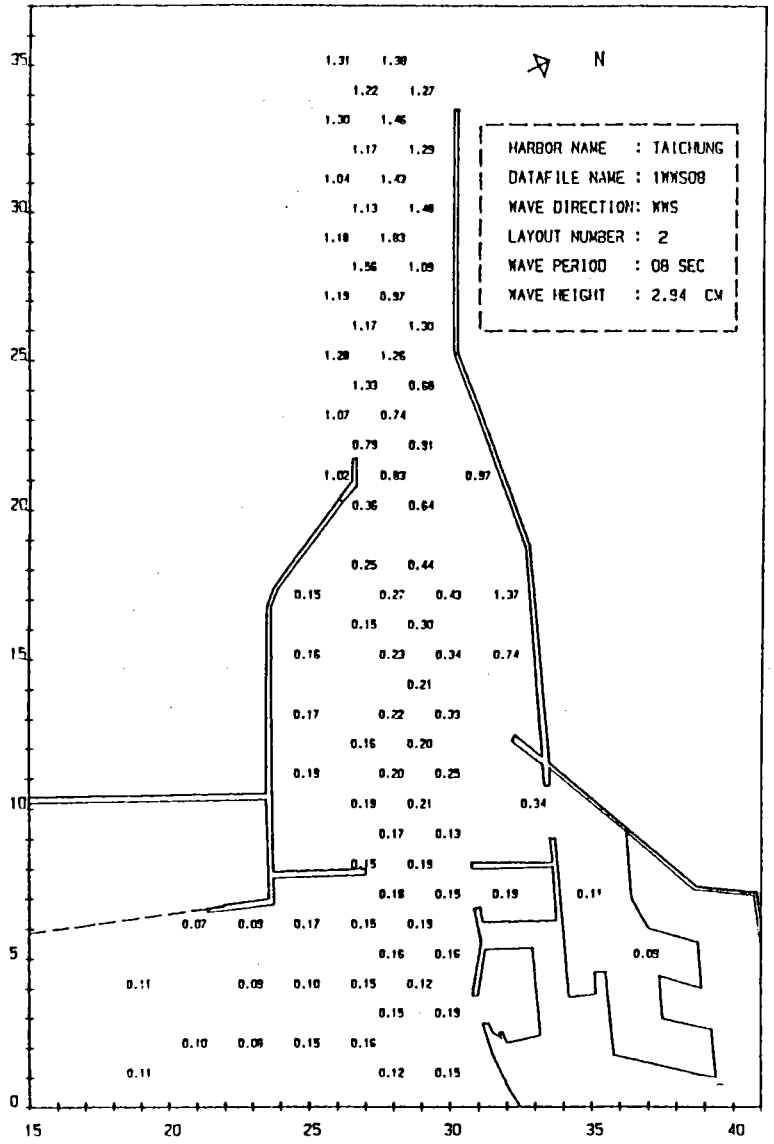
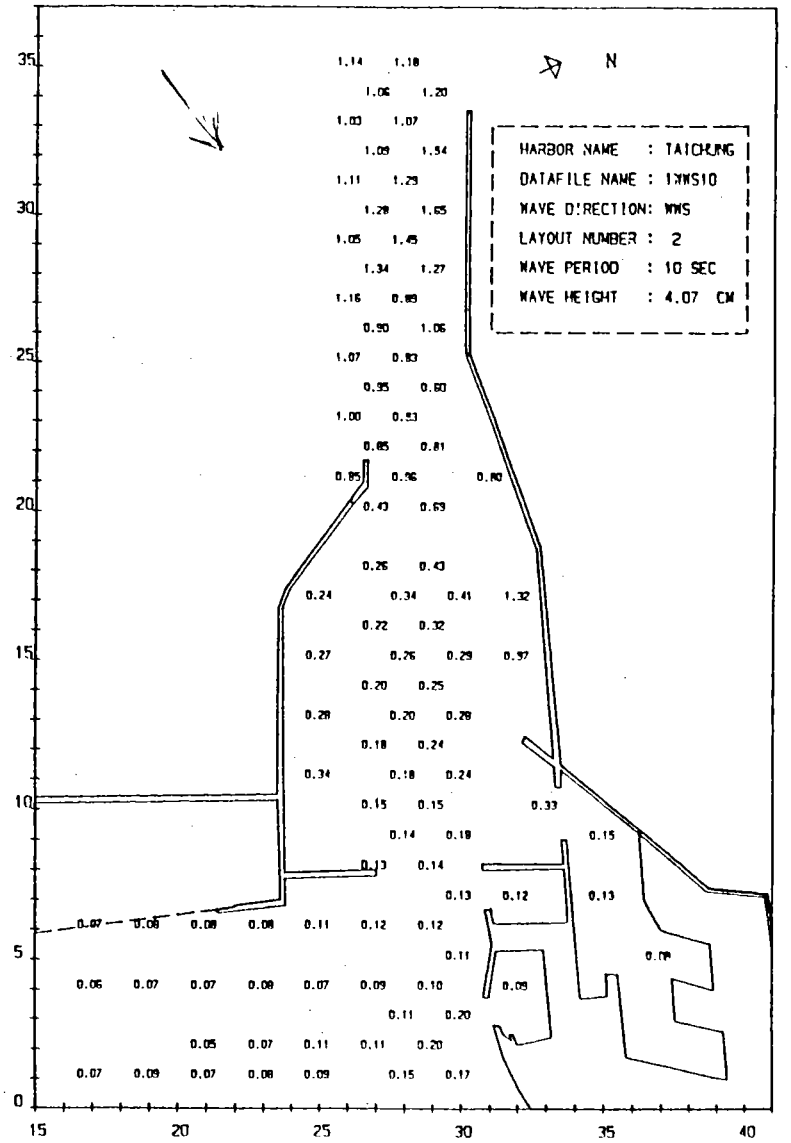


圖4-6-5b　台中港現況颱風波浪週期12秒，WSW波向計算之kd灰階圖



(a)能峰週期Tp=8.0sec



(b)能峰週期Tp=10.0se

圖4-6-6　台中港現況WSW向波浪實驗之波高係數

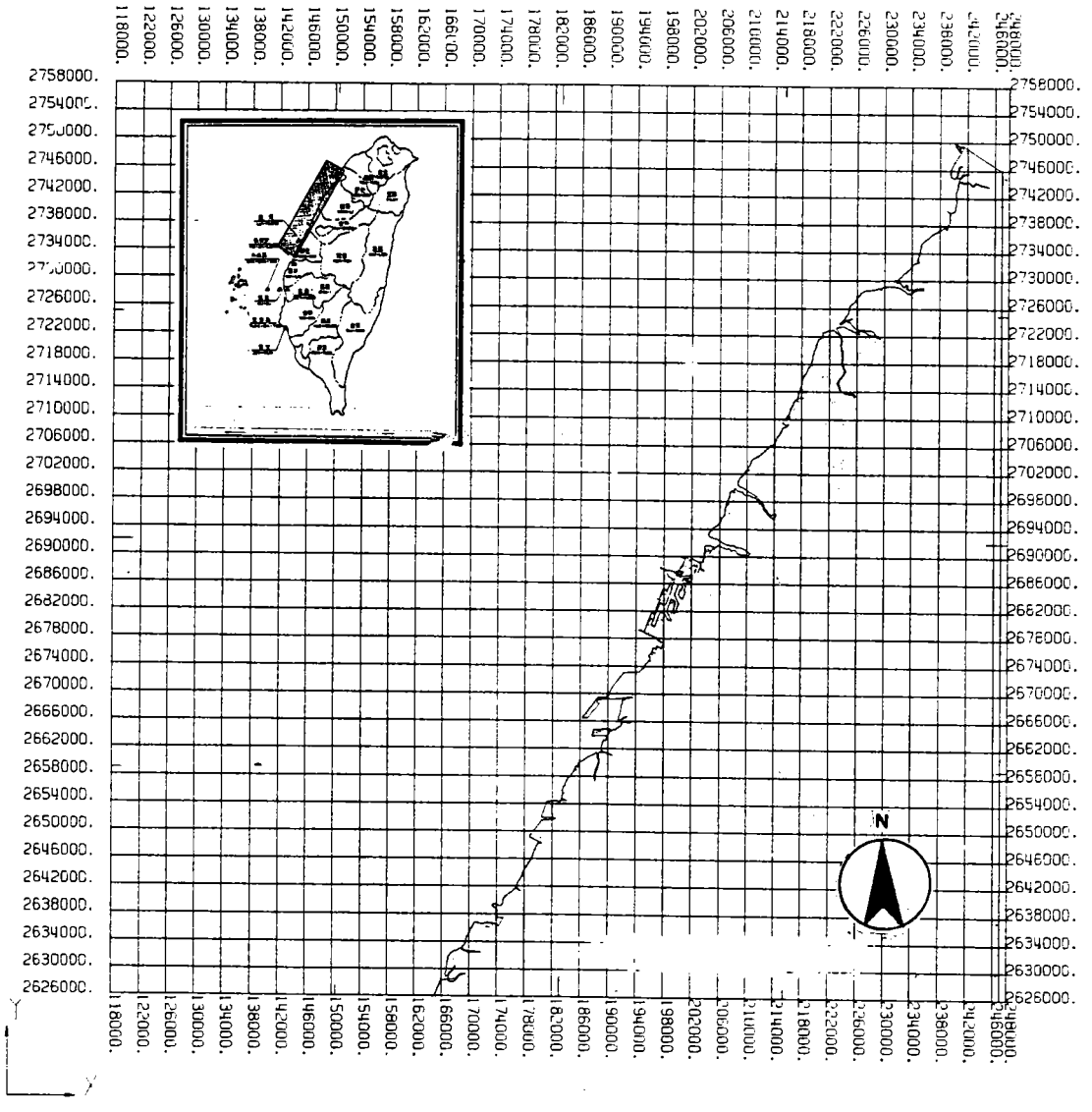


圖4-7-1　台中港區海流數值計算範圍

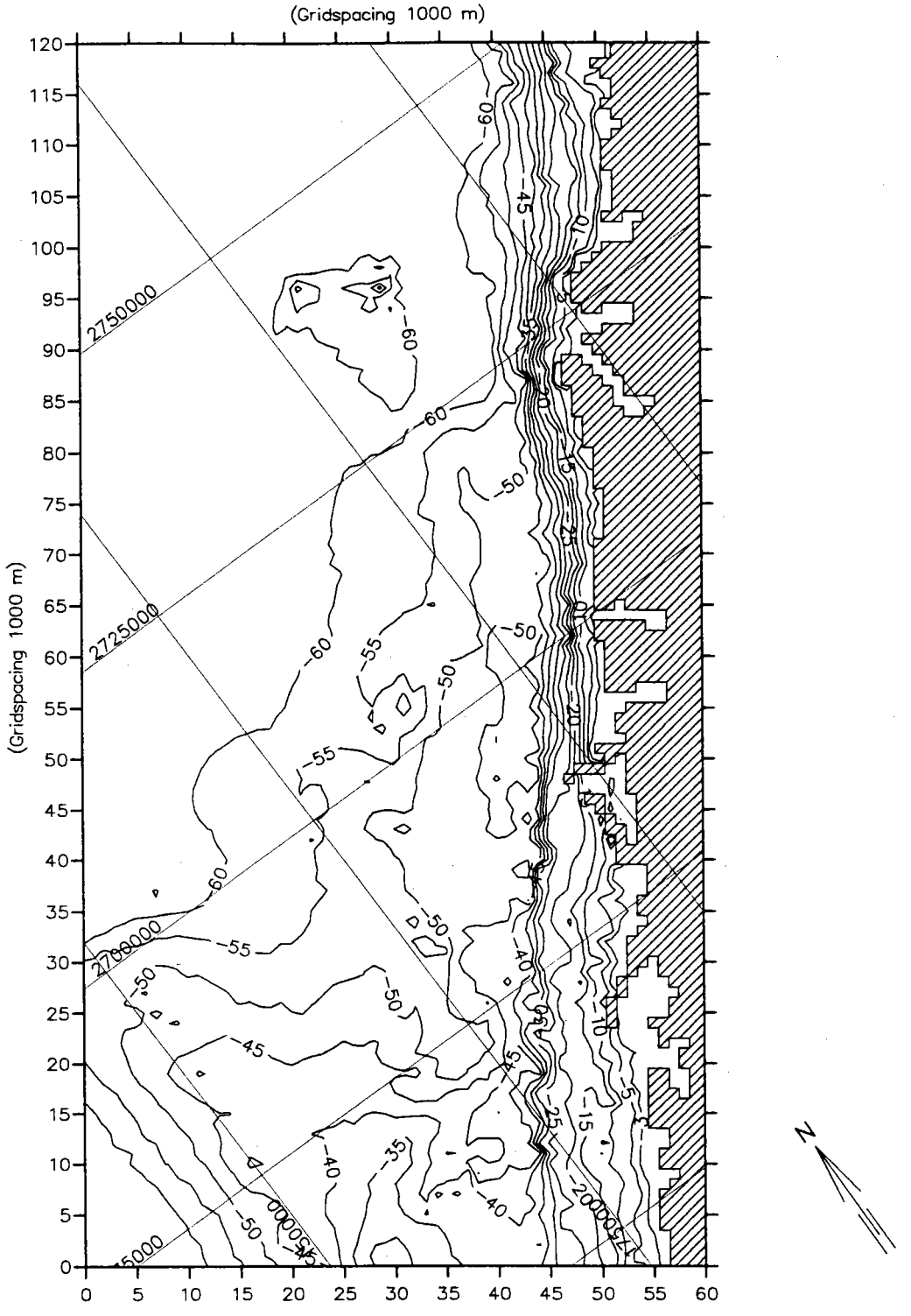


圖4-7-2　海流大域計算範圍、網格及水深

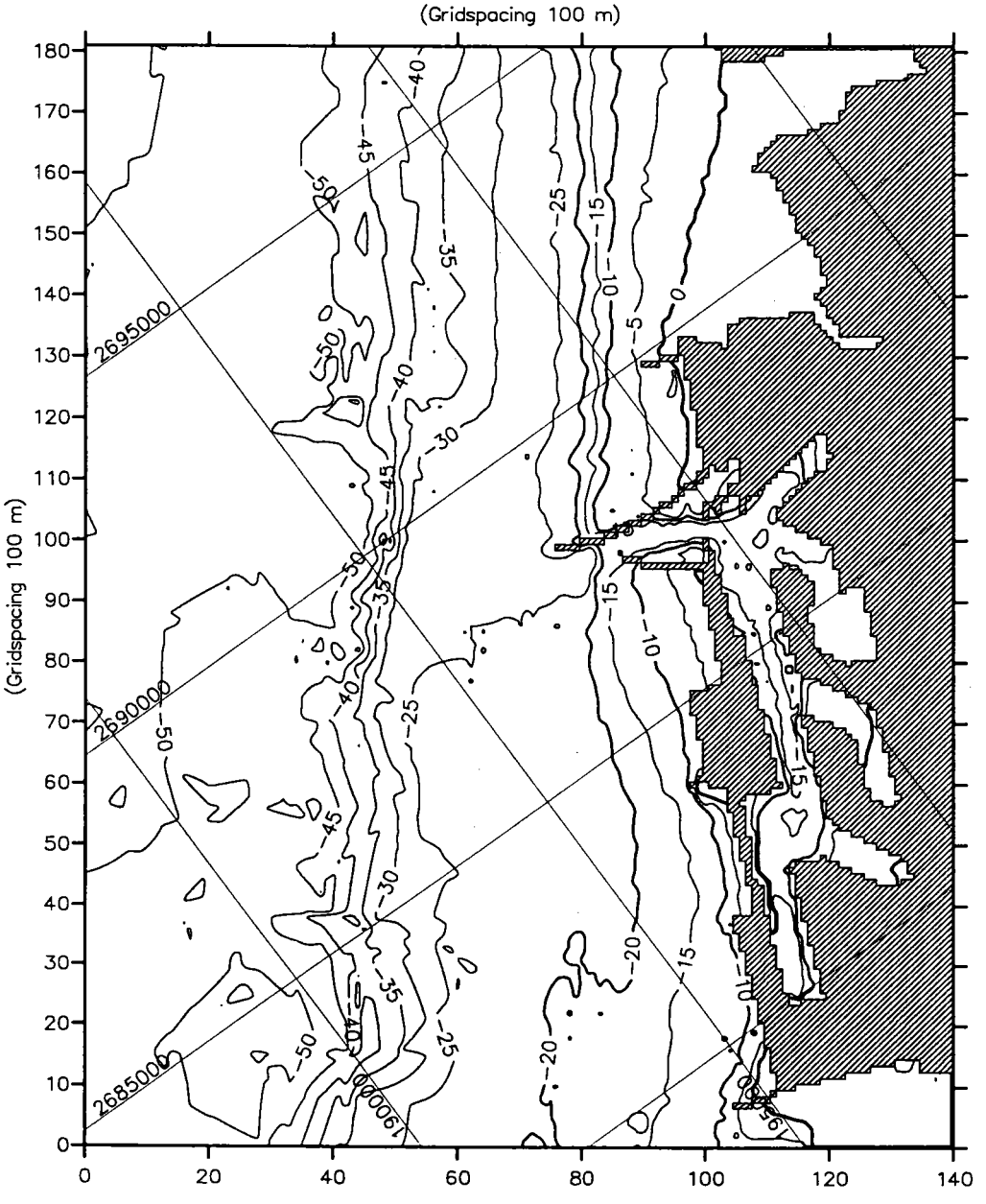


圖4-7-3　海流小域計算範圍、網格及水深

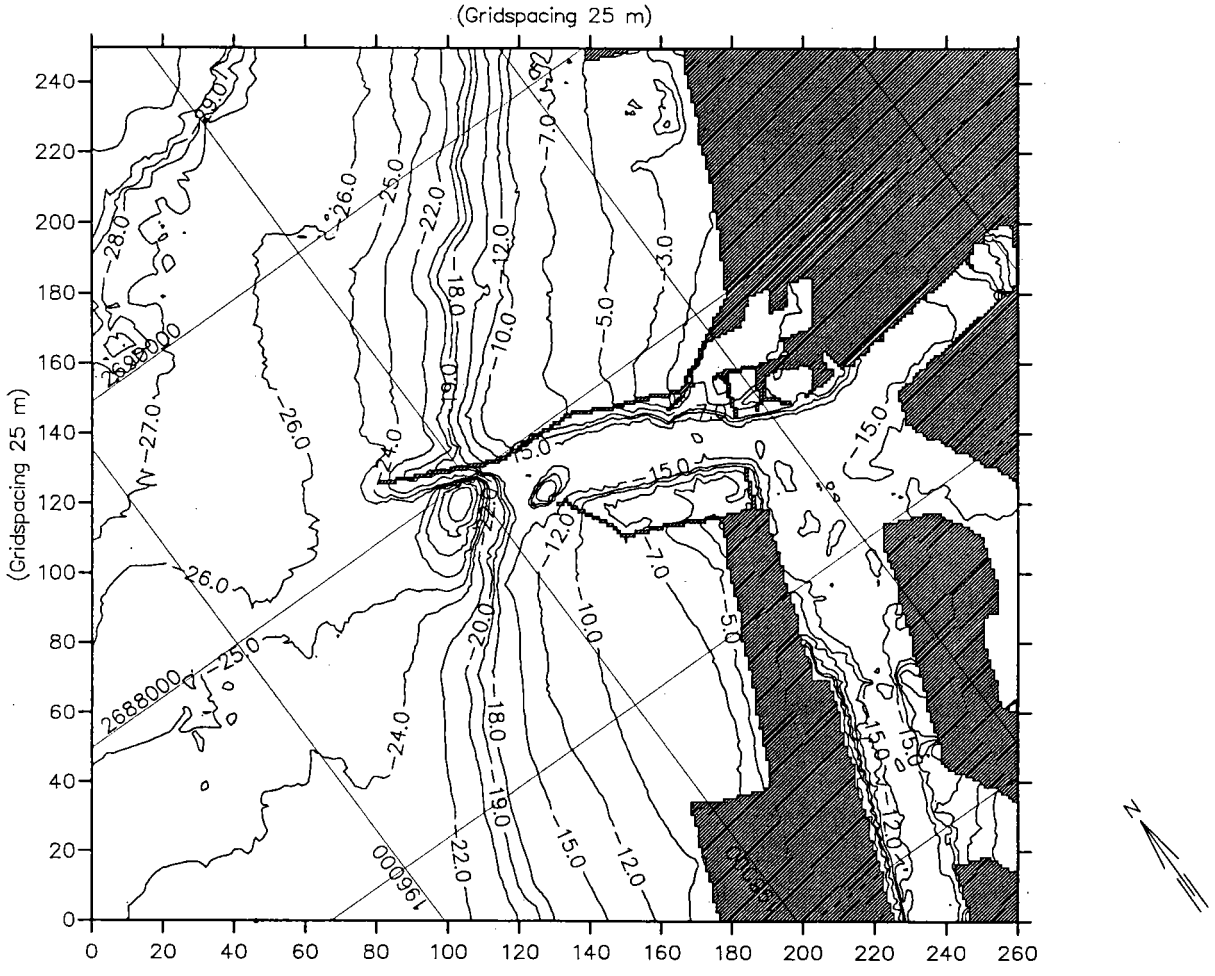


圖4-7-4　海流局部區域計算範圍、網格及水深

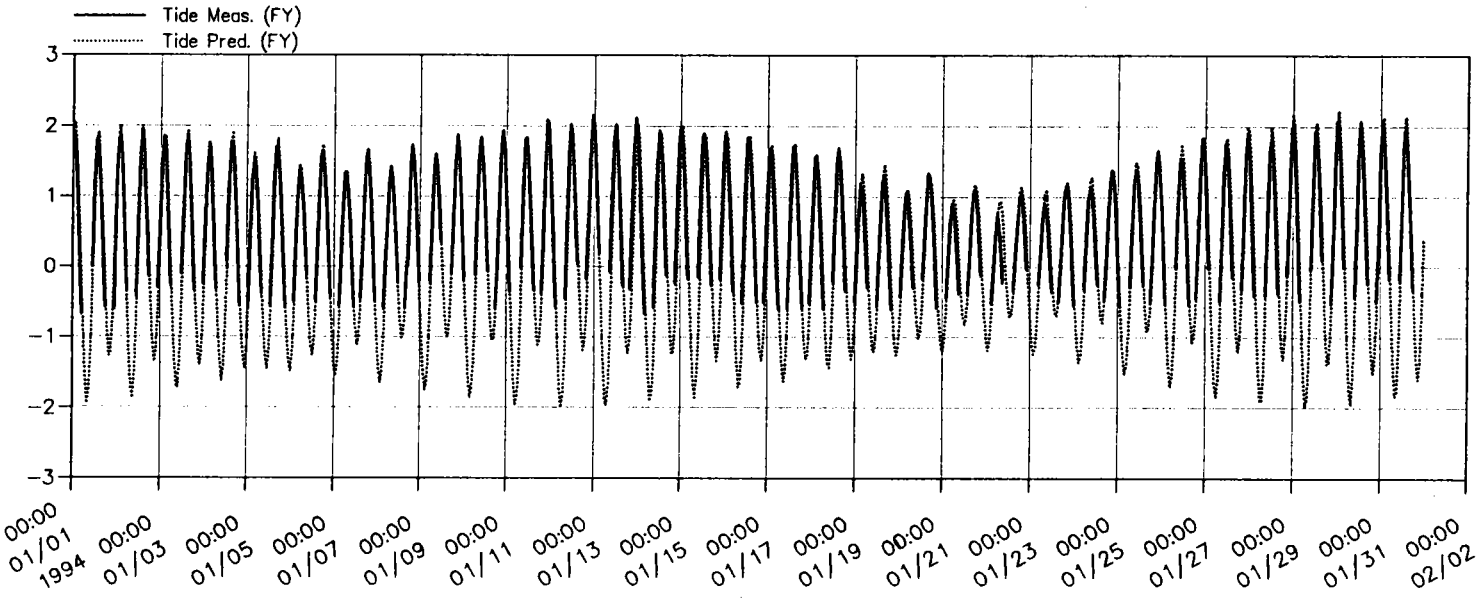


圖4-7-5　芳苑驗潮站潮汐實測及驗潮結果比較

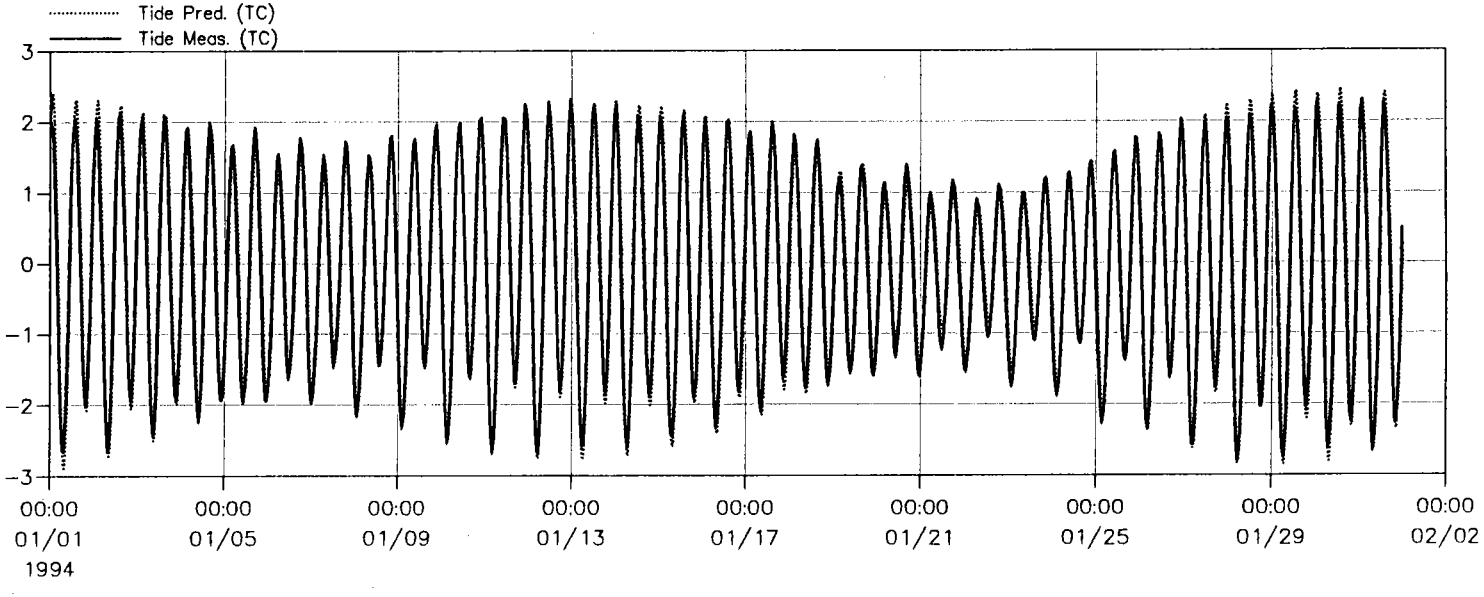


圖4-7-6　台中港驗潮站潮汐實測及驗潮結果比較

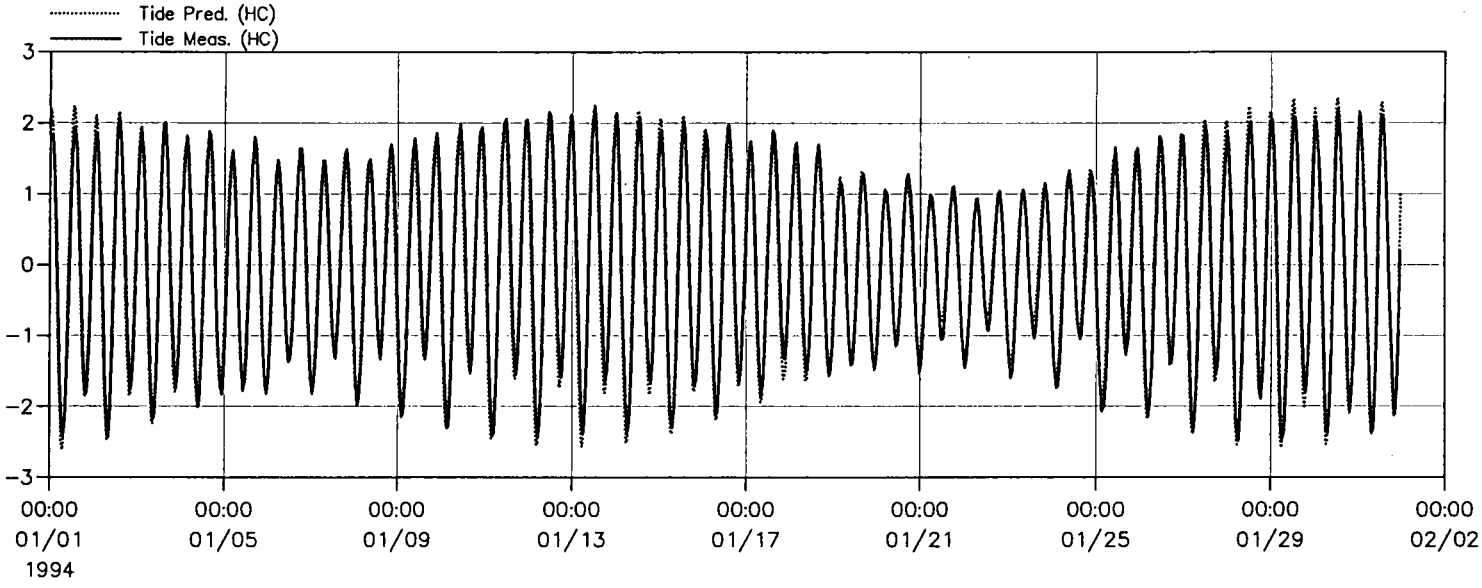


圖4-7-7　新竹漁港驗潮站潮汐實測及驗潮結果比較

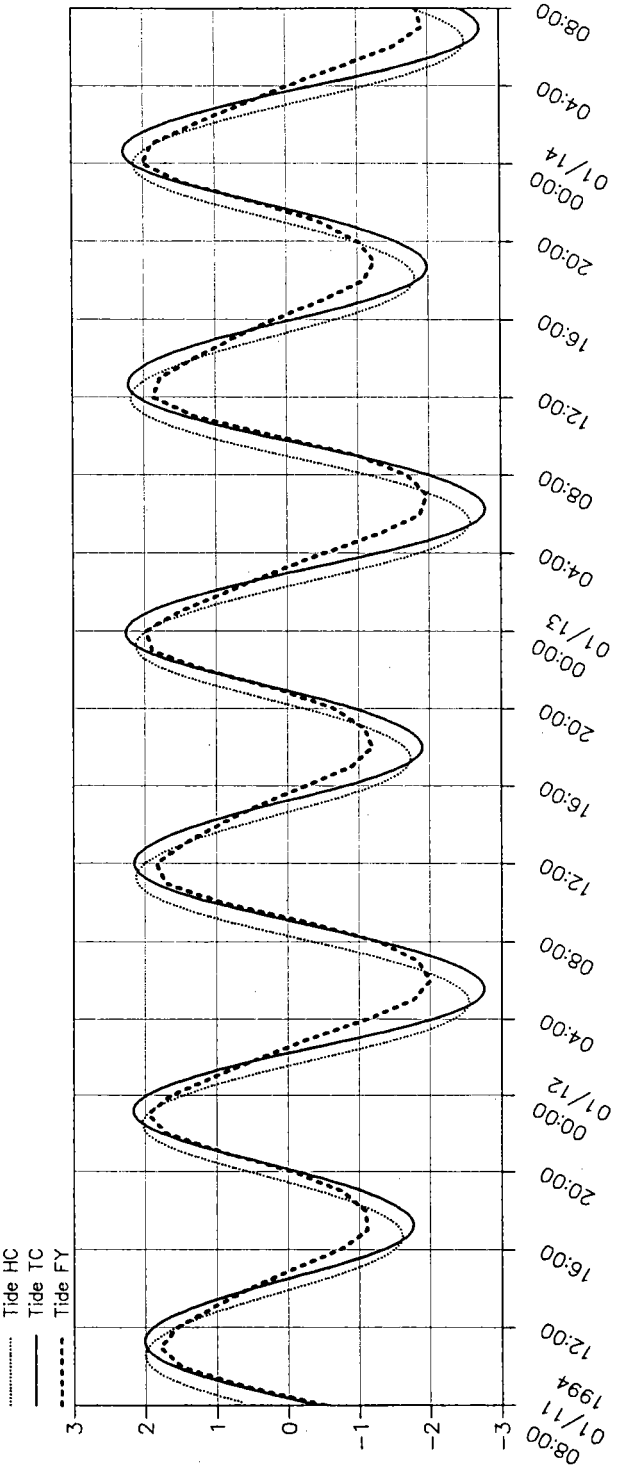


圖4-7-8　台中港、新竹漁港與芳苑驗潮站潮汐比較圖

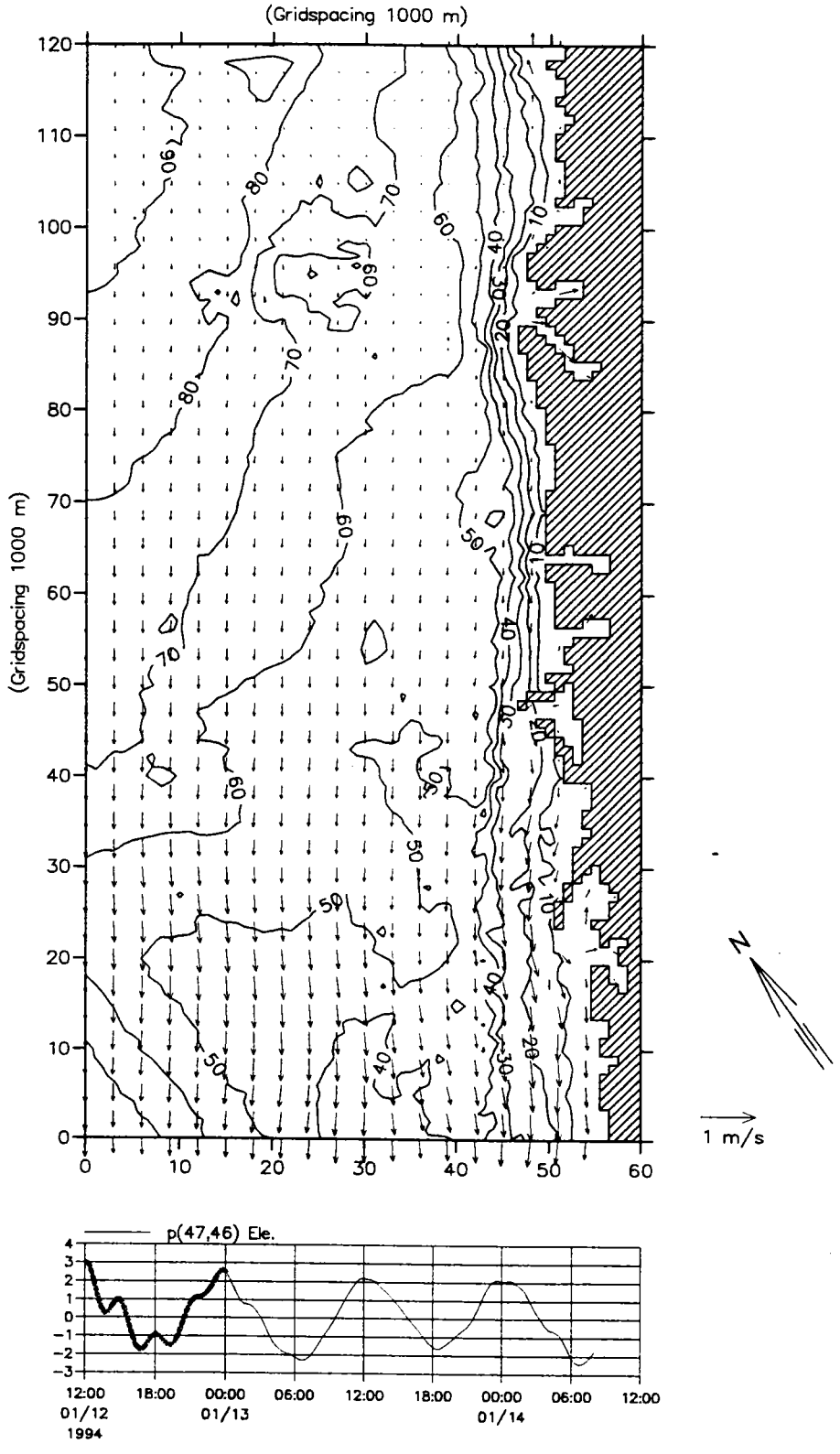


圖4-7-9a　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　00:00:00)

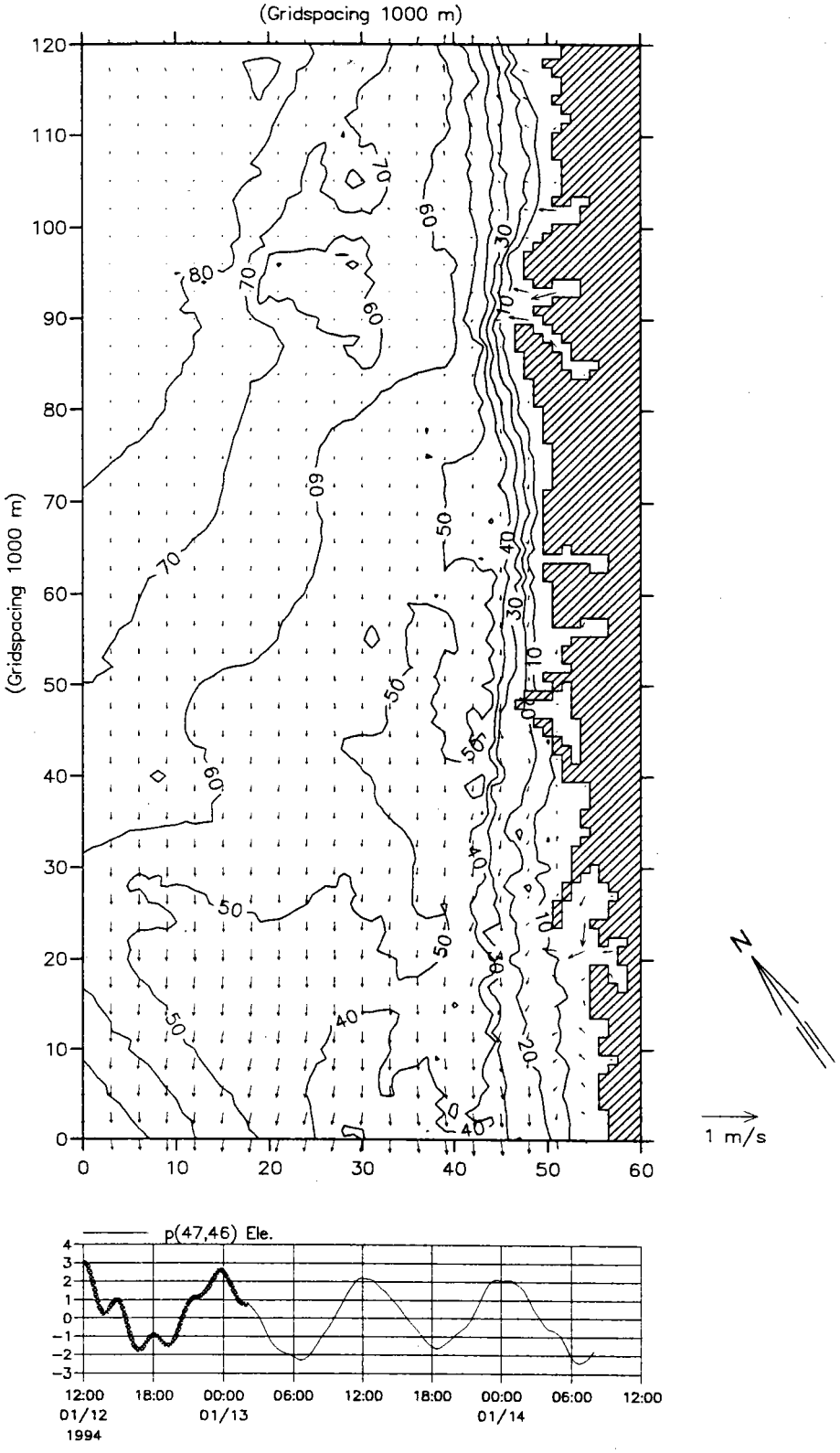


圖4-7-9b 台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 02:00:00)

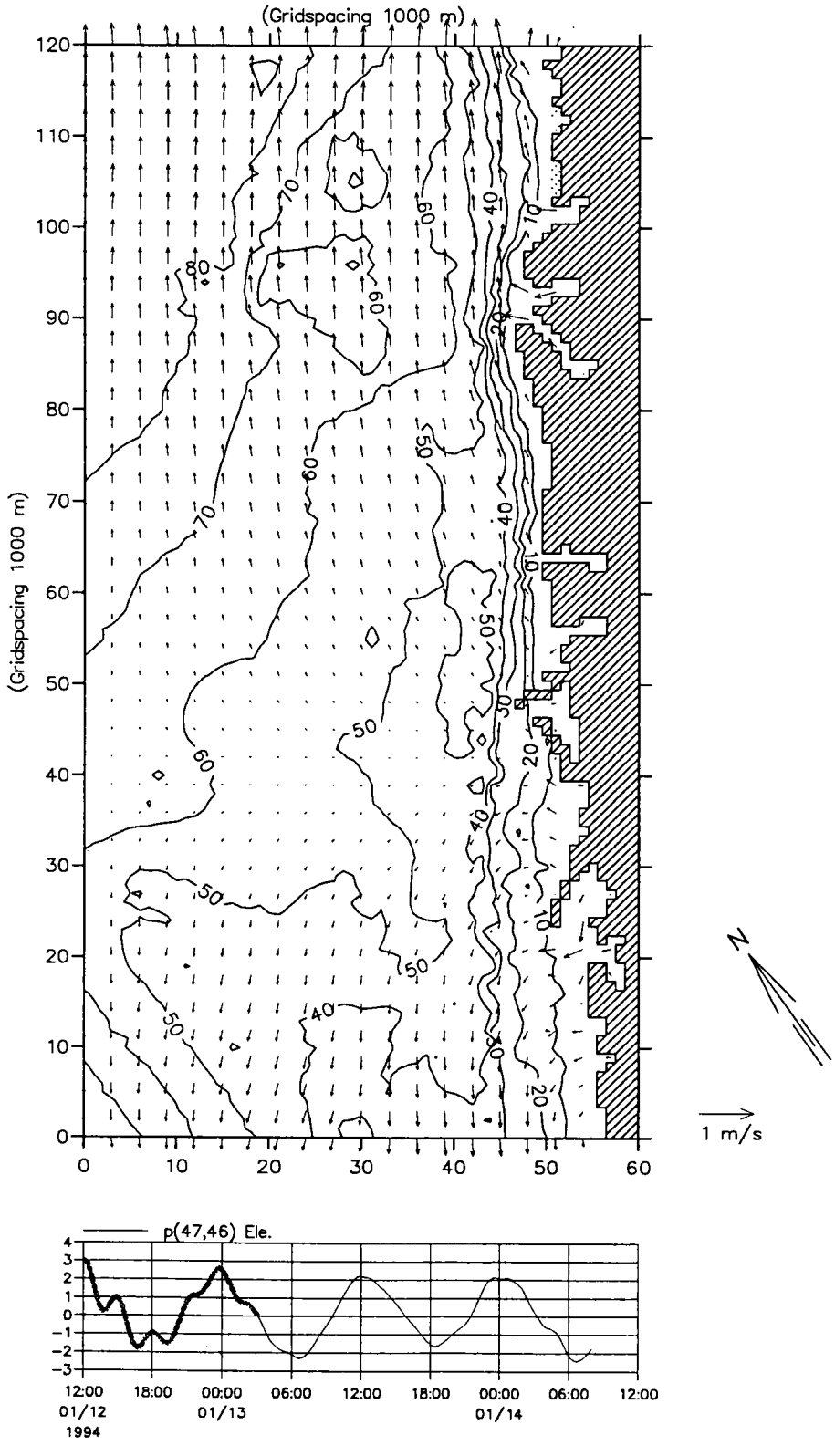


圖4-7-9c　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　03:00:00)

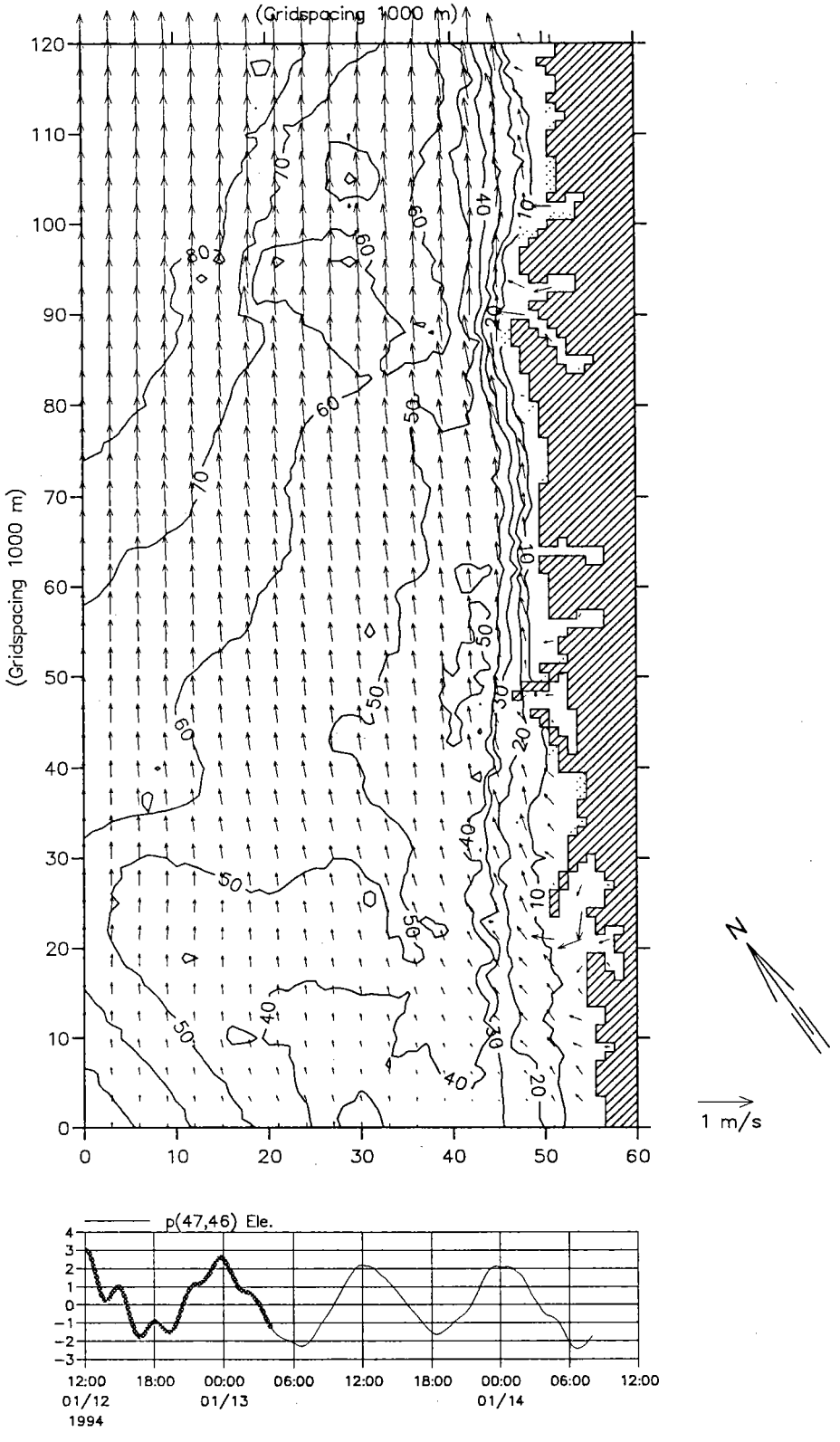


圖4-7-9d　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　04:00:00)

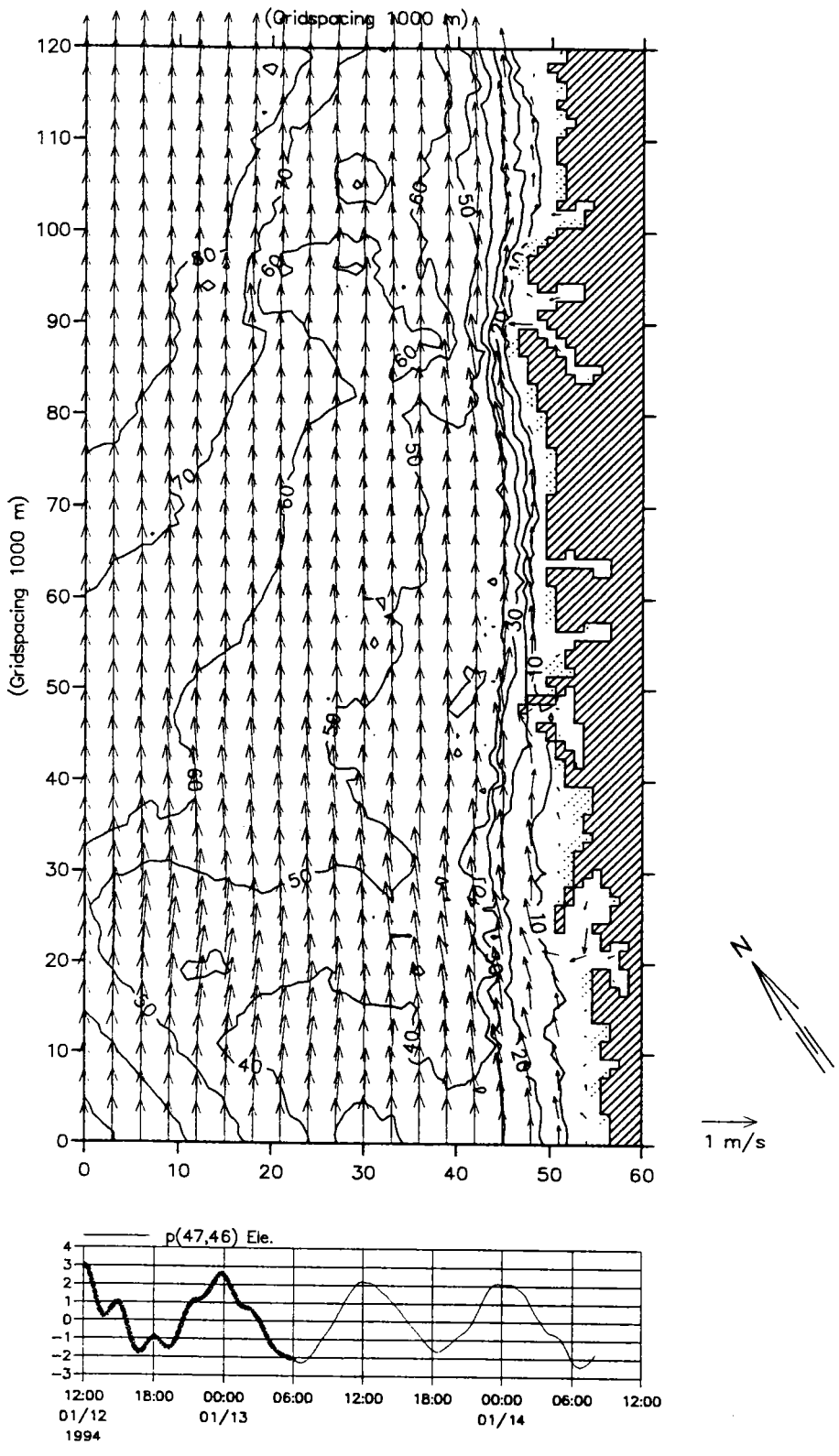


圖4-7-9e　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　06:00:00)

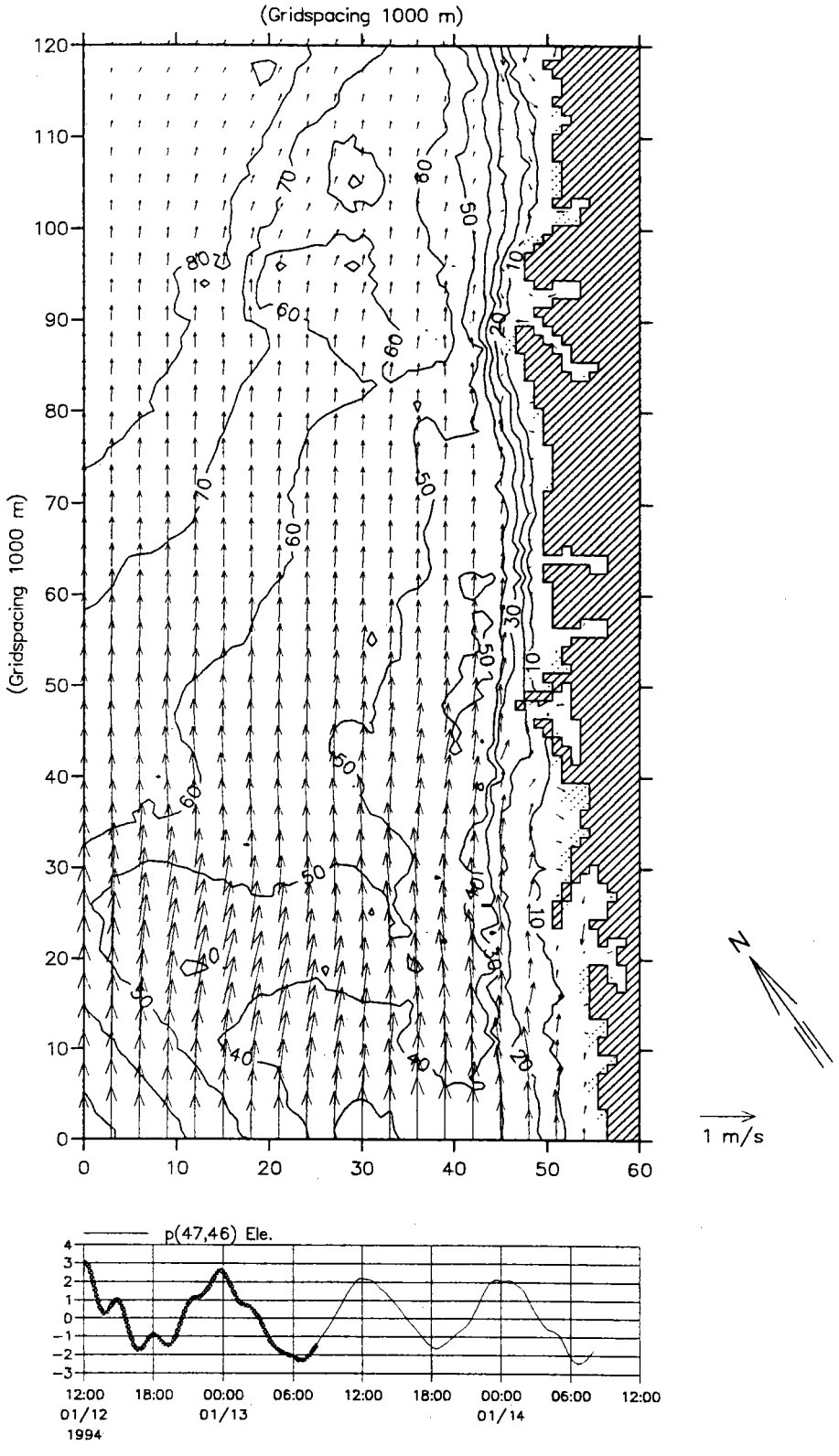


圖4-7-9f　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　08:00:00)

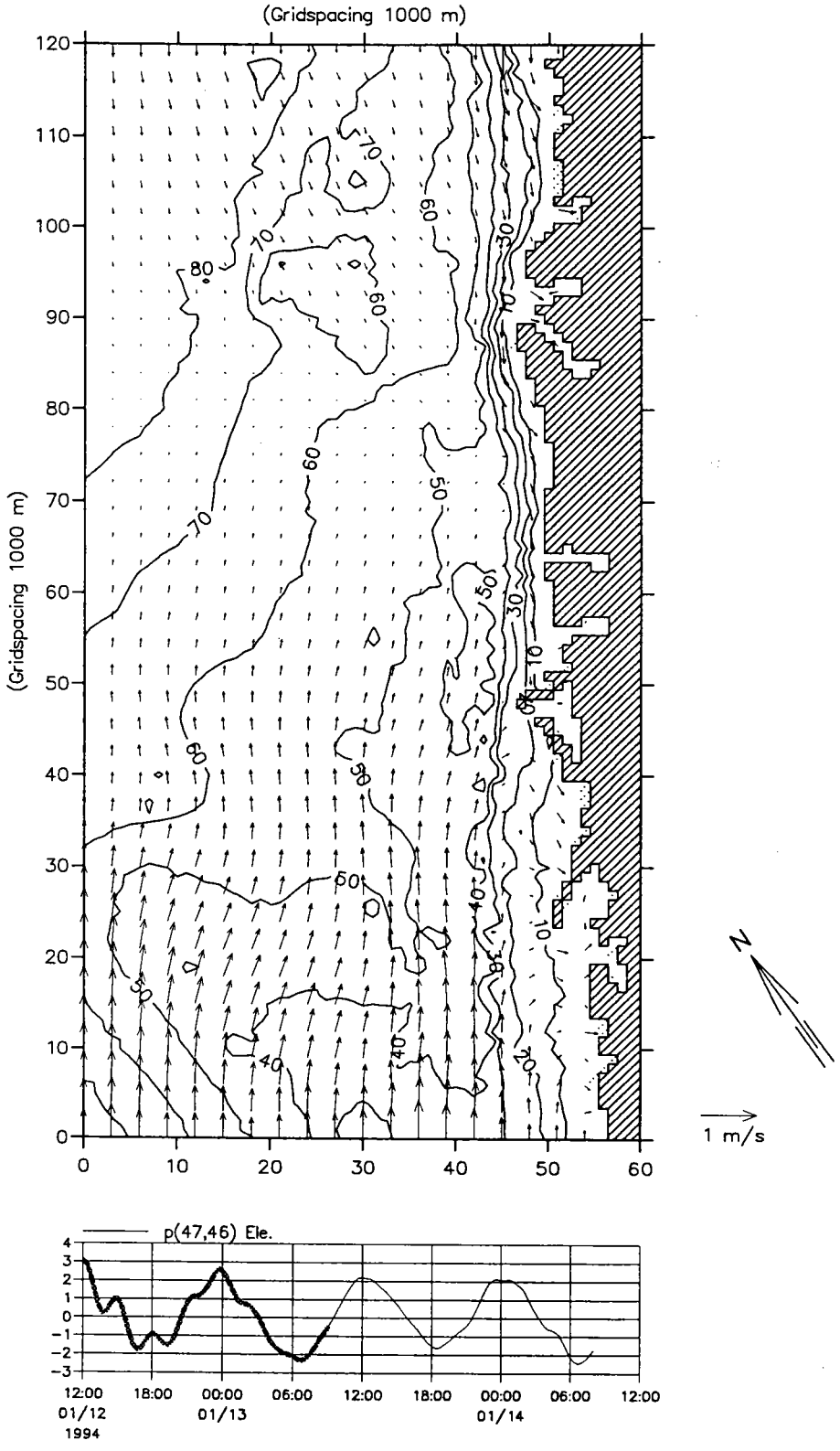


圖4-7-9g　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　09:00:00)

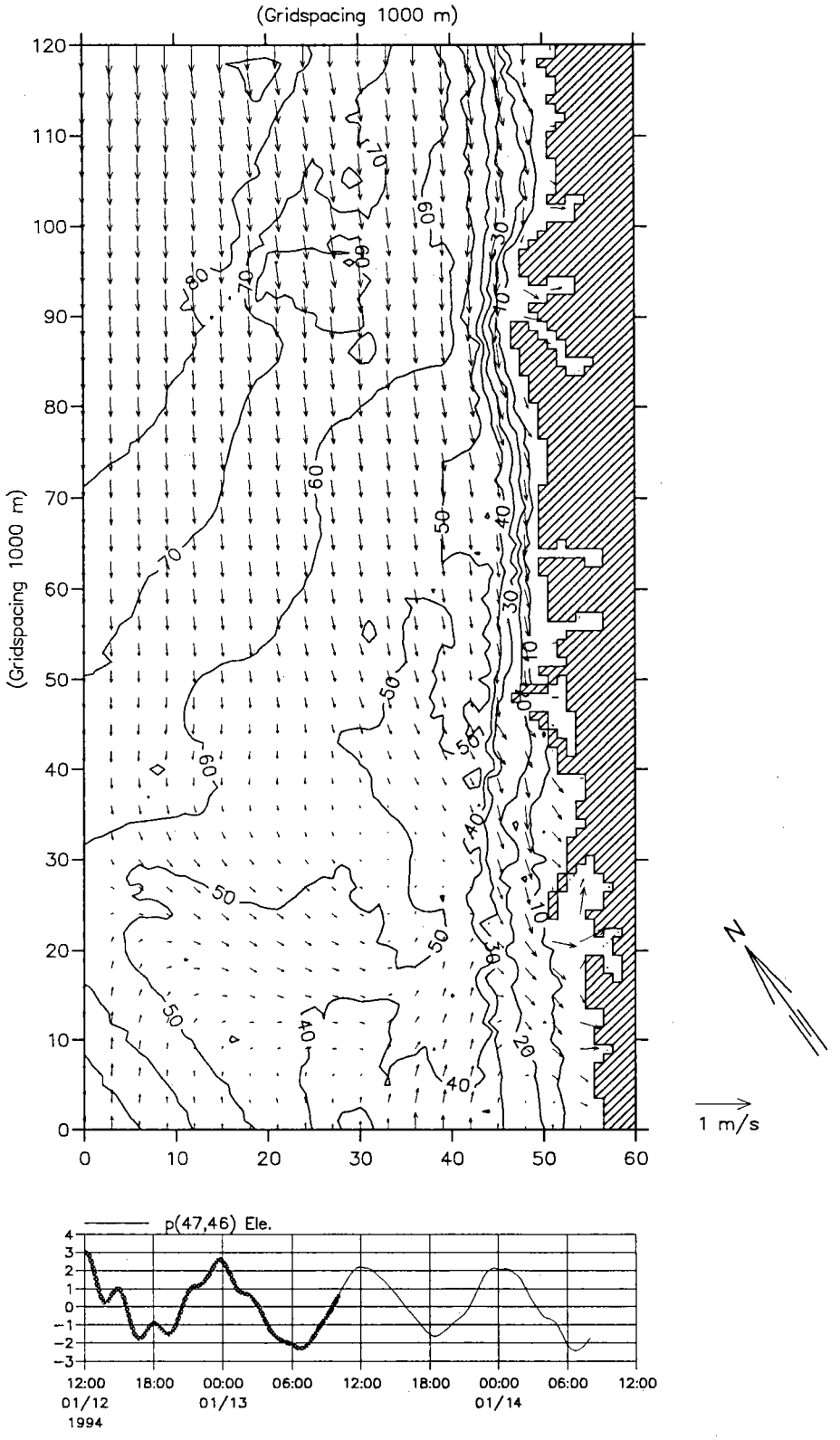


圖4-7-9h　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　10:00:00)

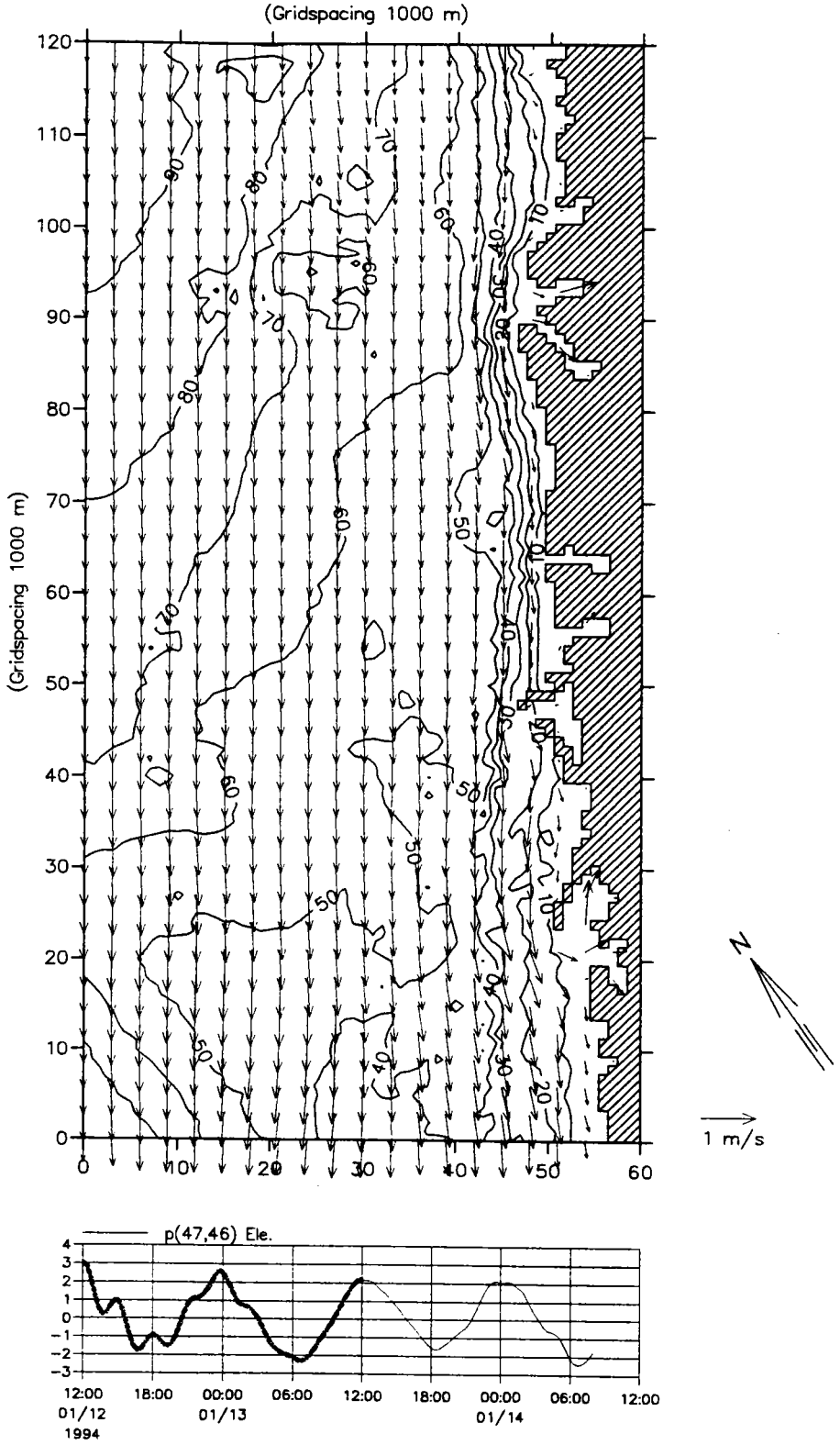


圖4-7-9i　台中港大域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　12:00:00)

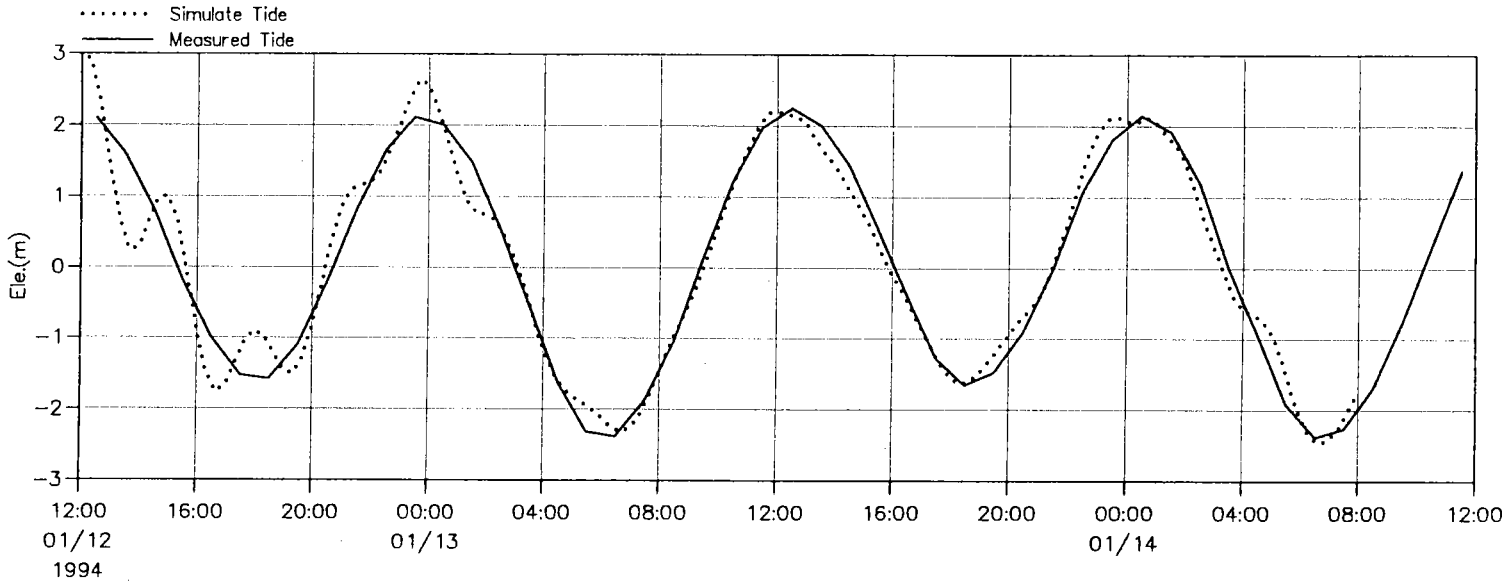


圖4-7-10　台中港大域計算區域計算與實測潮位比較

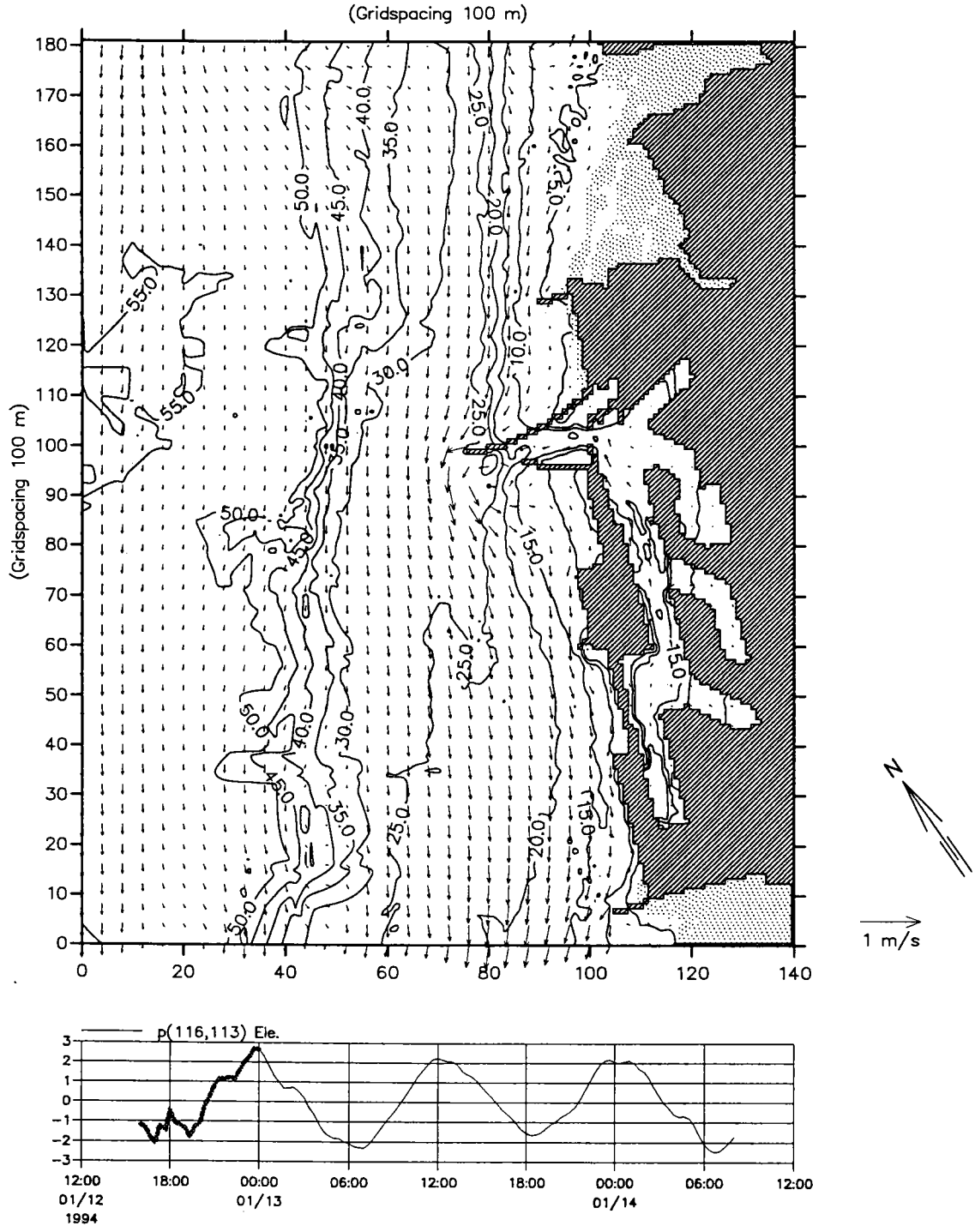


圖4-7-11a　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　00:00:00)

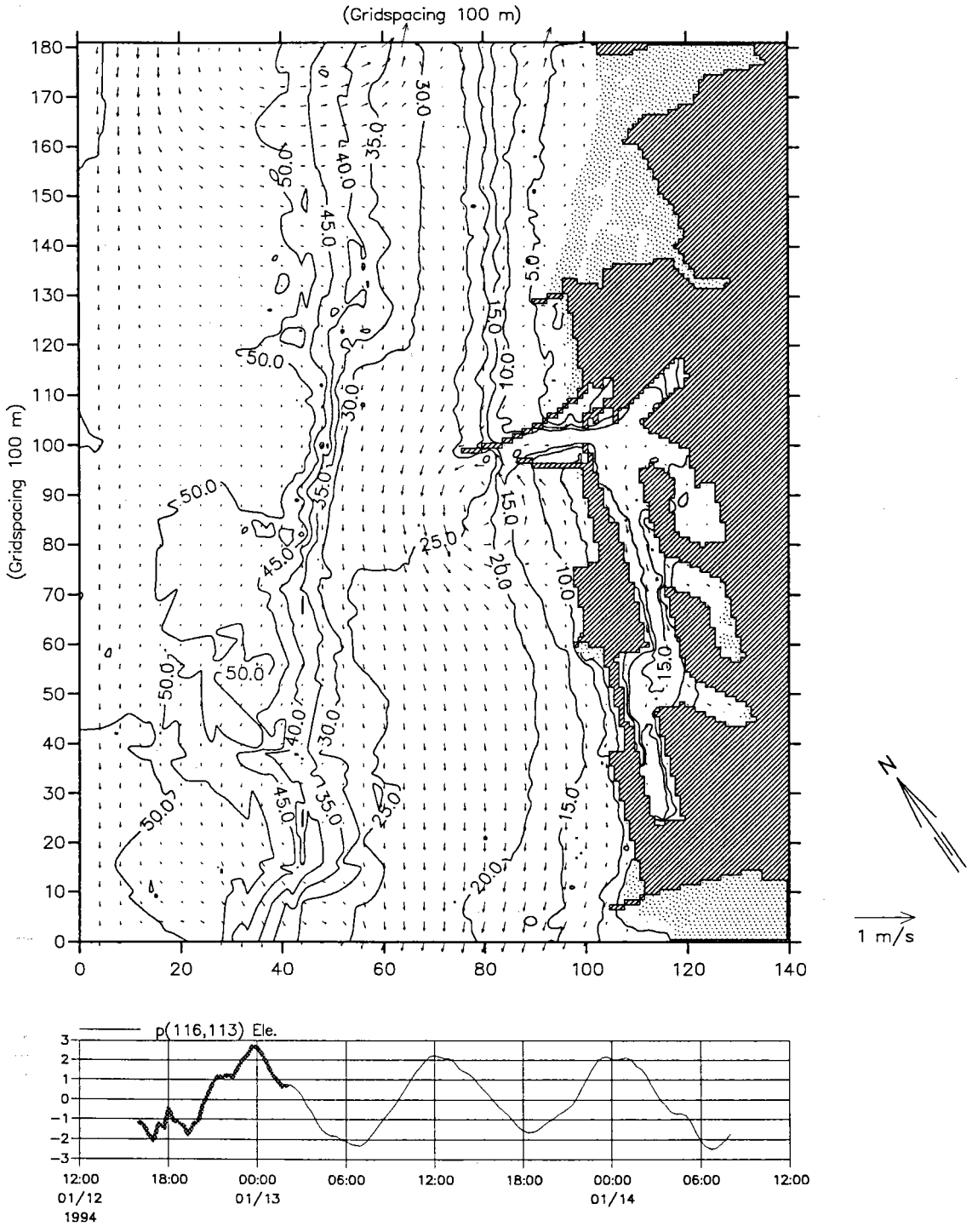


圖4-7-11b　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　02:00:00)

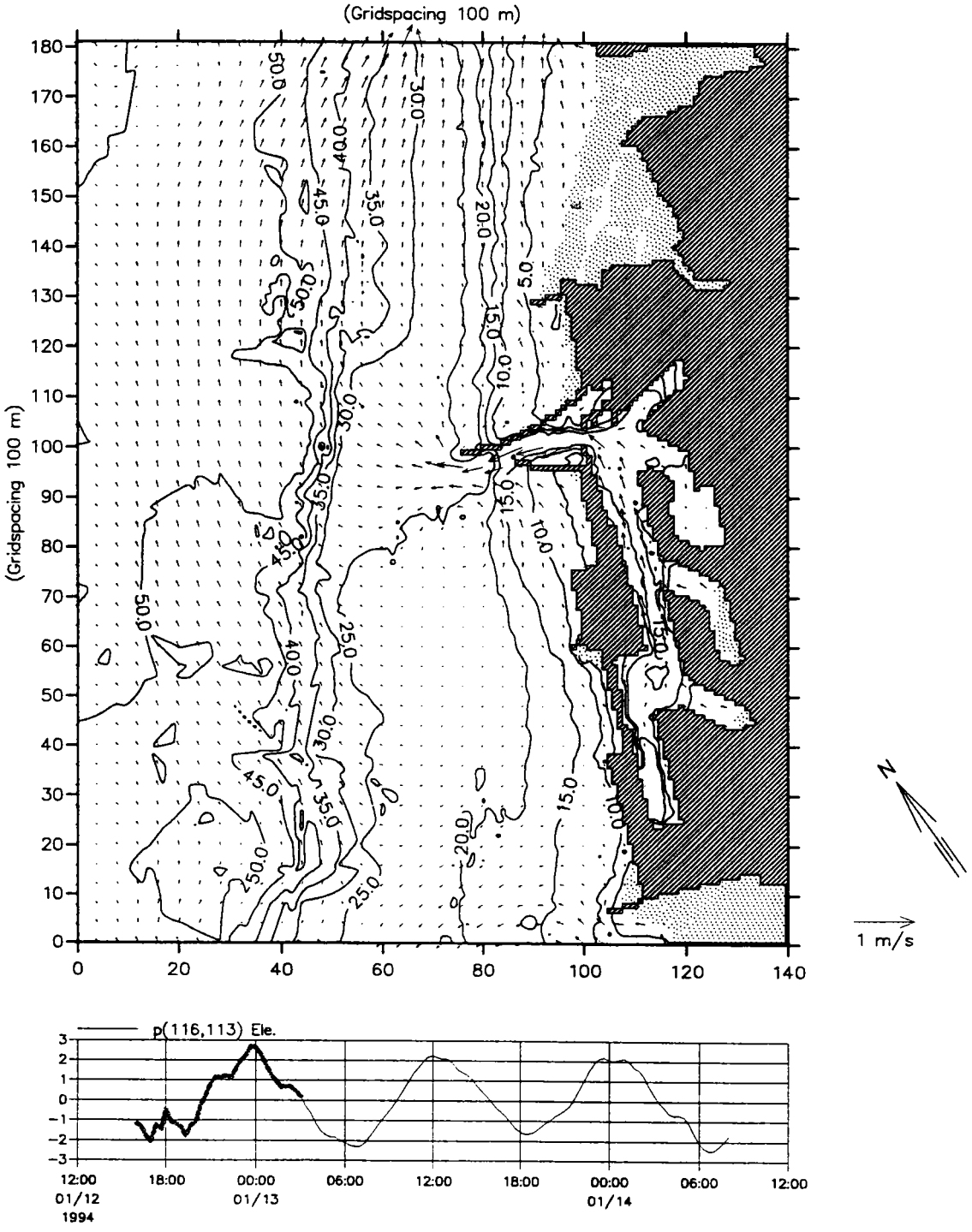


圖4-7-11c　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　03:00:00)

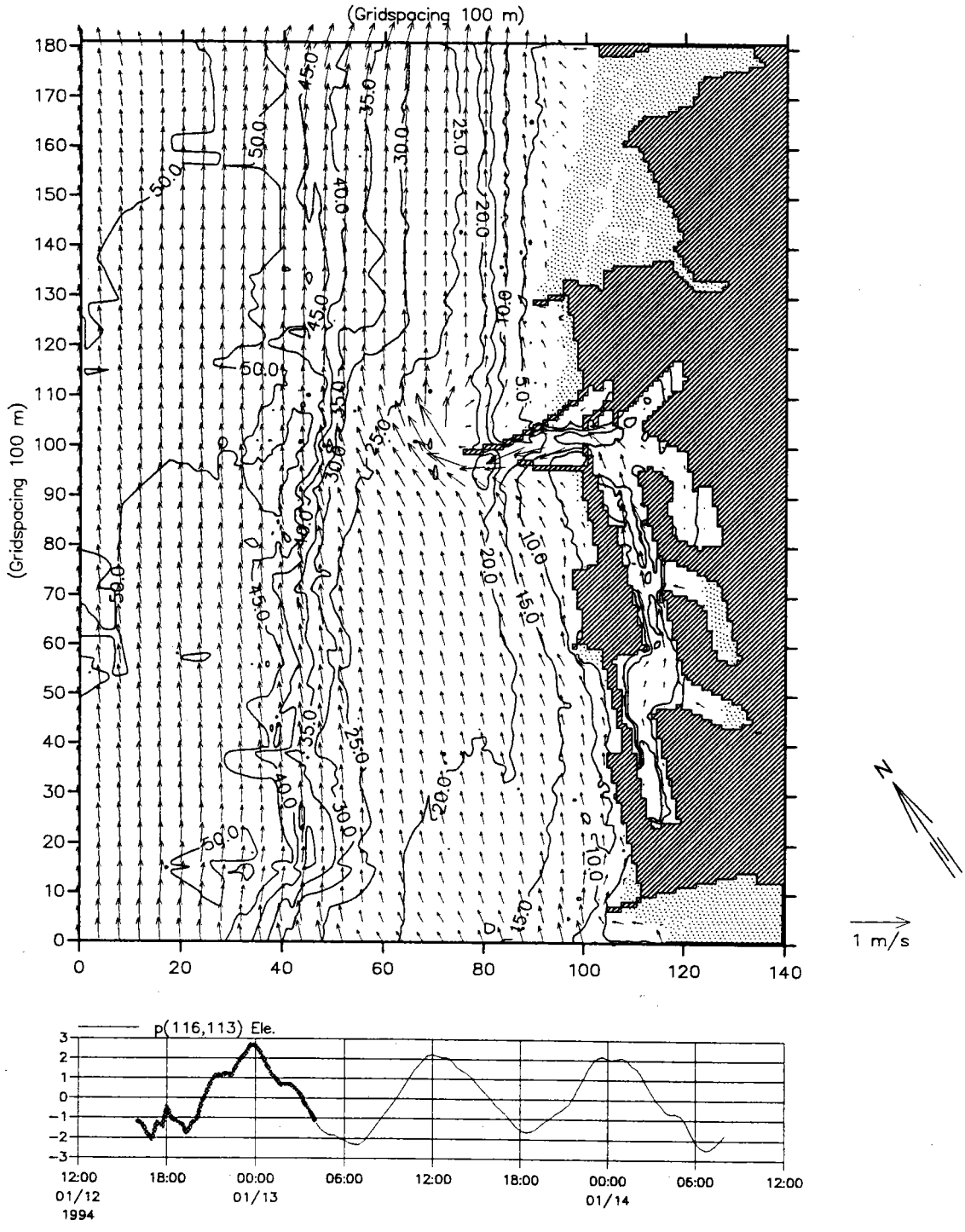


圖4-7-11d　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　04:00:00)

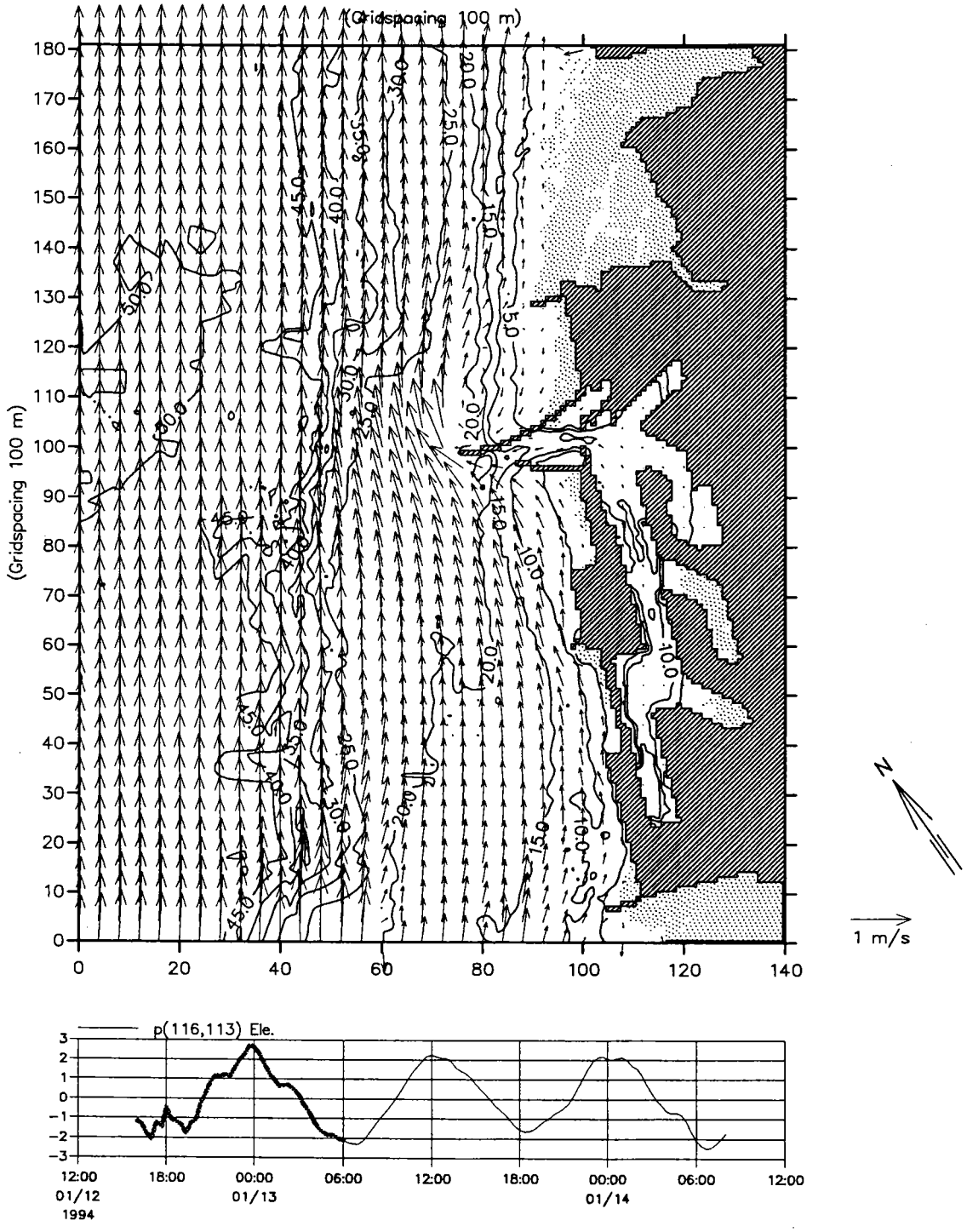


圖4-7-11e　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　06:00:00)

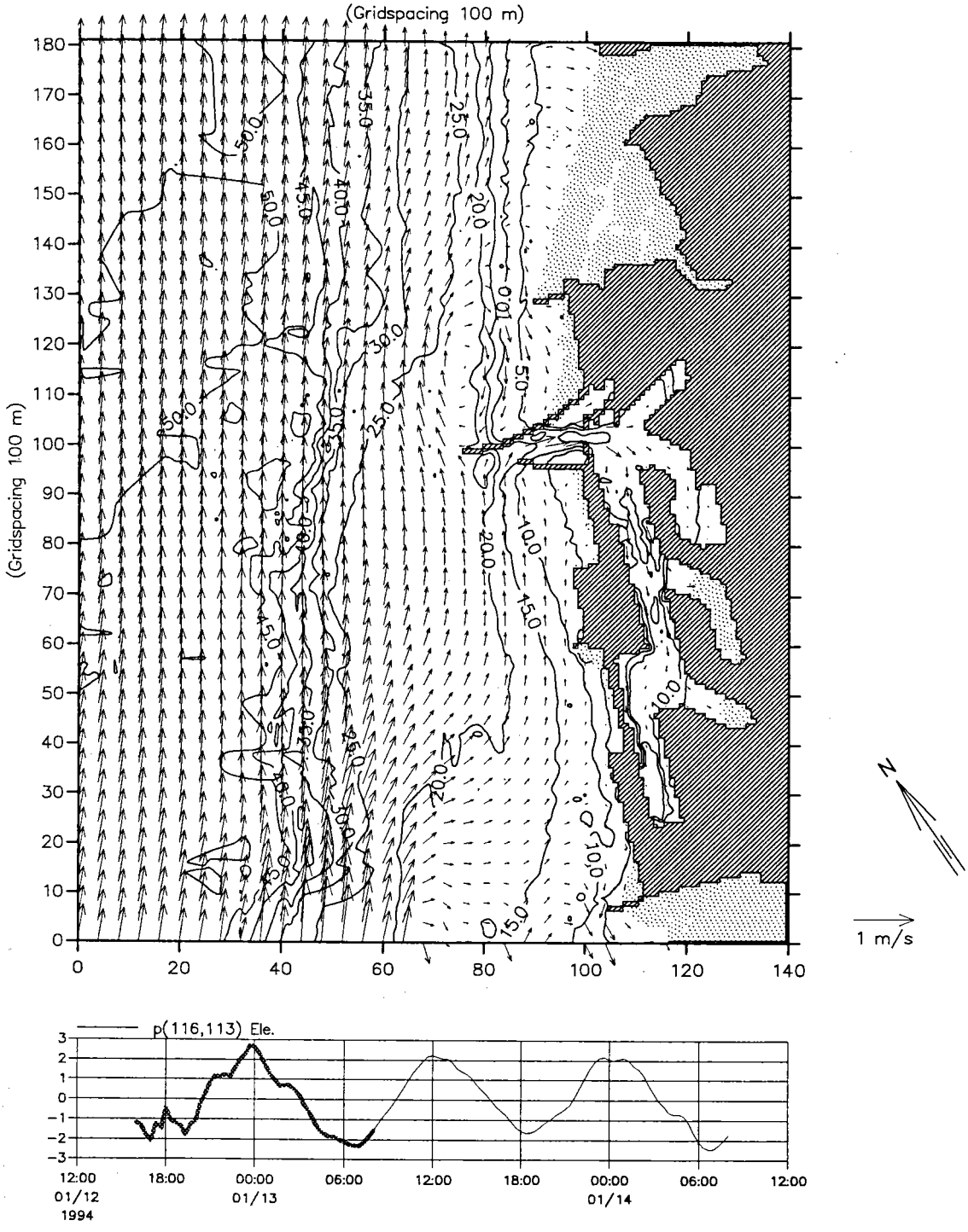


圖4-7-11f　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　08:00:00)

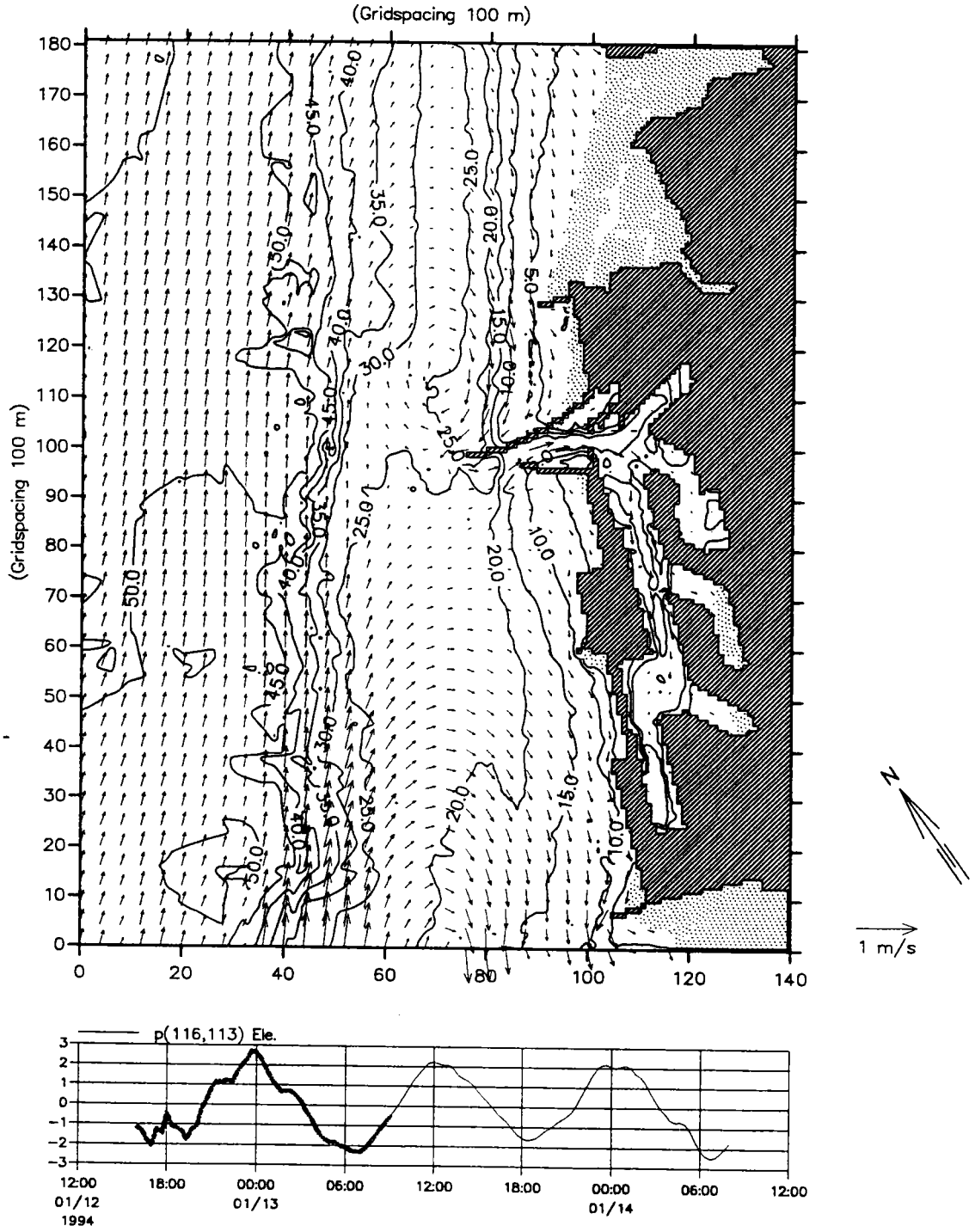


圖4-7-11g　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　09:00:00)

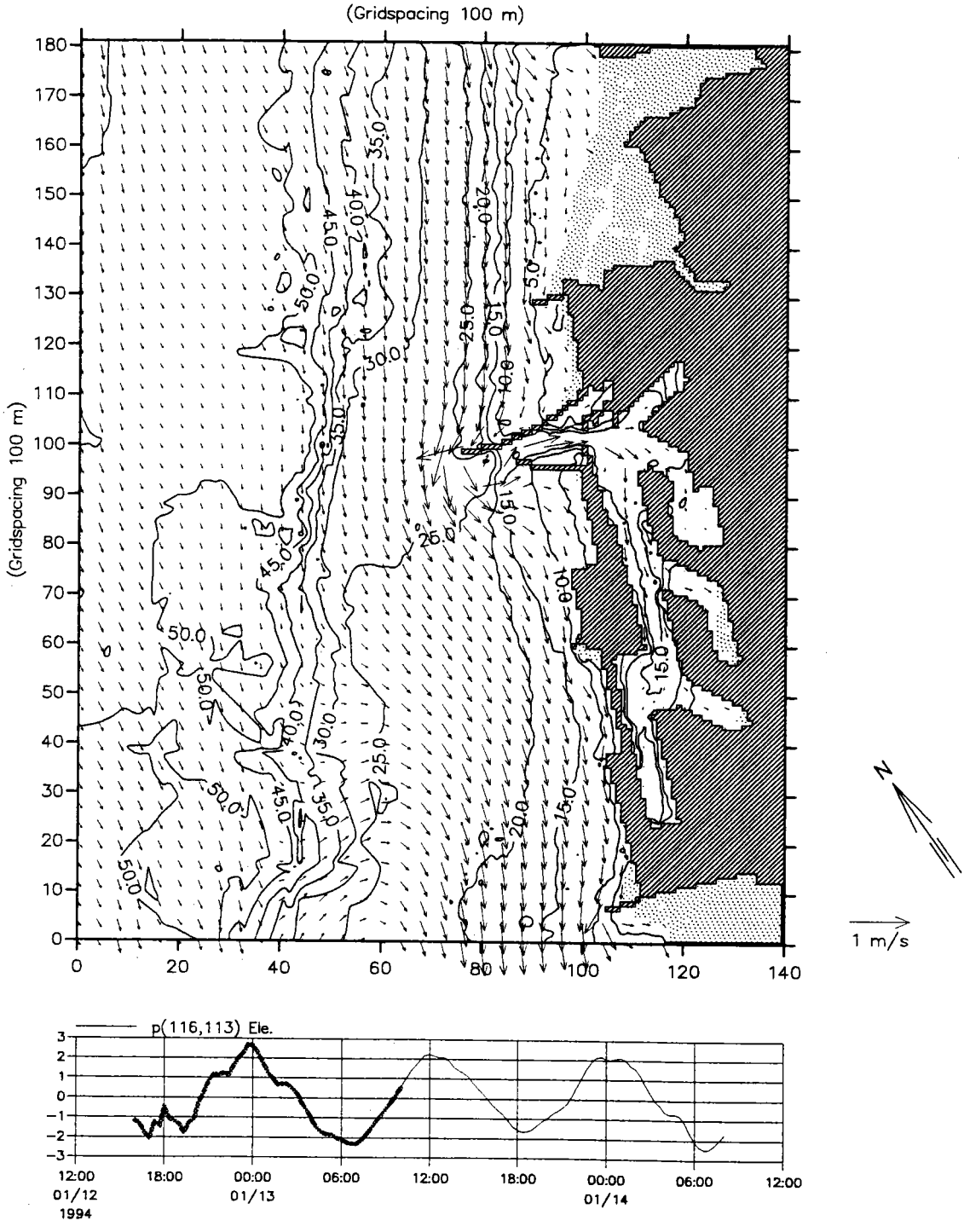


圖4-7-11h　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　10:00:00)

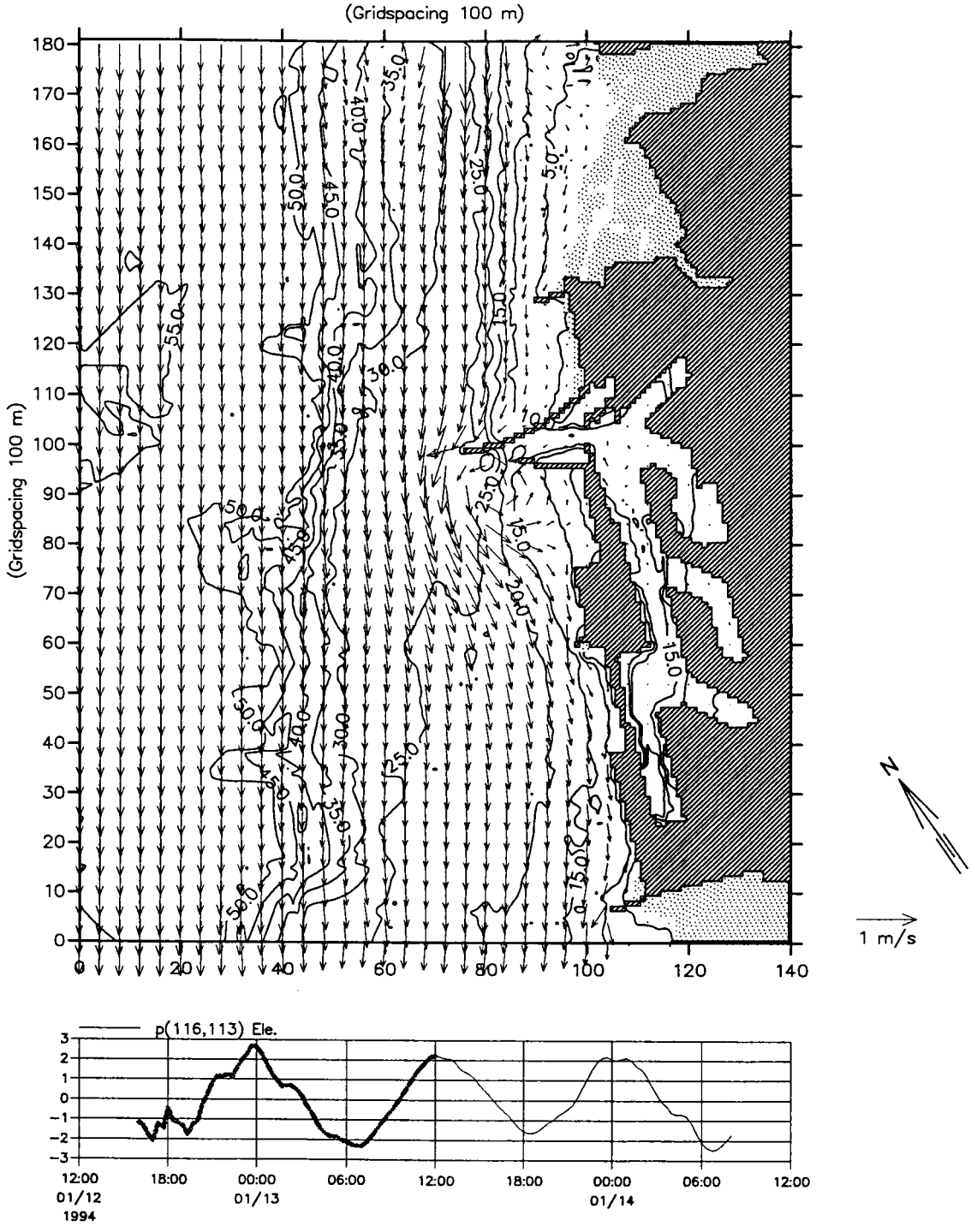


圖4-7-11i　台中港小域計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　12:00:00)

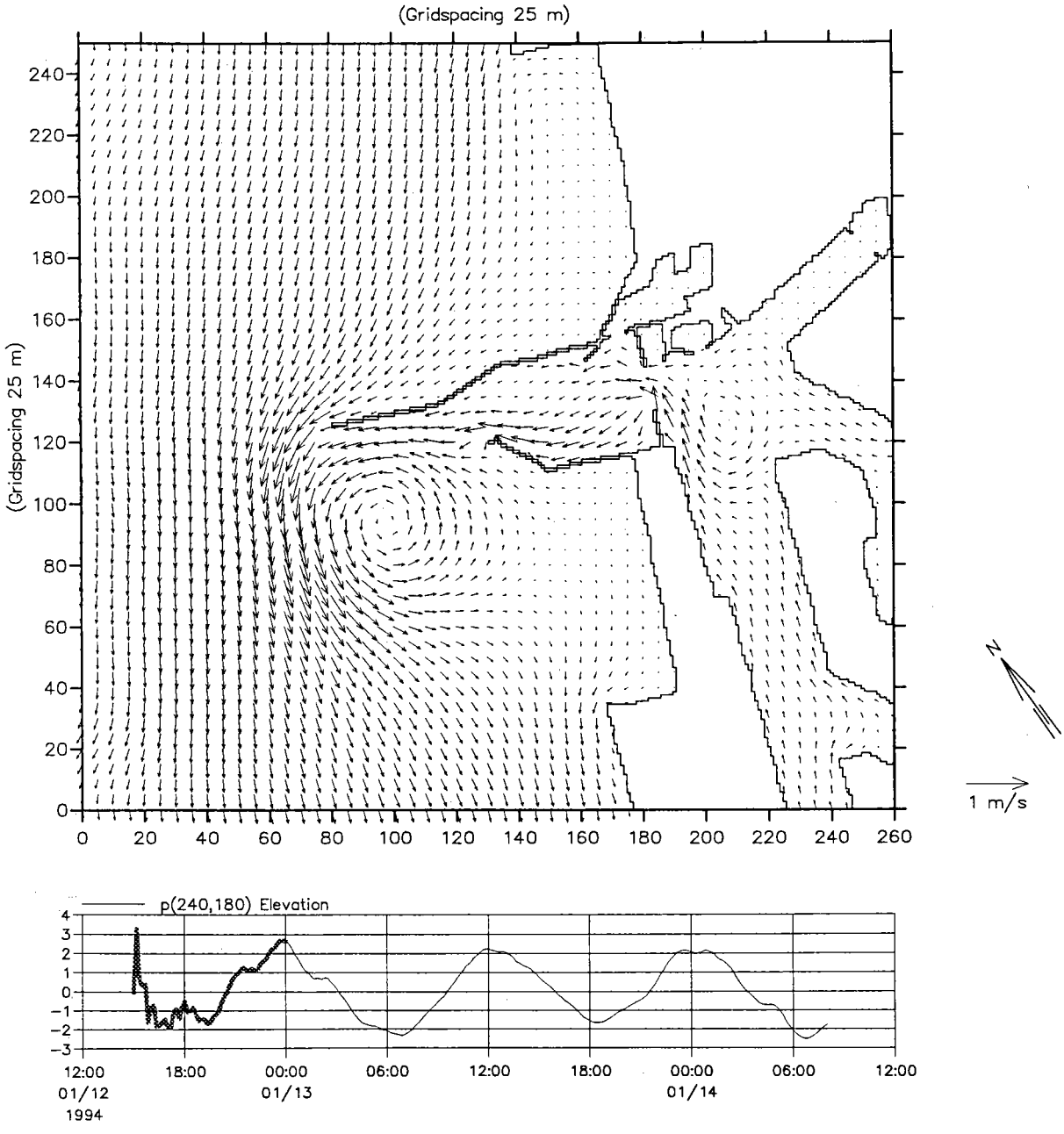


圖4-7-12a　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　00:00:00)

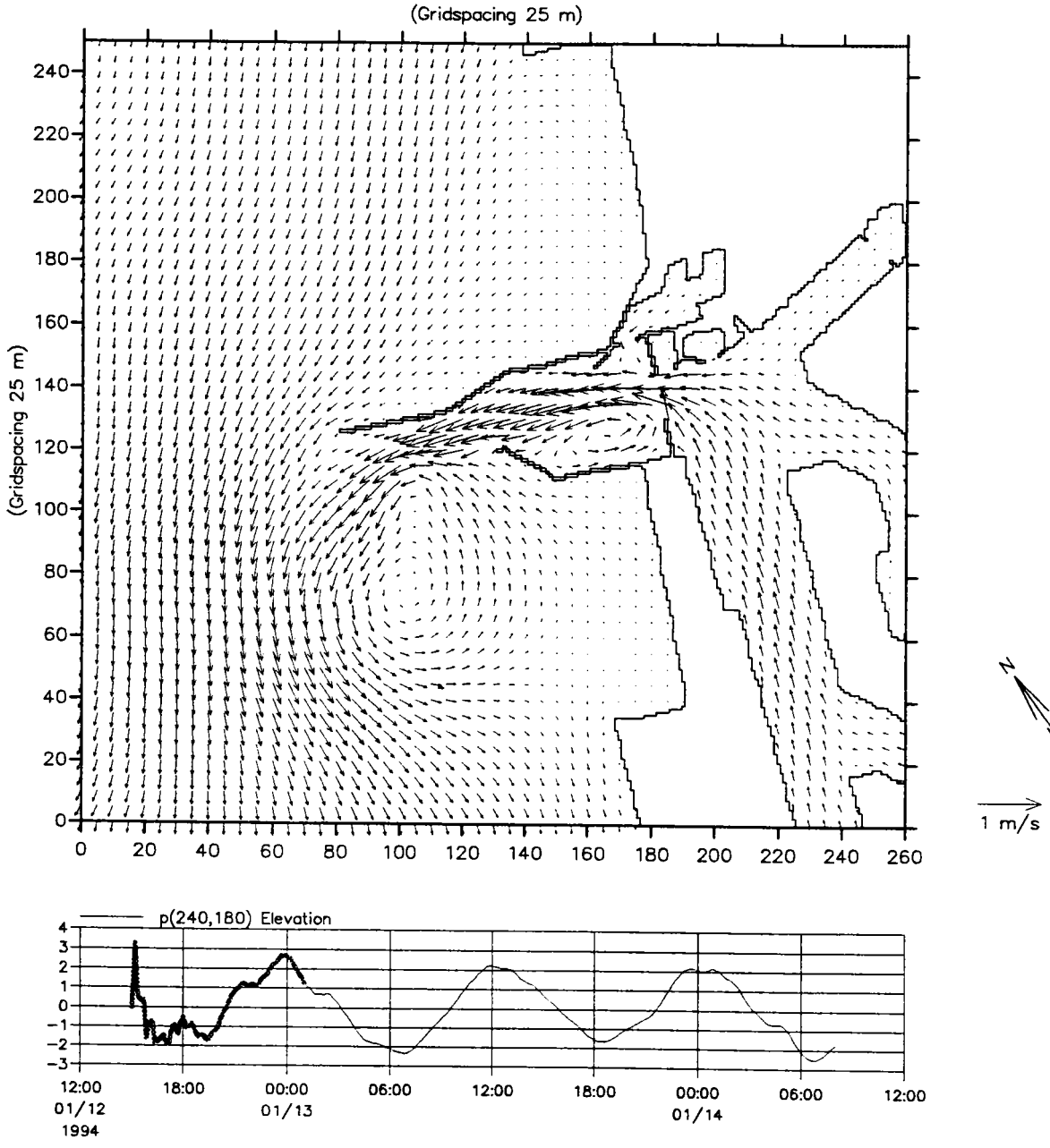


圖4-7-12b　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　01:00:00)

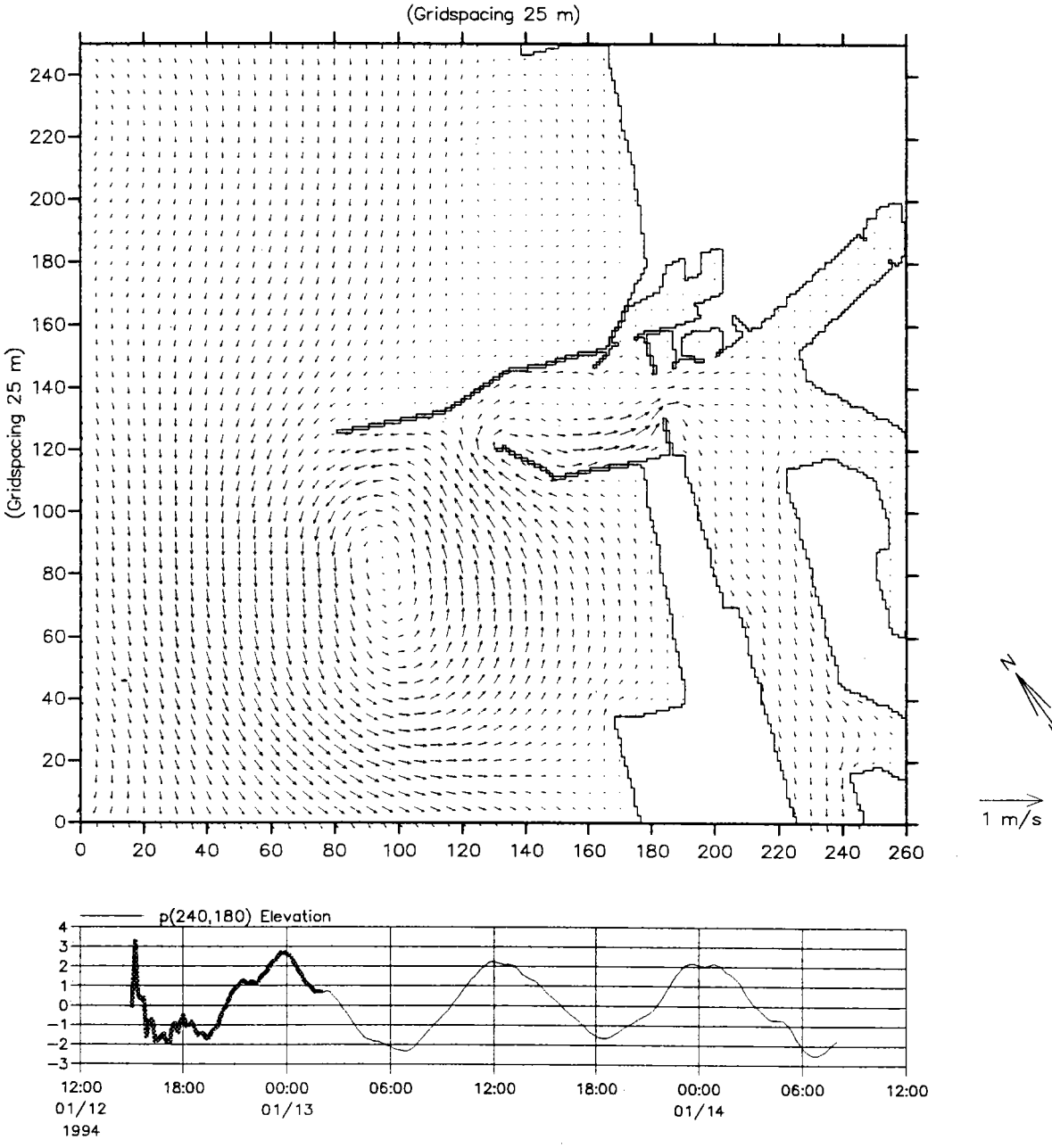


圖4-7-12c　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　02:00:00)

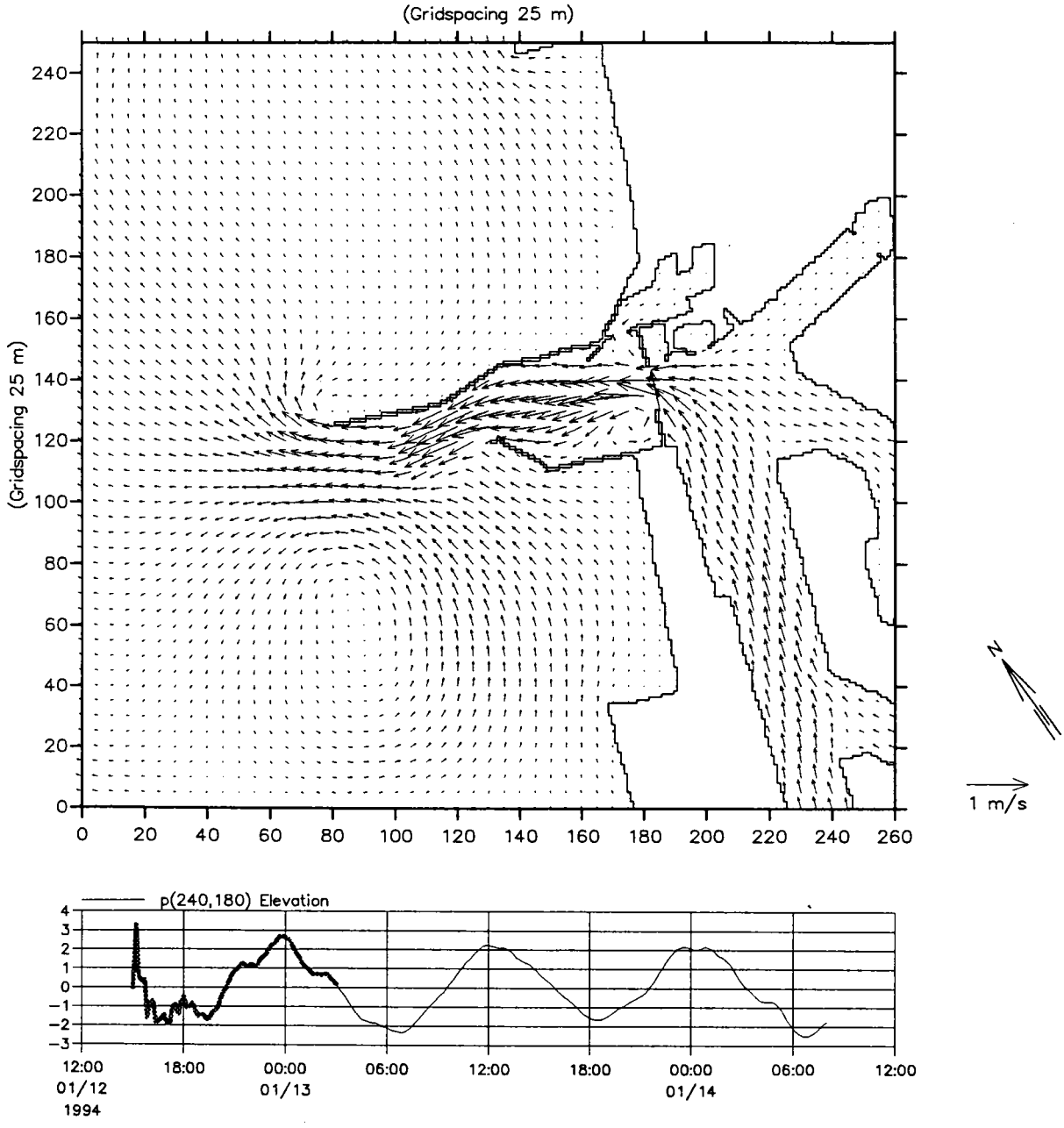


圖4-7-12d　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　03:00:00)

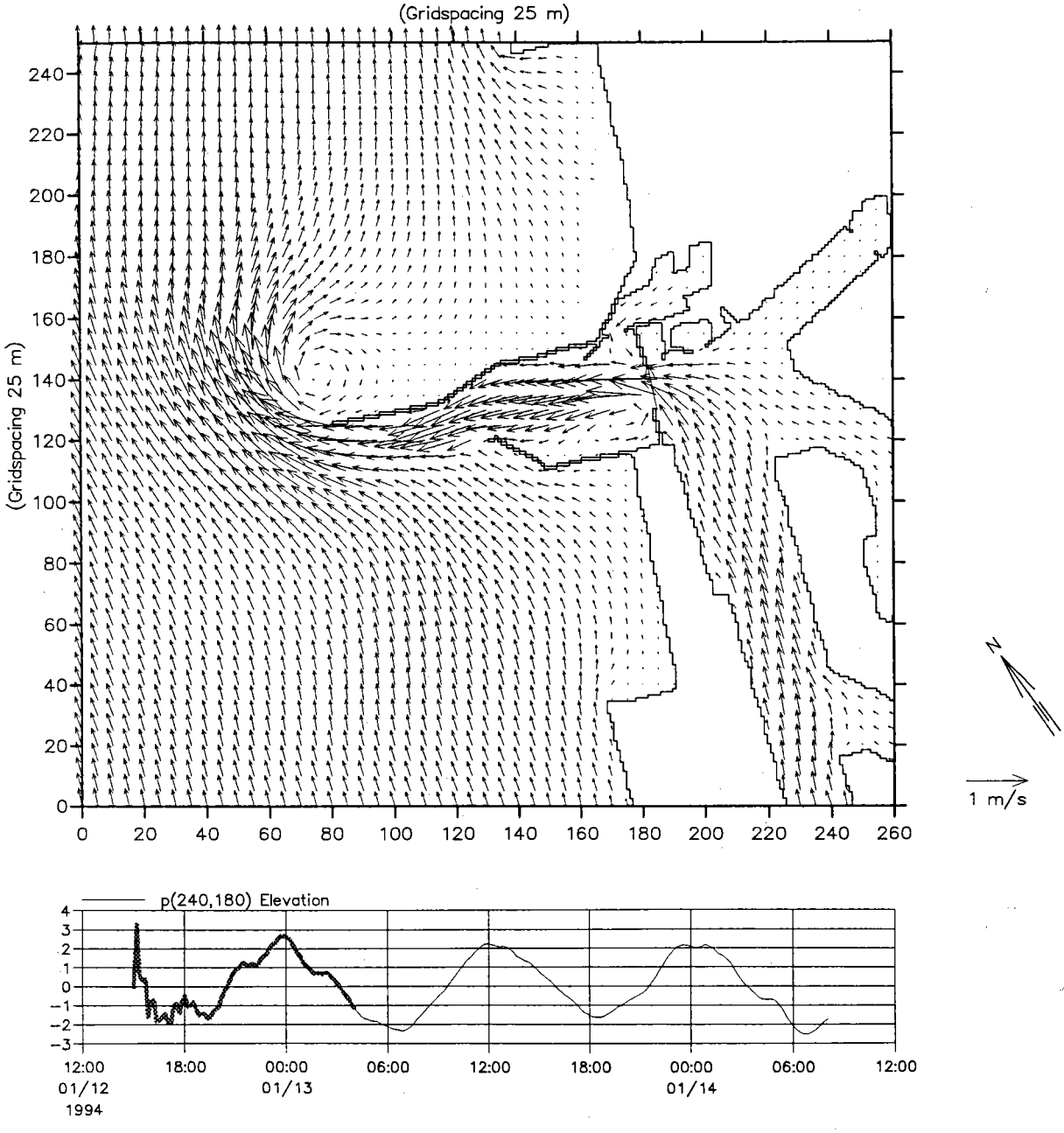


圖4-7-12e　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　04:00:00)

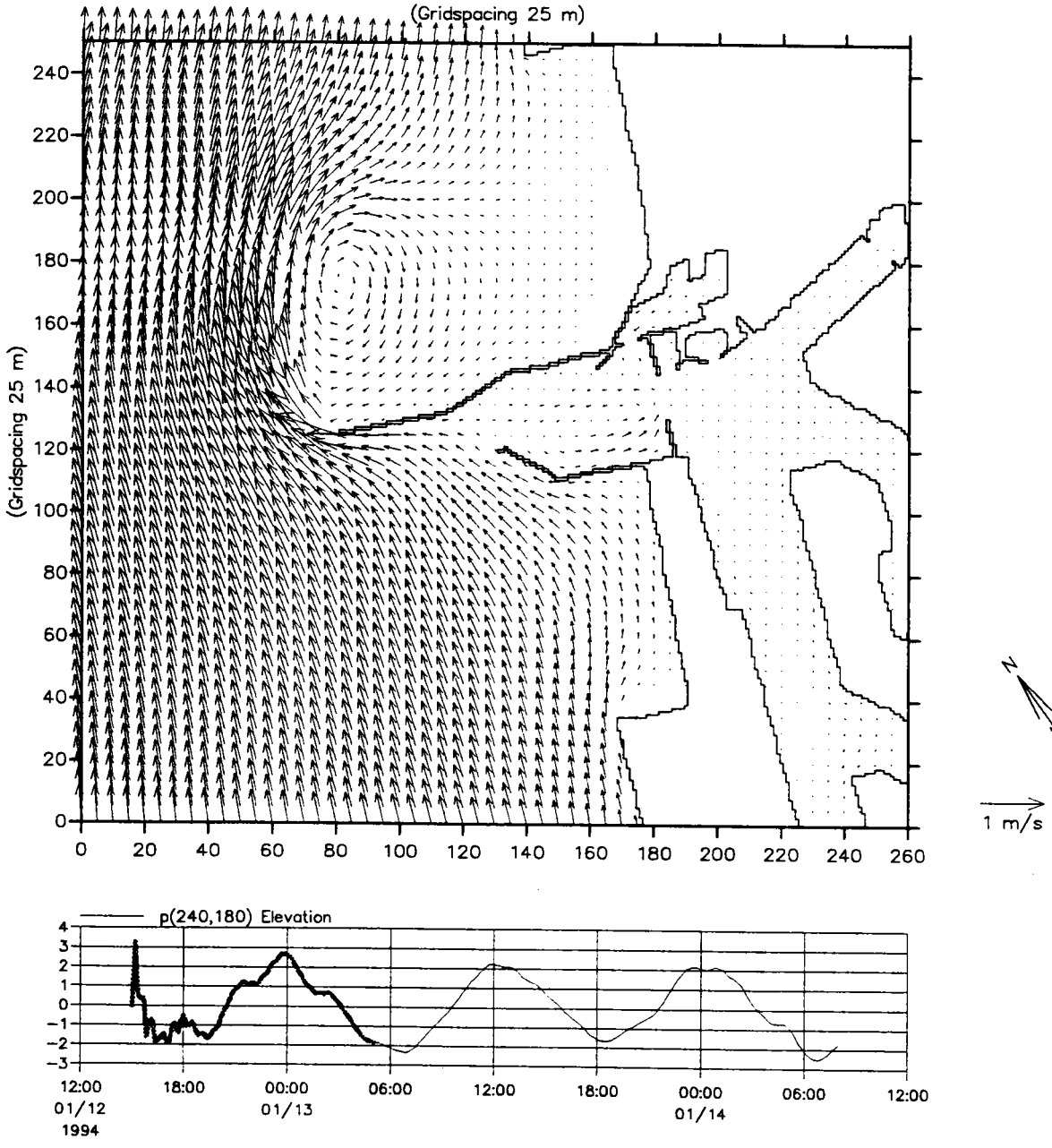


圖4-7-12f　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　05:00:00)

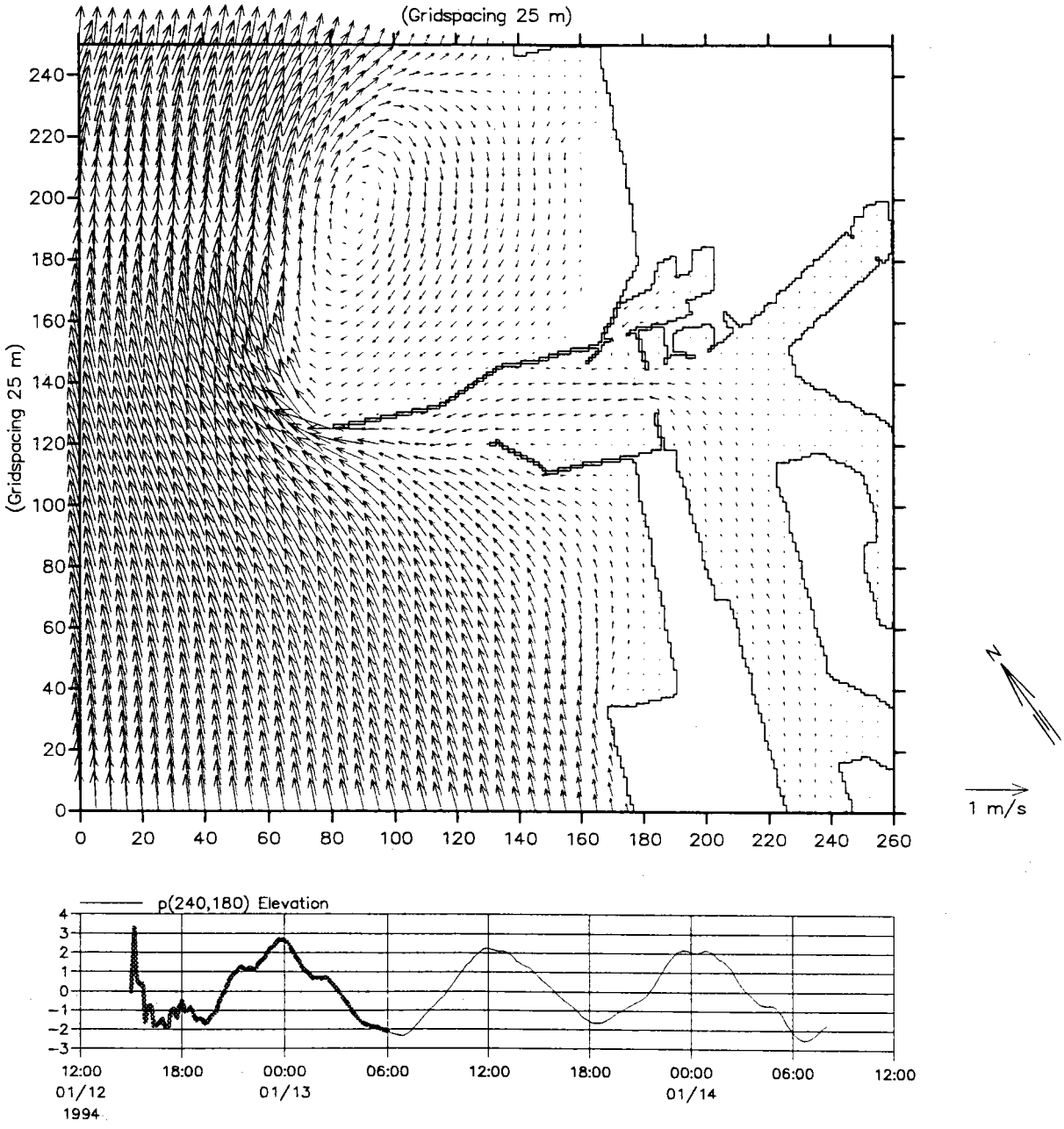


圖4-7-12g　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　06:00:00)

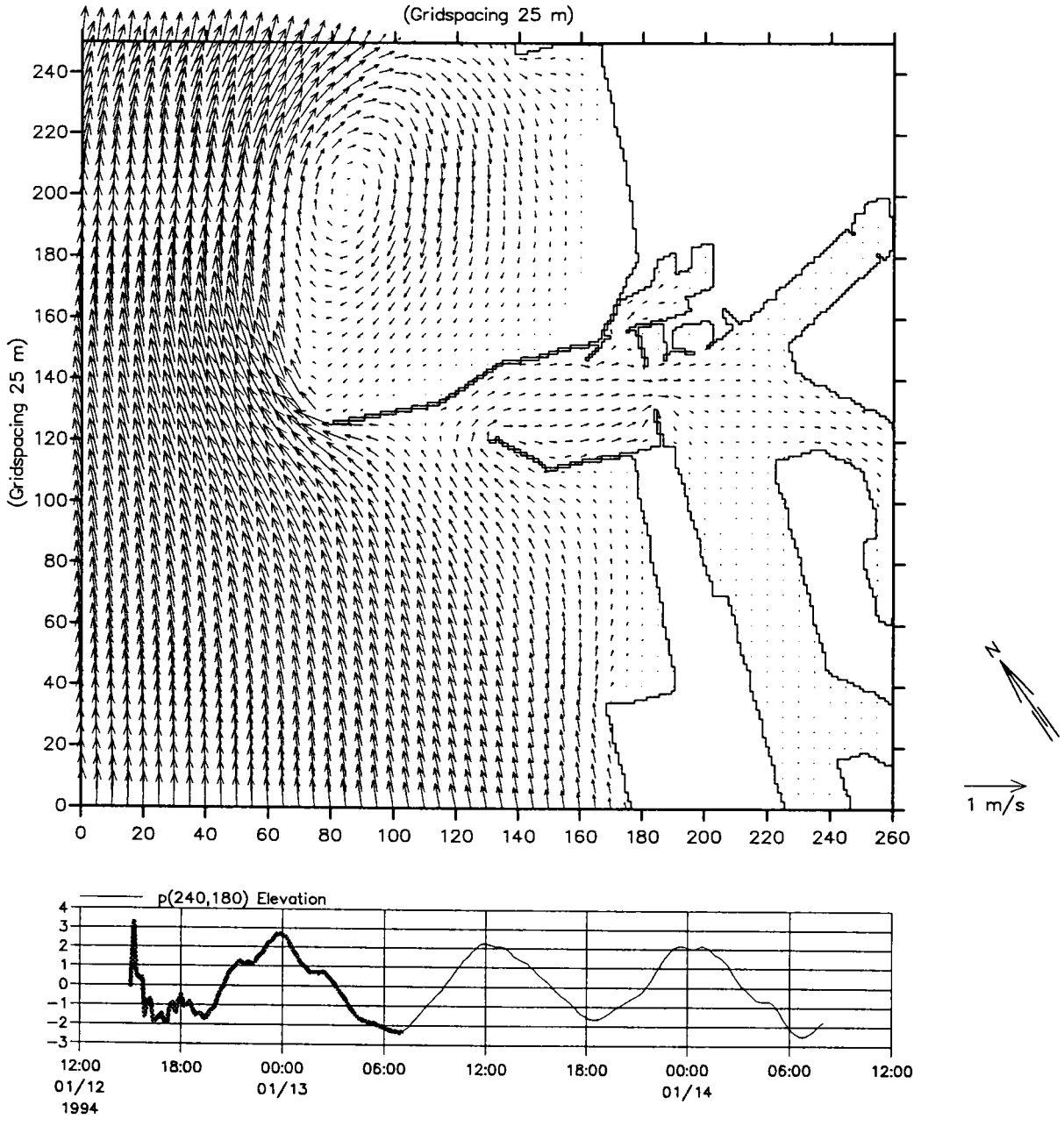


圖4-7-12h　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　07:00:00)

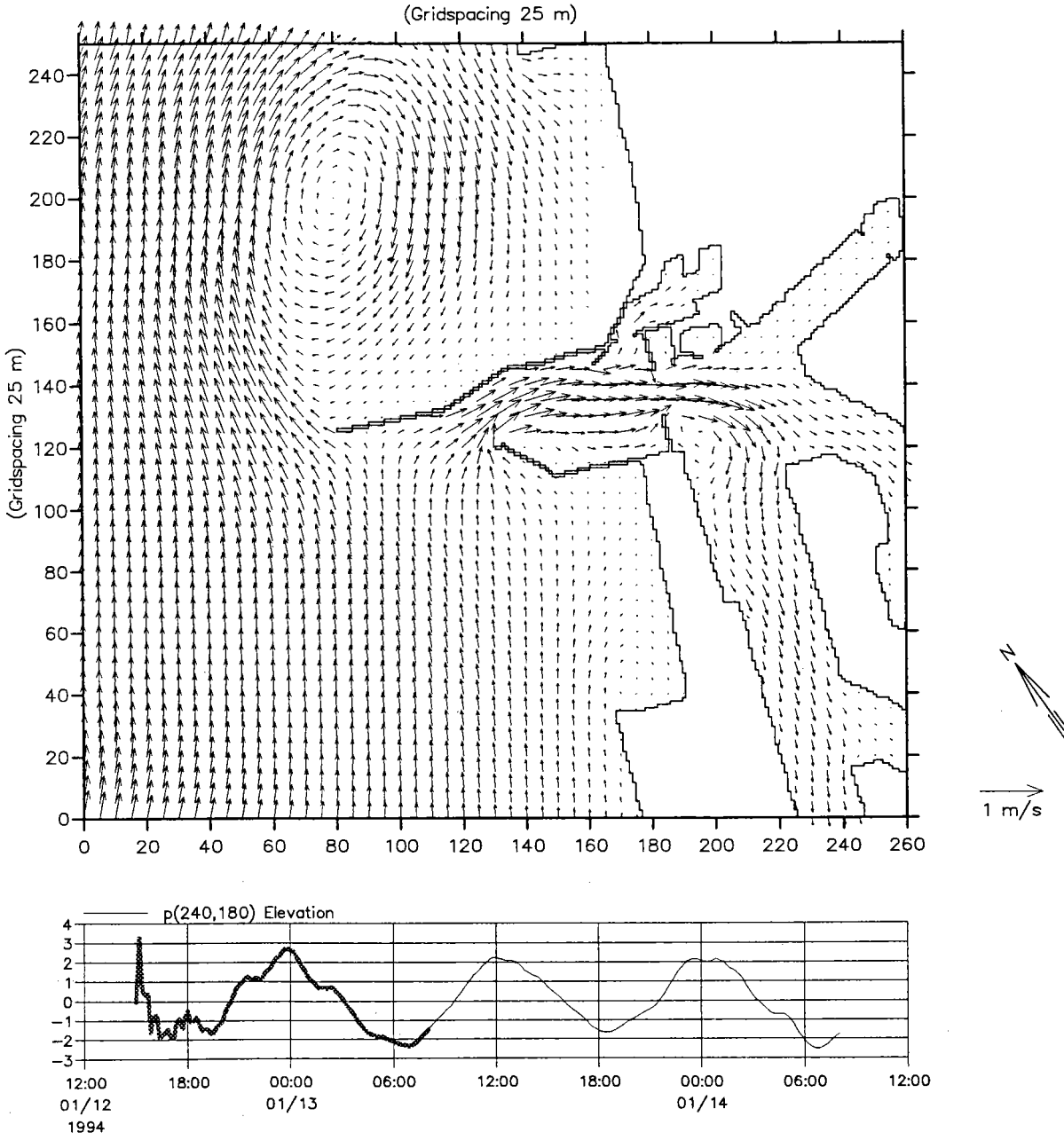


圖4-7-12i　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　08:00:00)

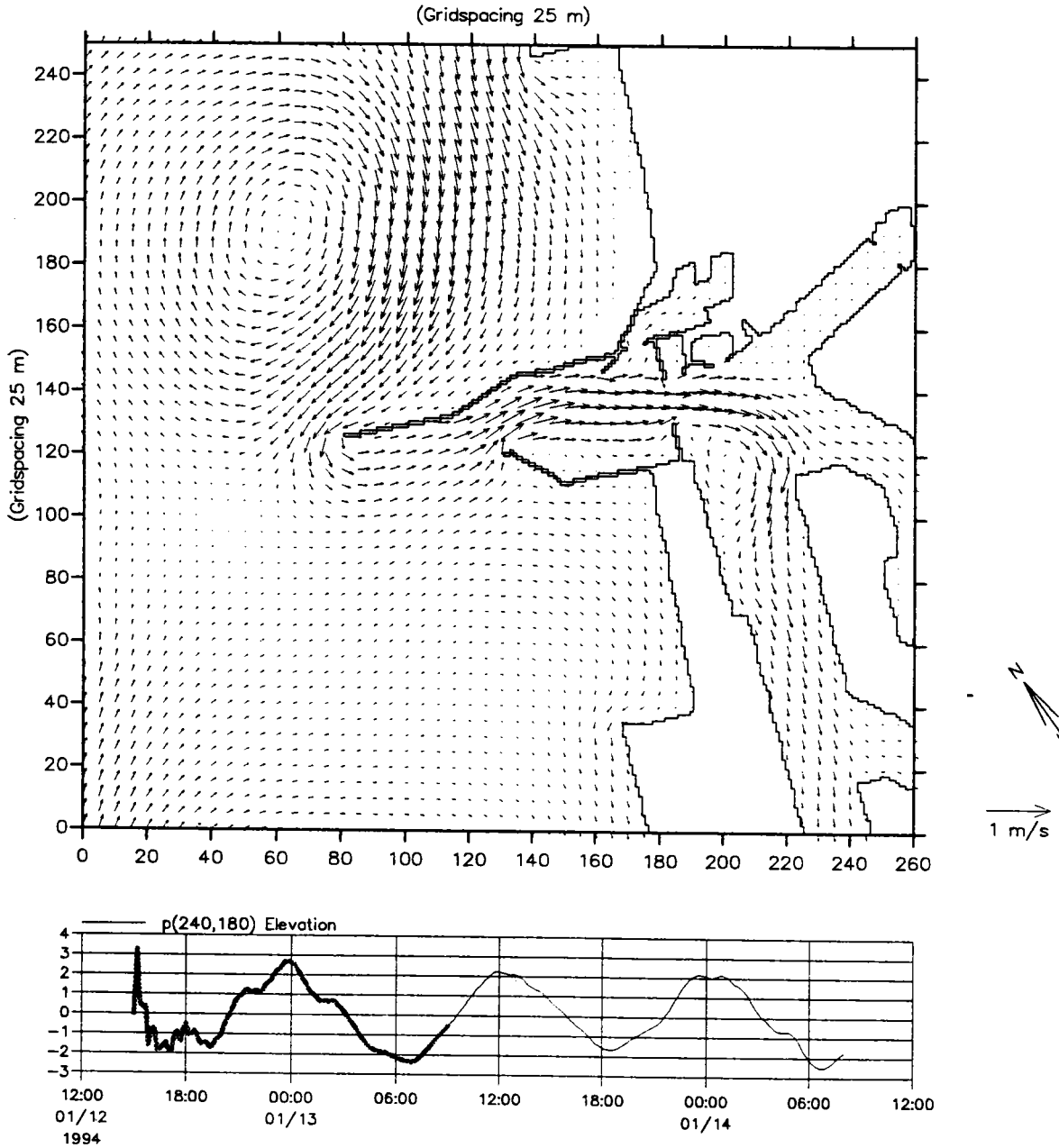


圖4-7-12j　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　09:00:00)

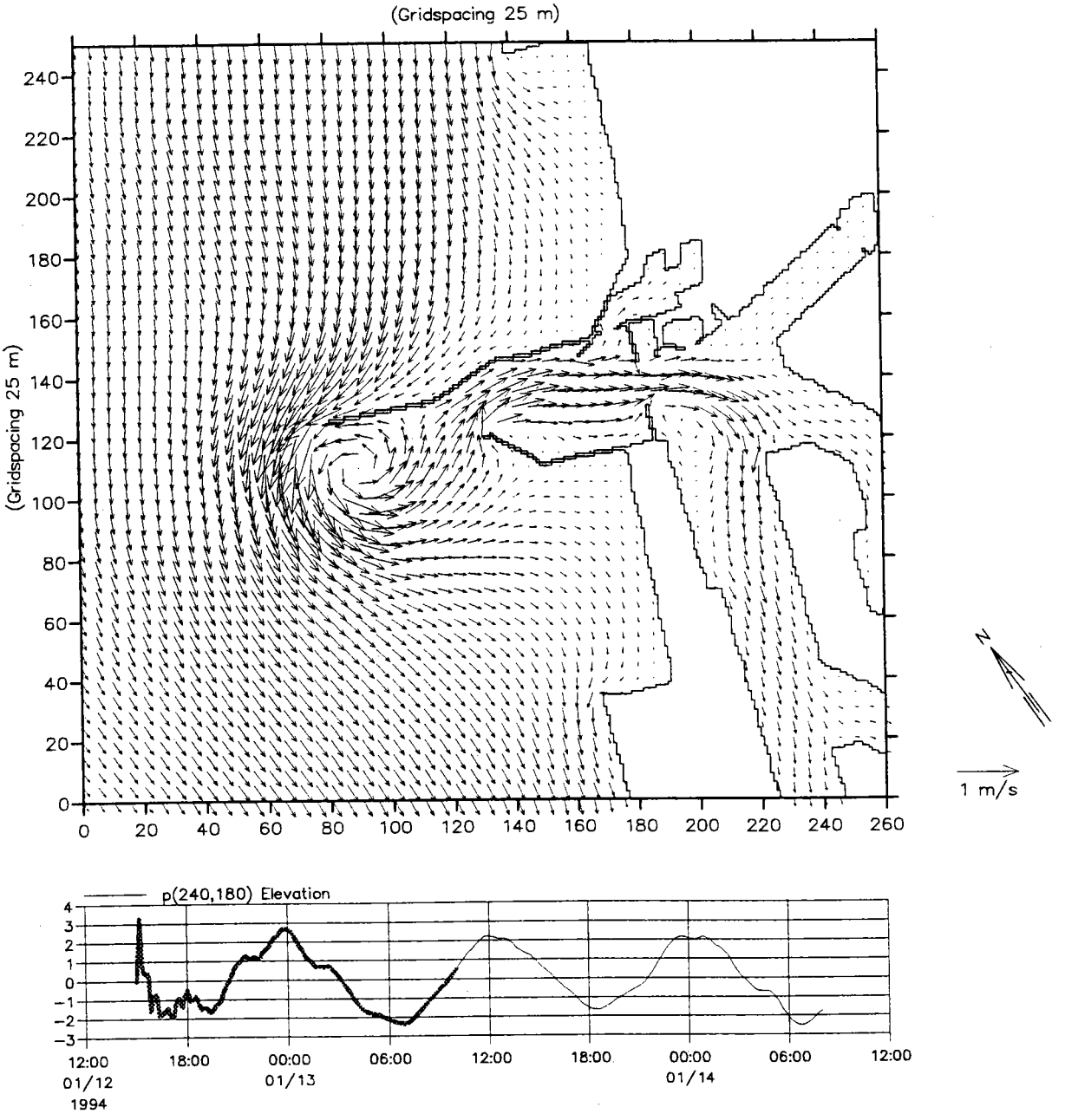


圖4-7-12k　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　10:00:00)

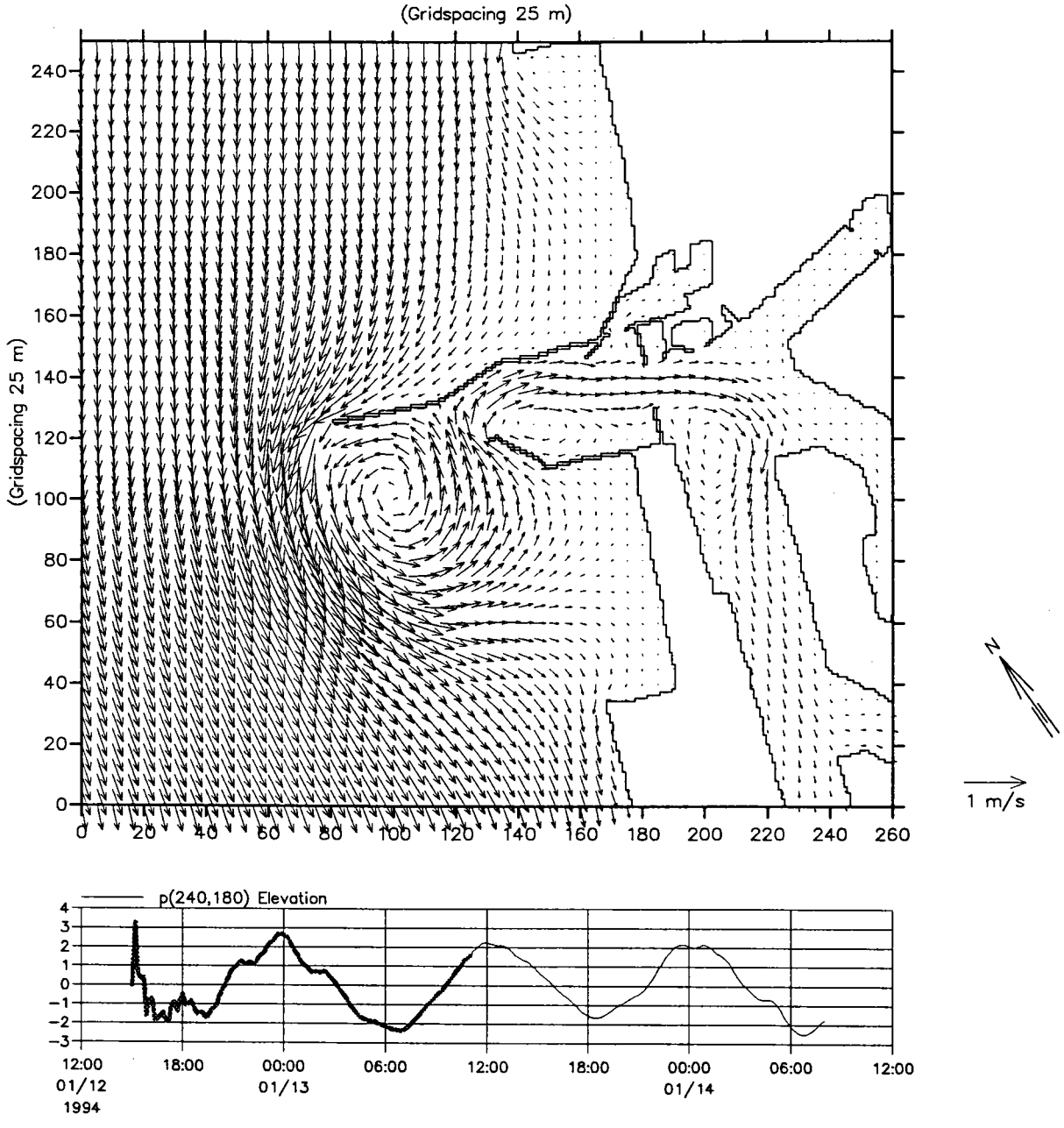


圖4-7-12ℓ 台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13 11:00:00)

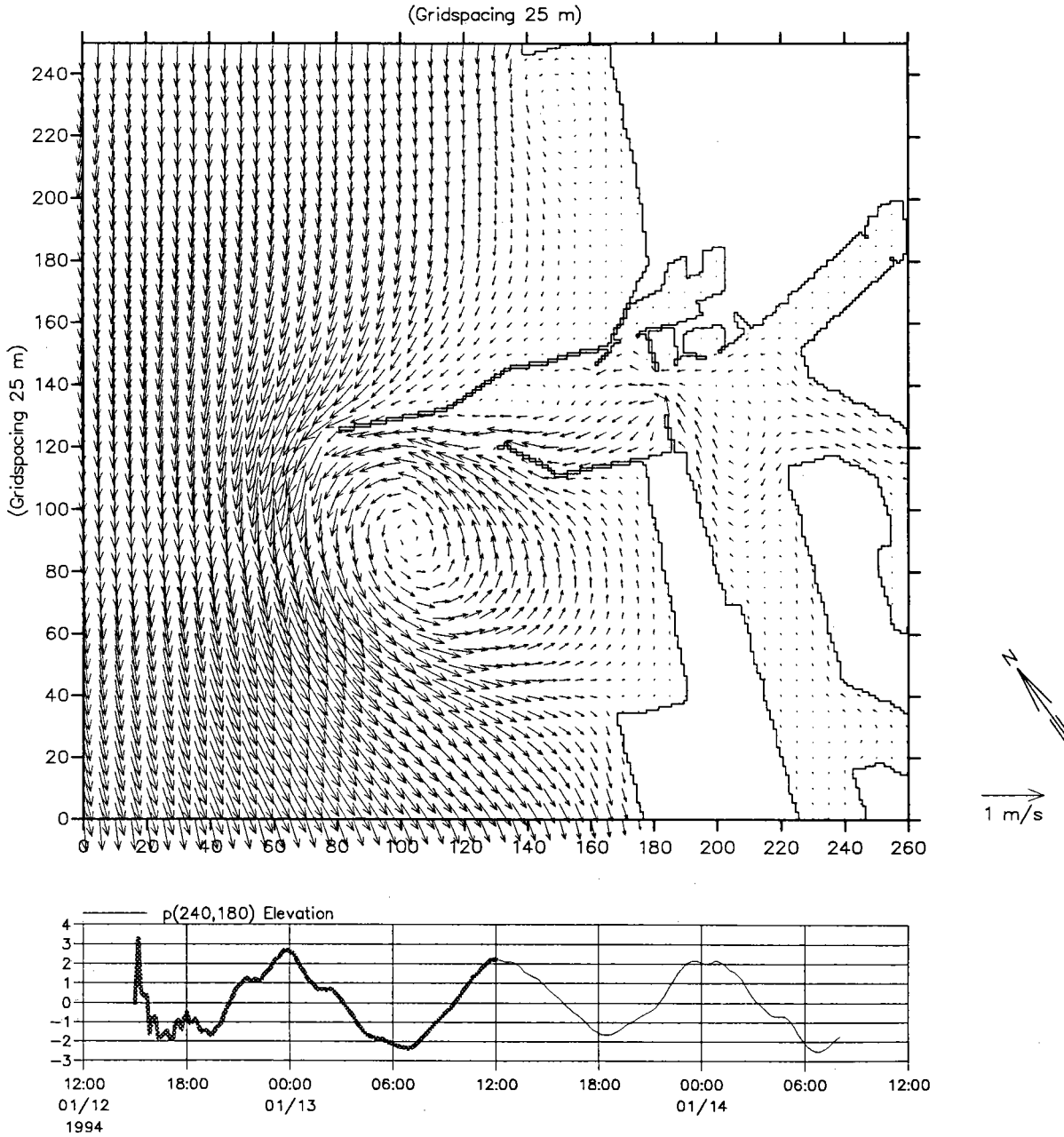


圖4-7-12m　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　12:00:00)

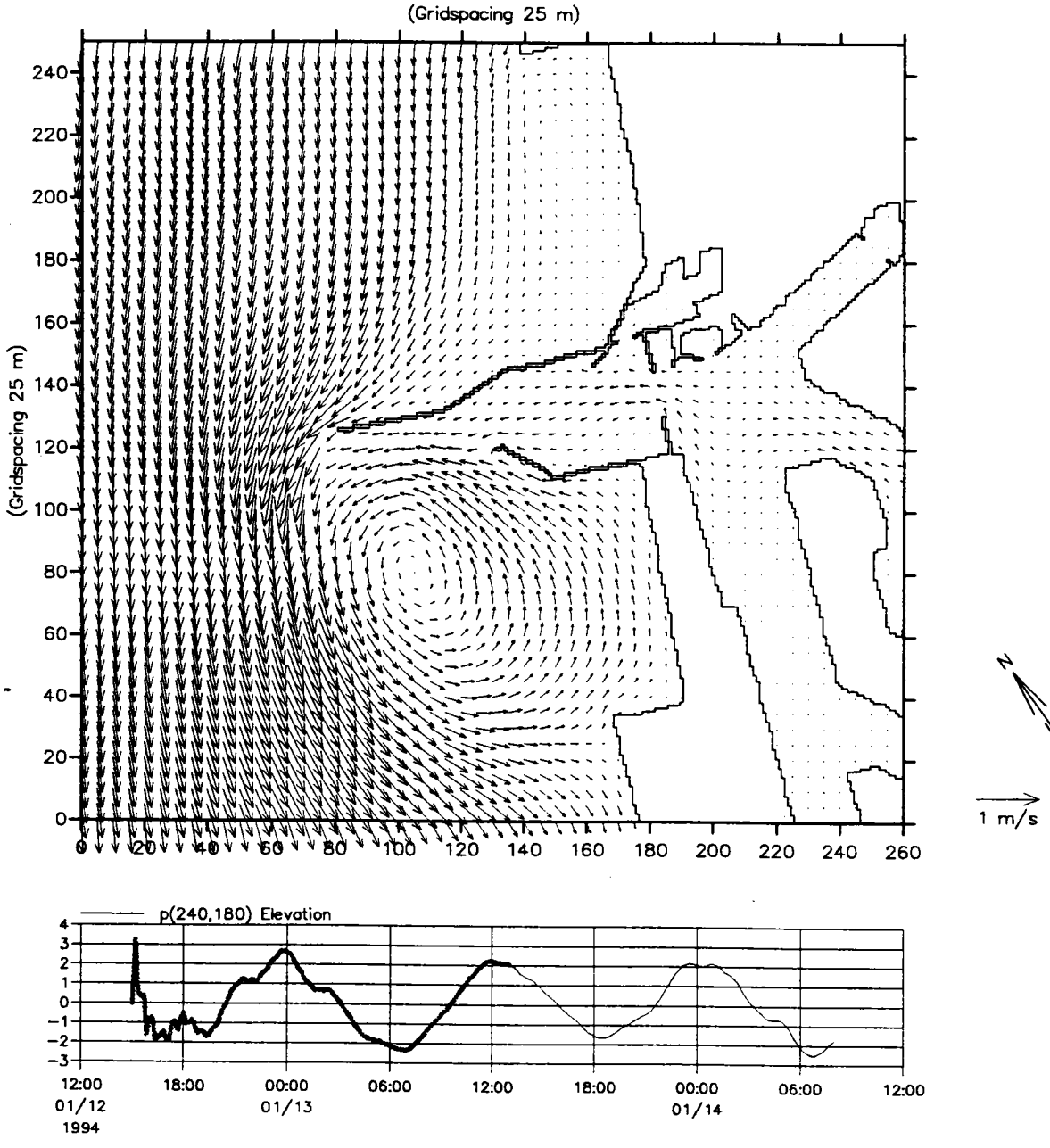


圖4-7-12n　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　13:00:00)

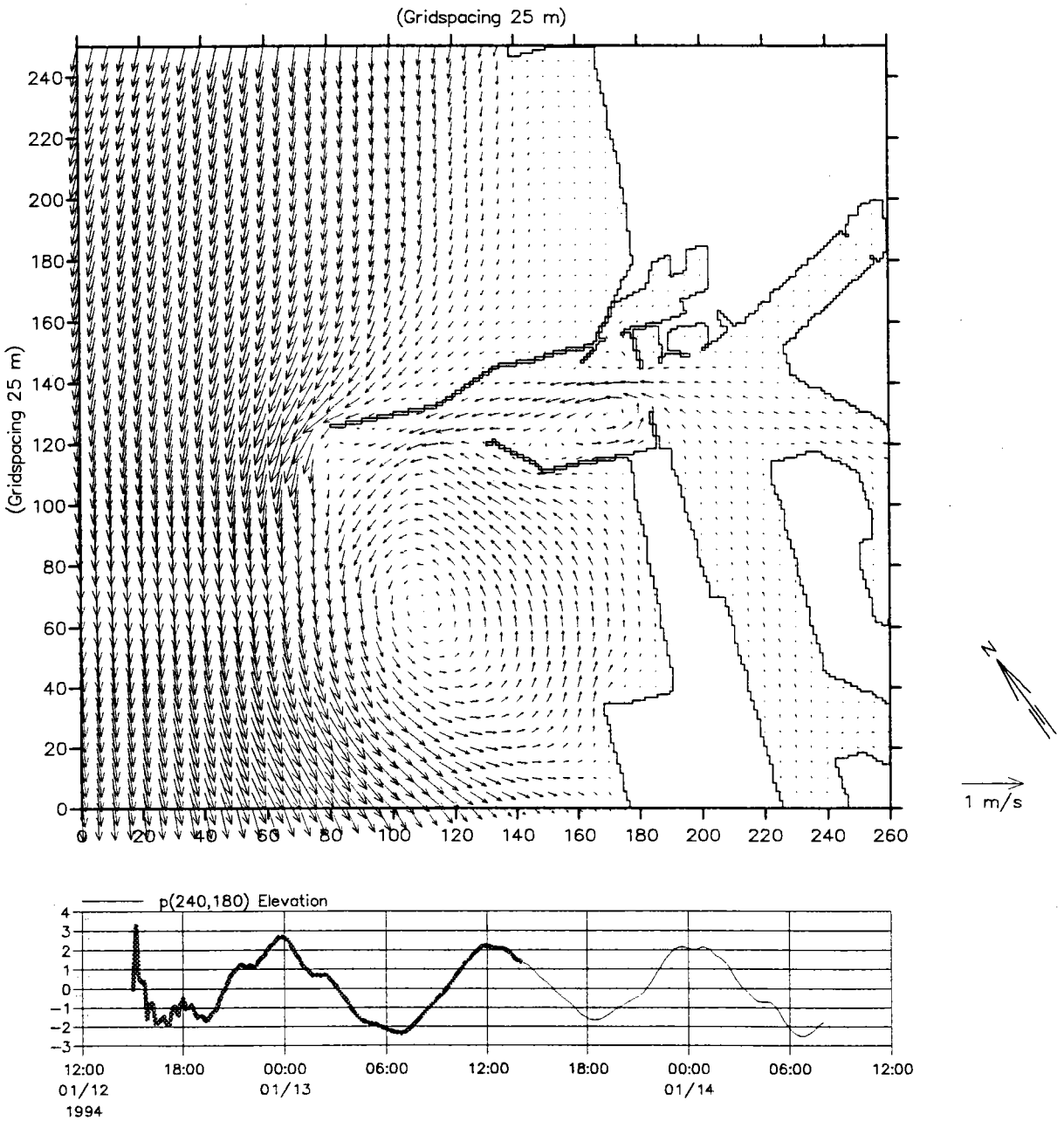


圖4-7-12o　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　14:00:00)

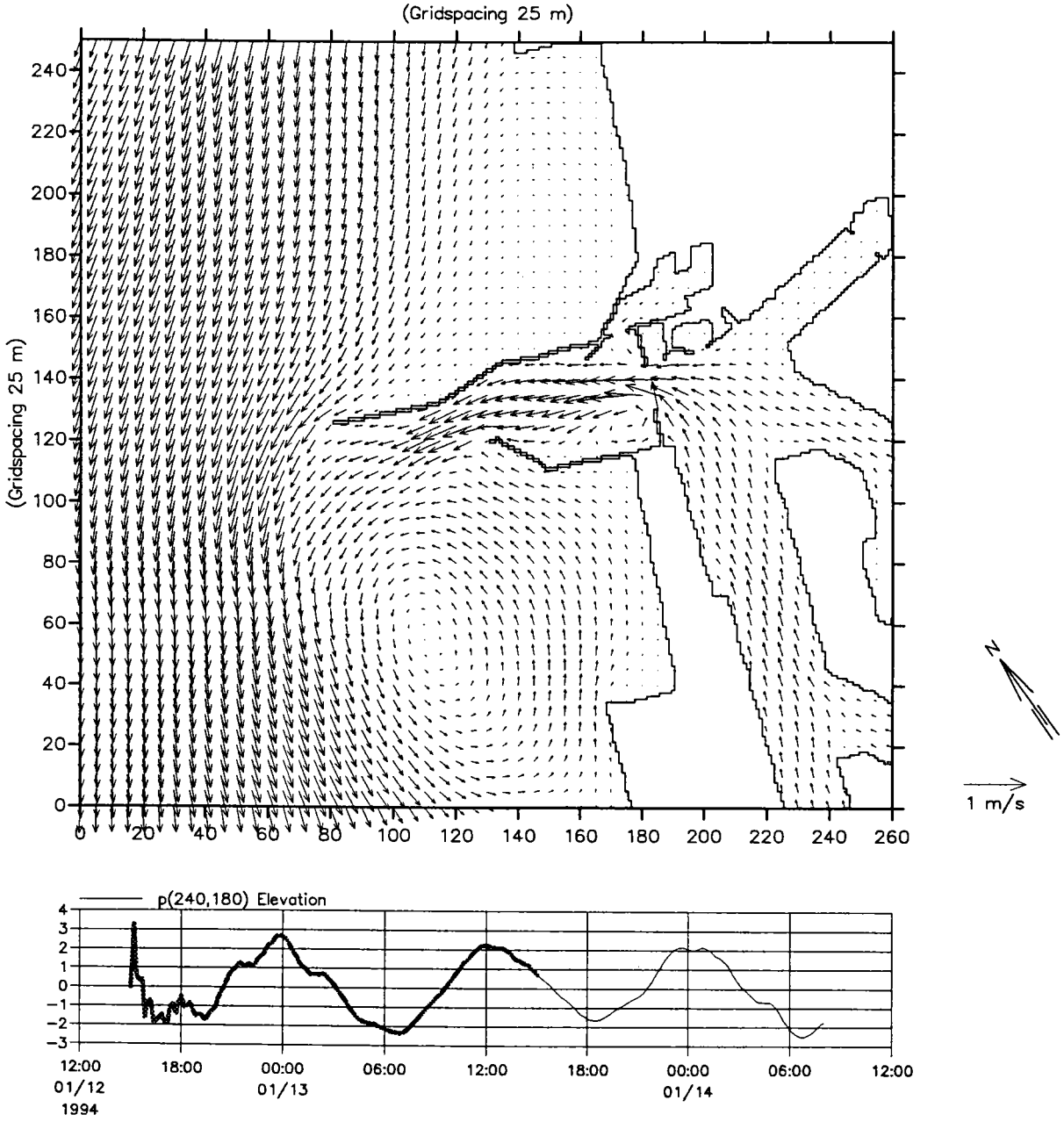


圖4-7-12p　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　15:00:00)

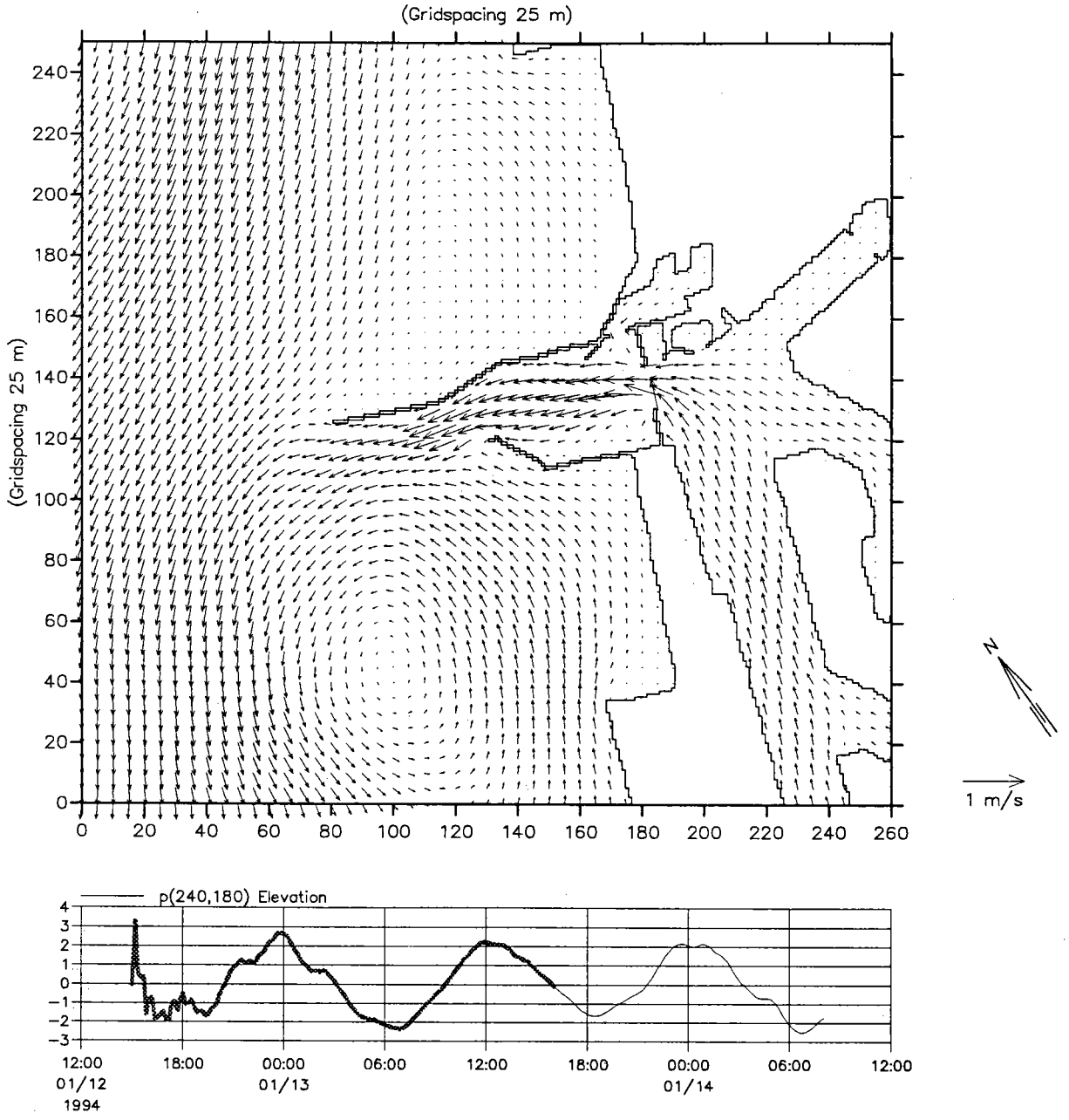


圖4-7-12q　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　16:00:00)

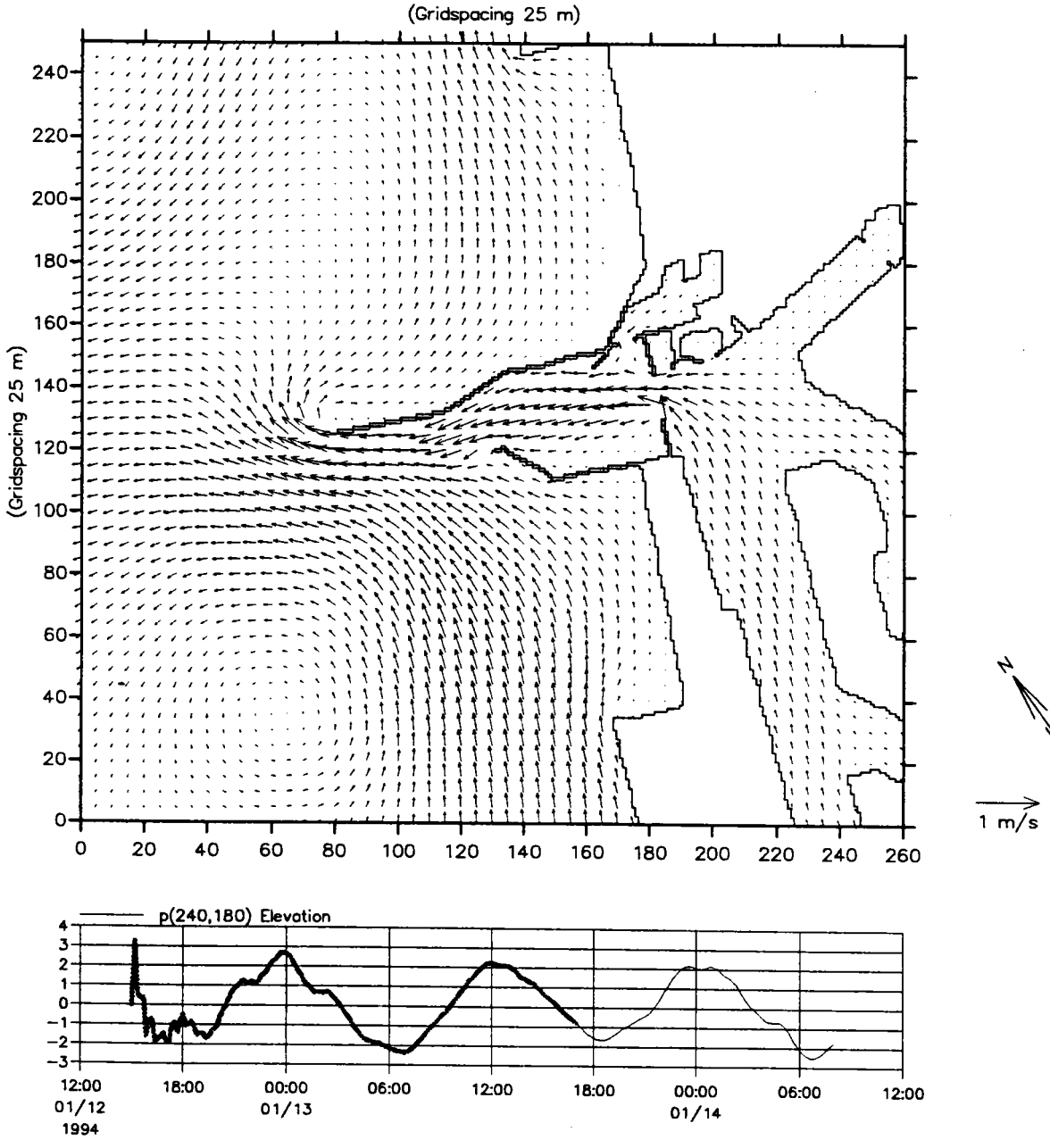


圖4-7-12r　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　17:00:00)

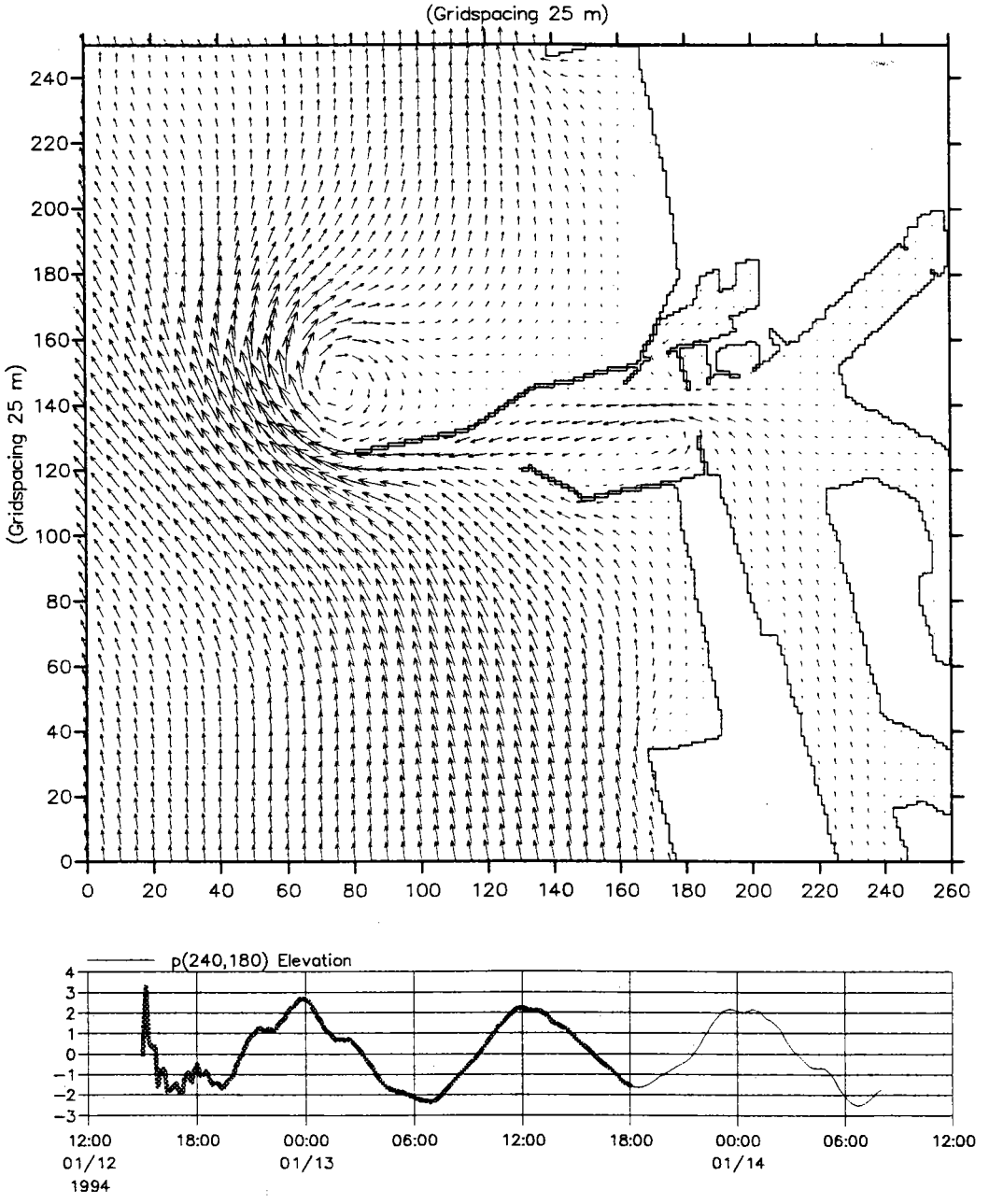


圖4-7-12s　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　18:00:00)

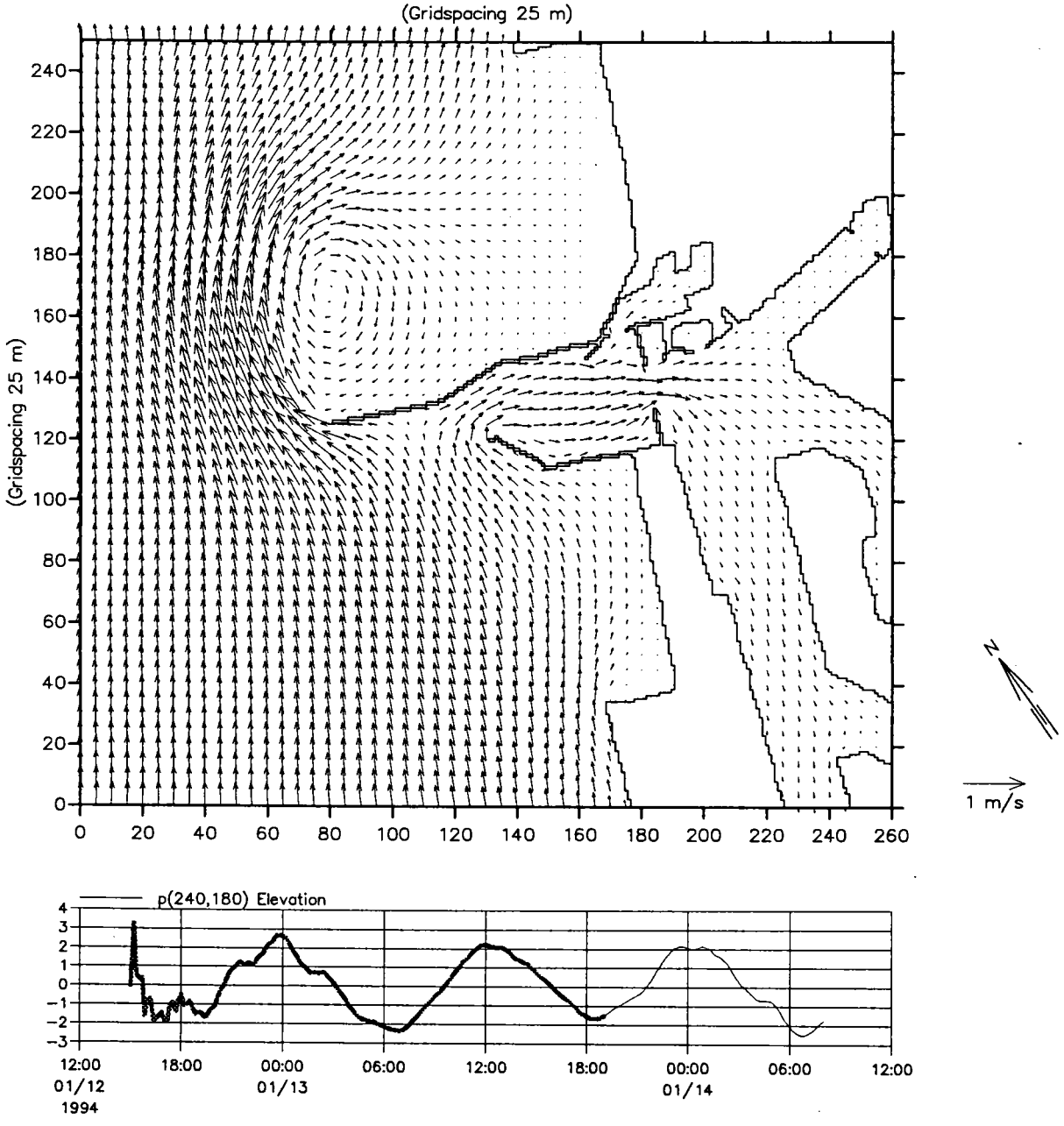


圖4-7-12t　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　19:00:00)

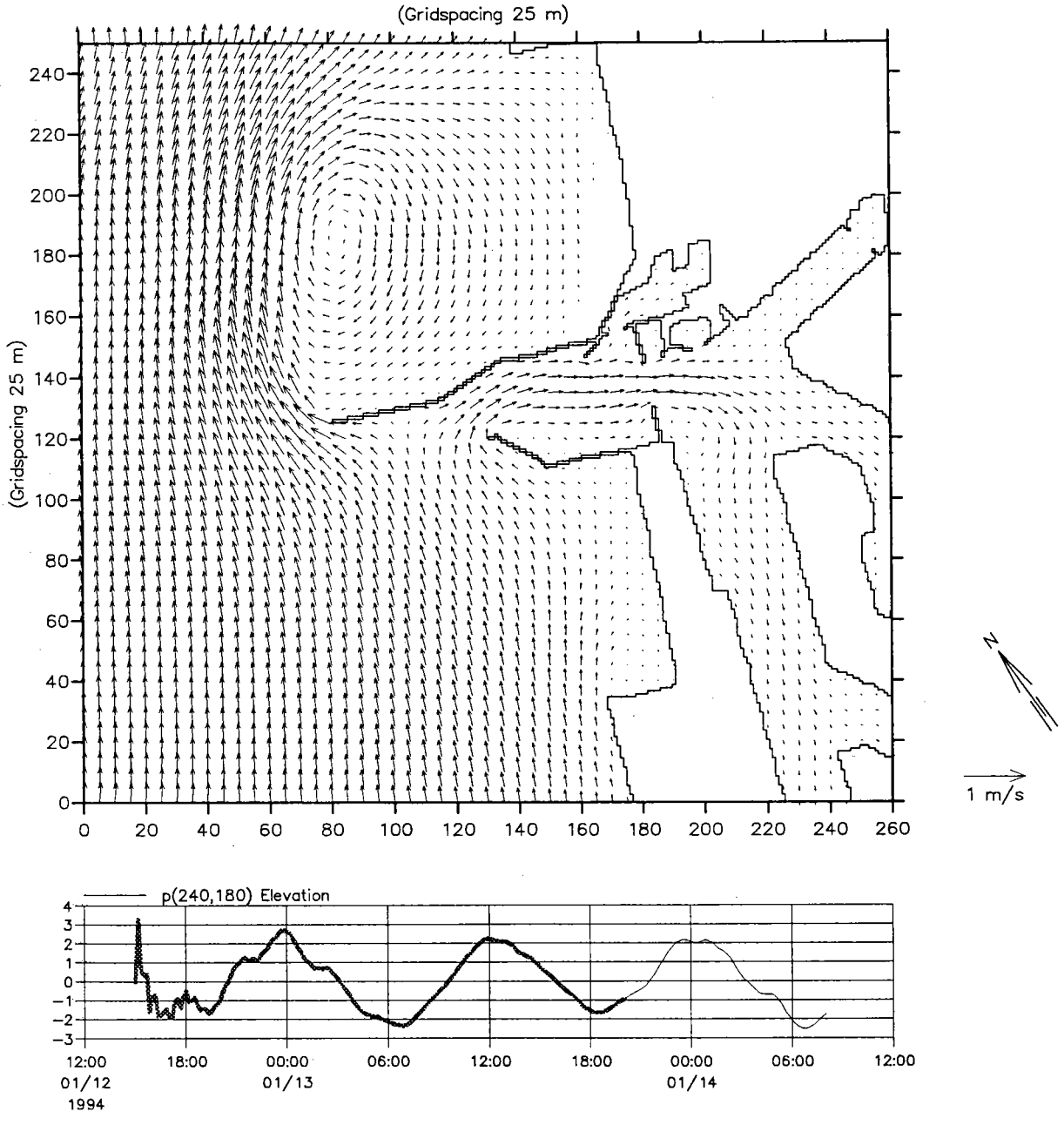


圖4-7-12u　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　20:00:00)

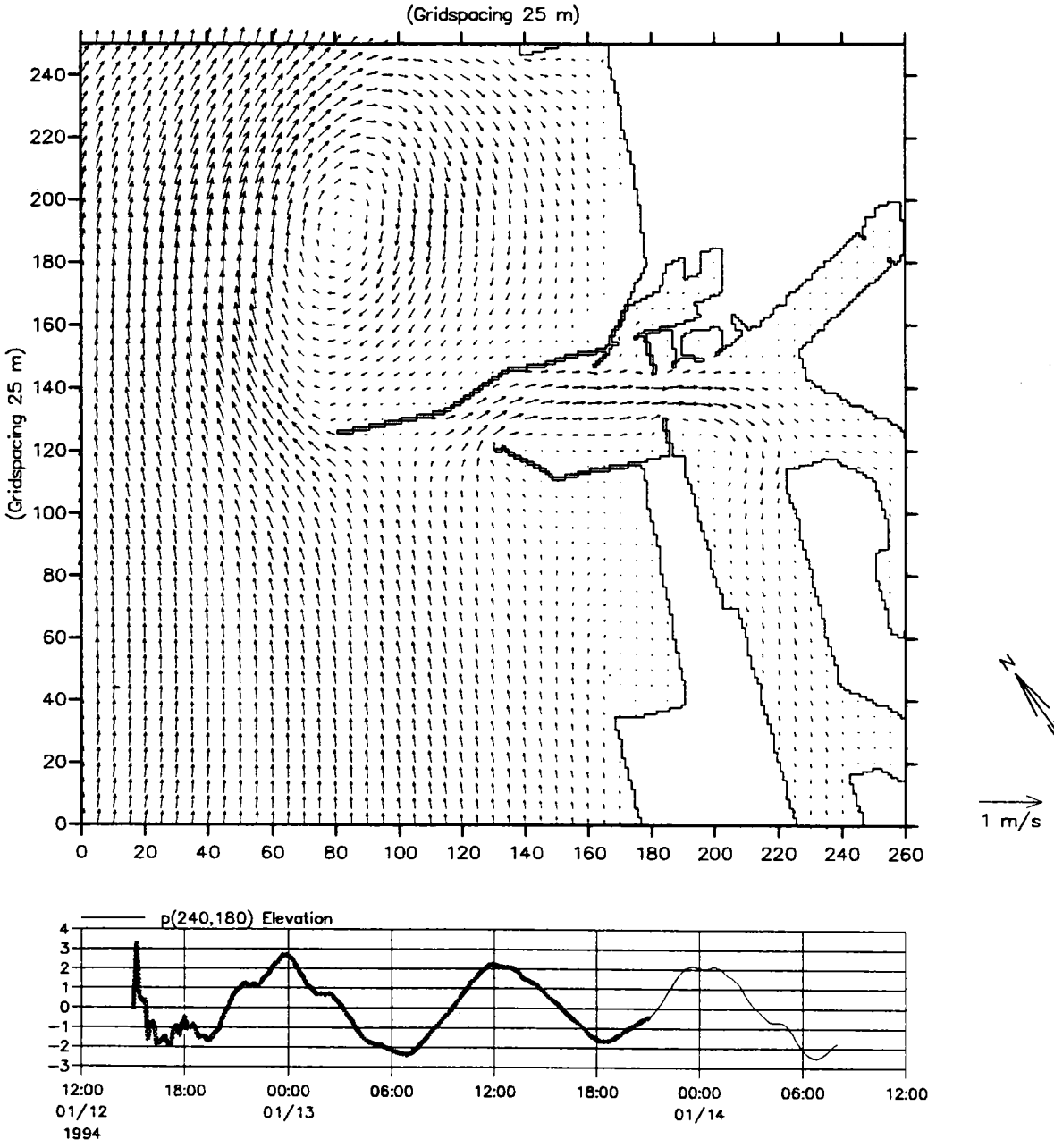


圖4-7-12v　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　21:00:00)

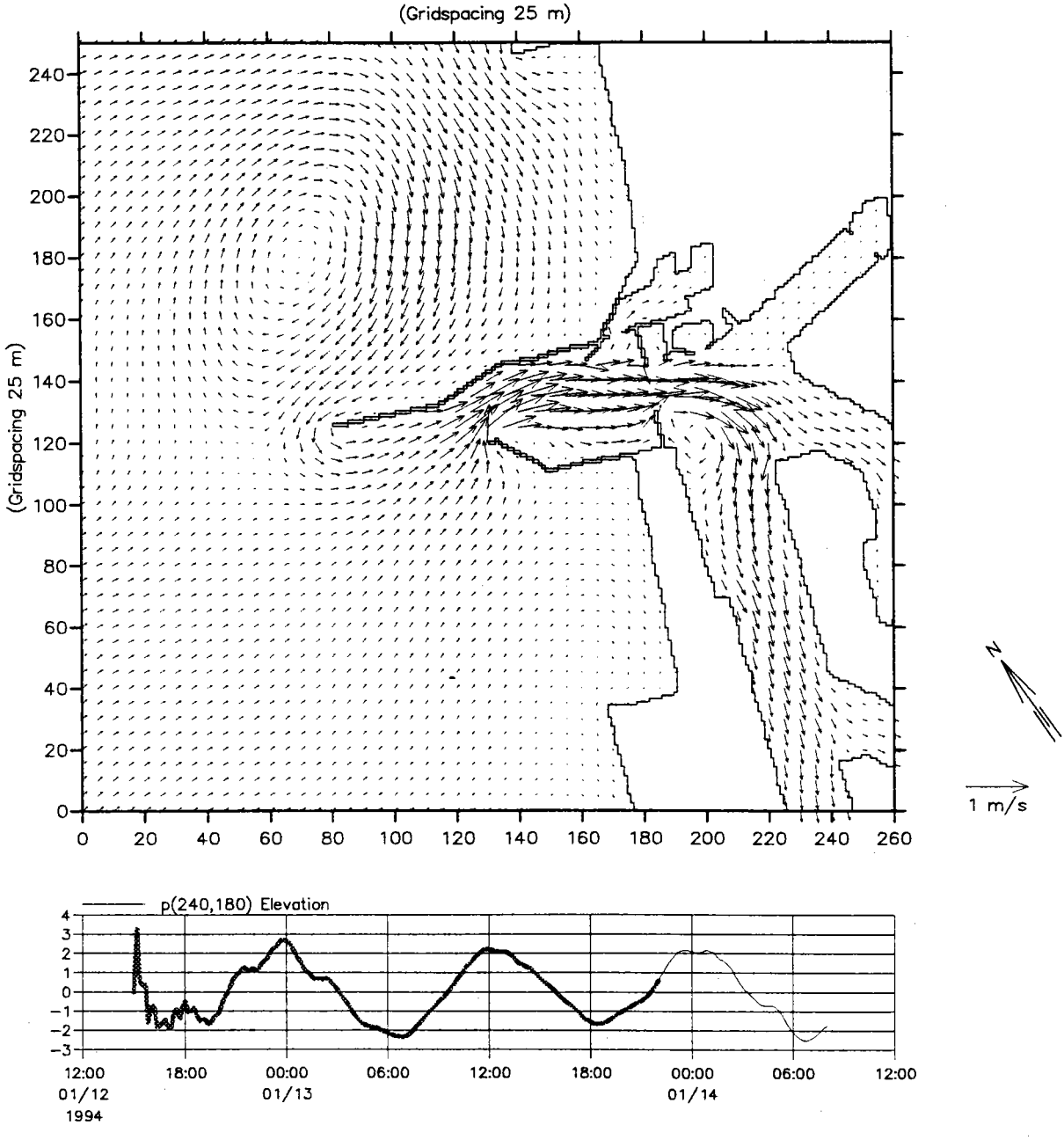


圖4-7-12w　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　22:00:00)

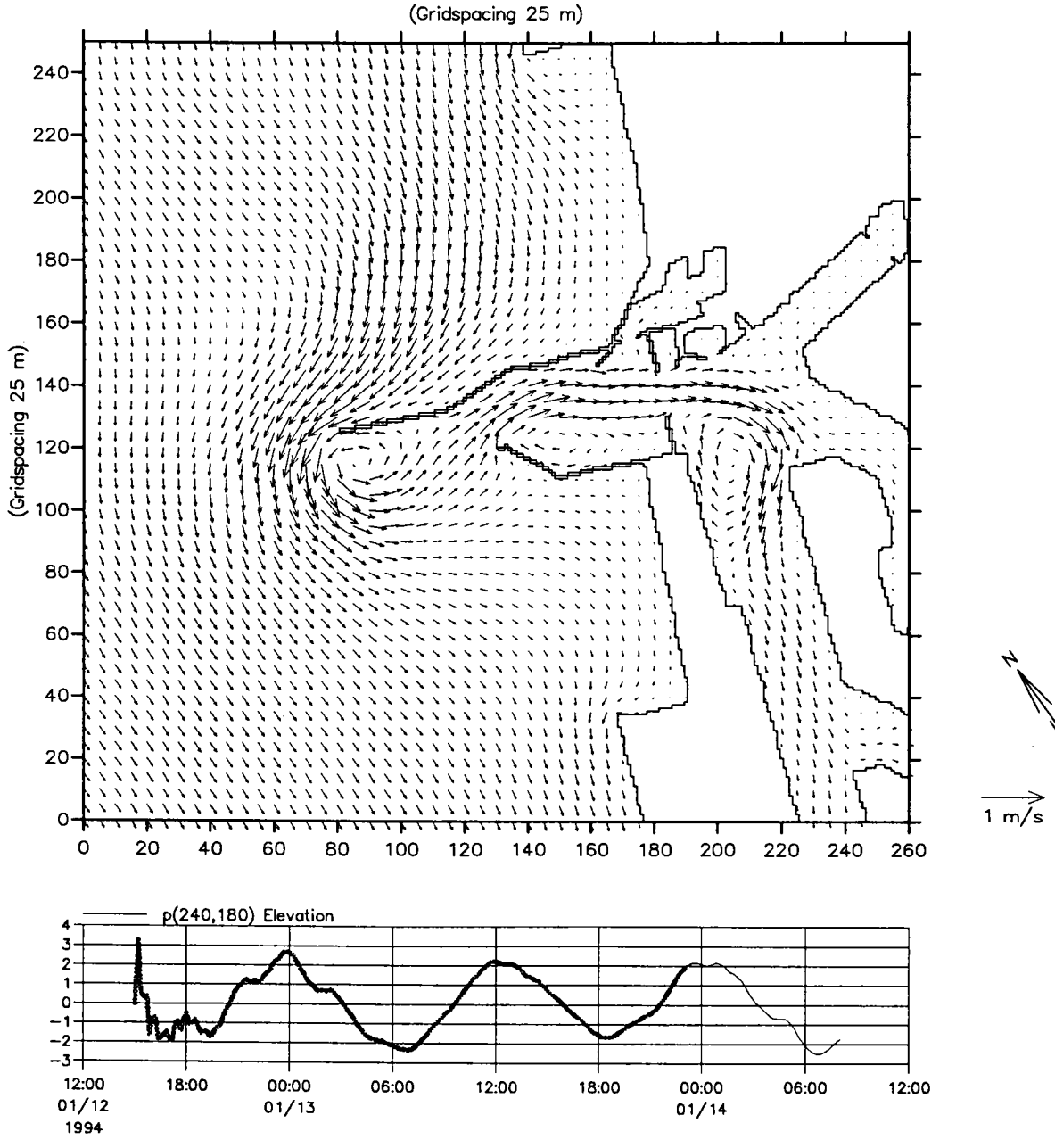


圖4-7-12x　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/13　23:00:00)

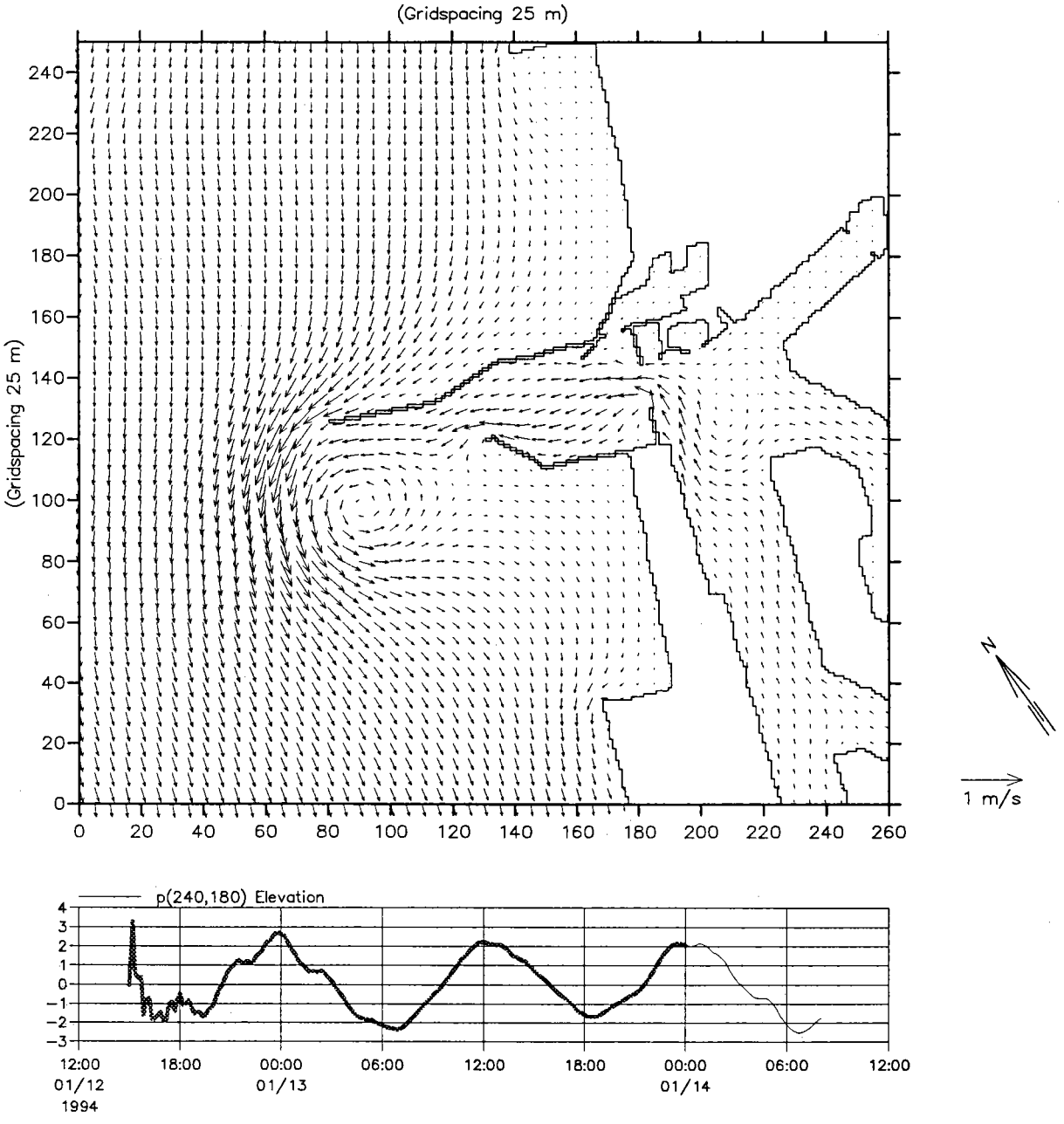


圖4-7-12y　台中港局部計算區域潮流之模擬結果(1994/01/14　00:00:00)

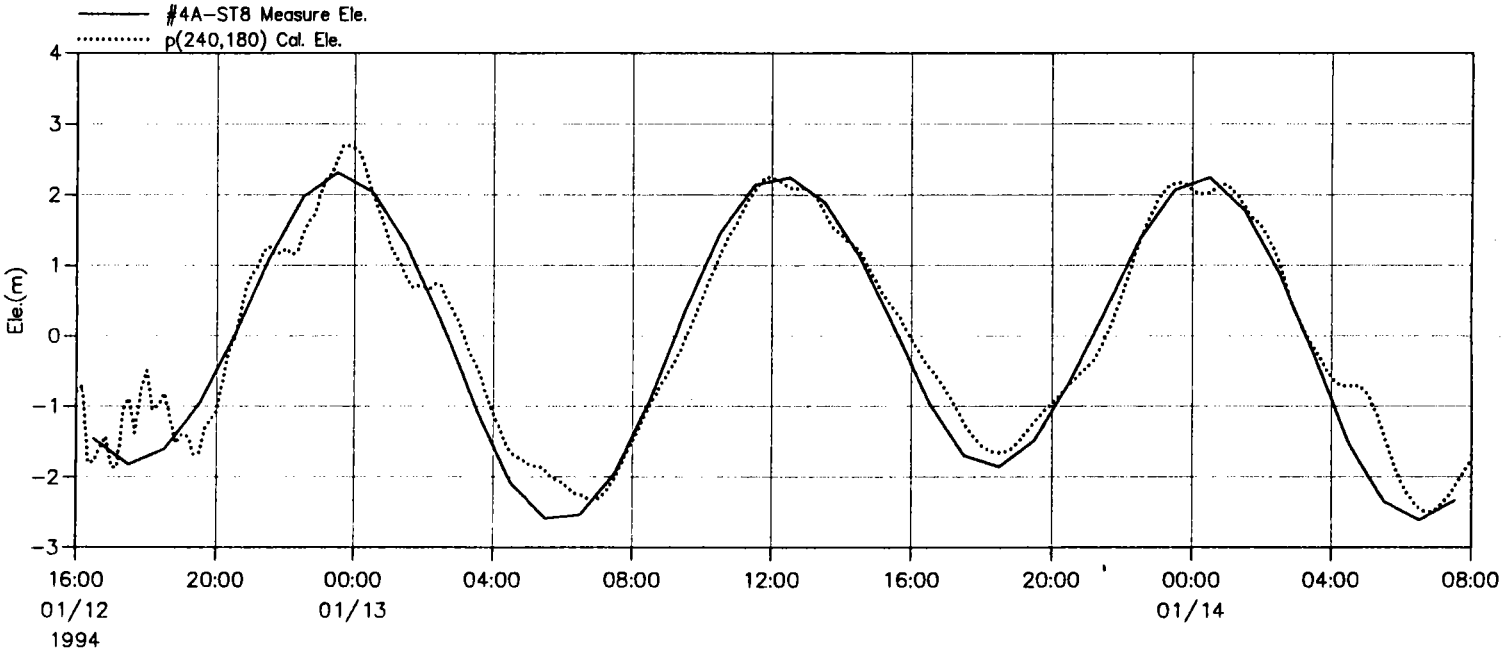


圖4-7-13　台中港夏季#4A碼頭測站(ST8)實測與近似位置上計算水位驗證

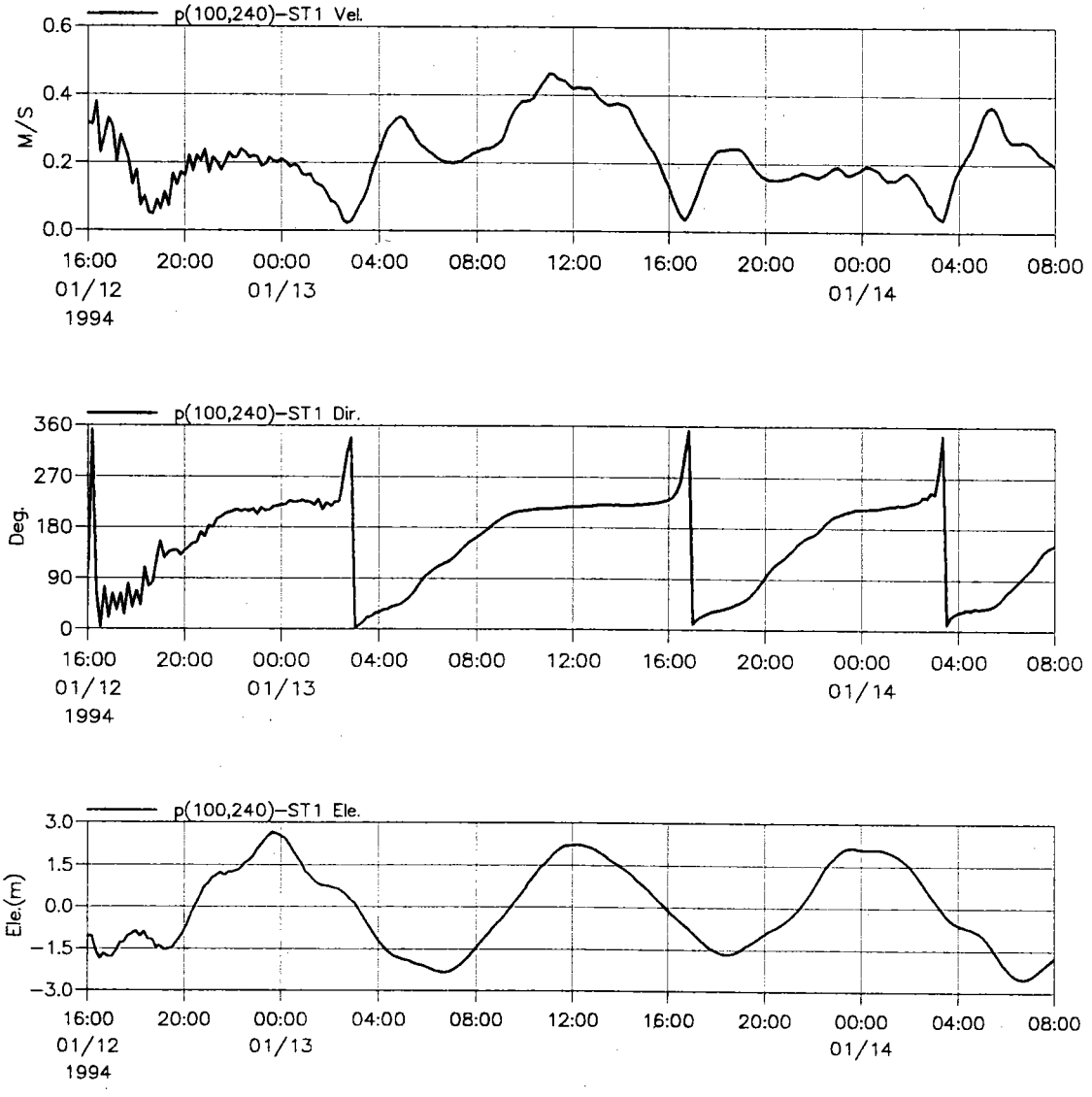


圖4-7-14　台中港夏季ST1近似測站水流水位模擬結果

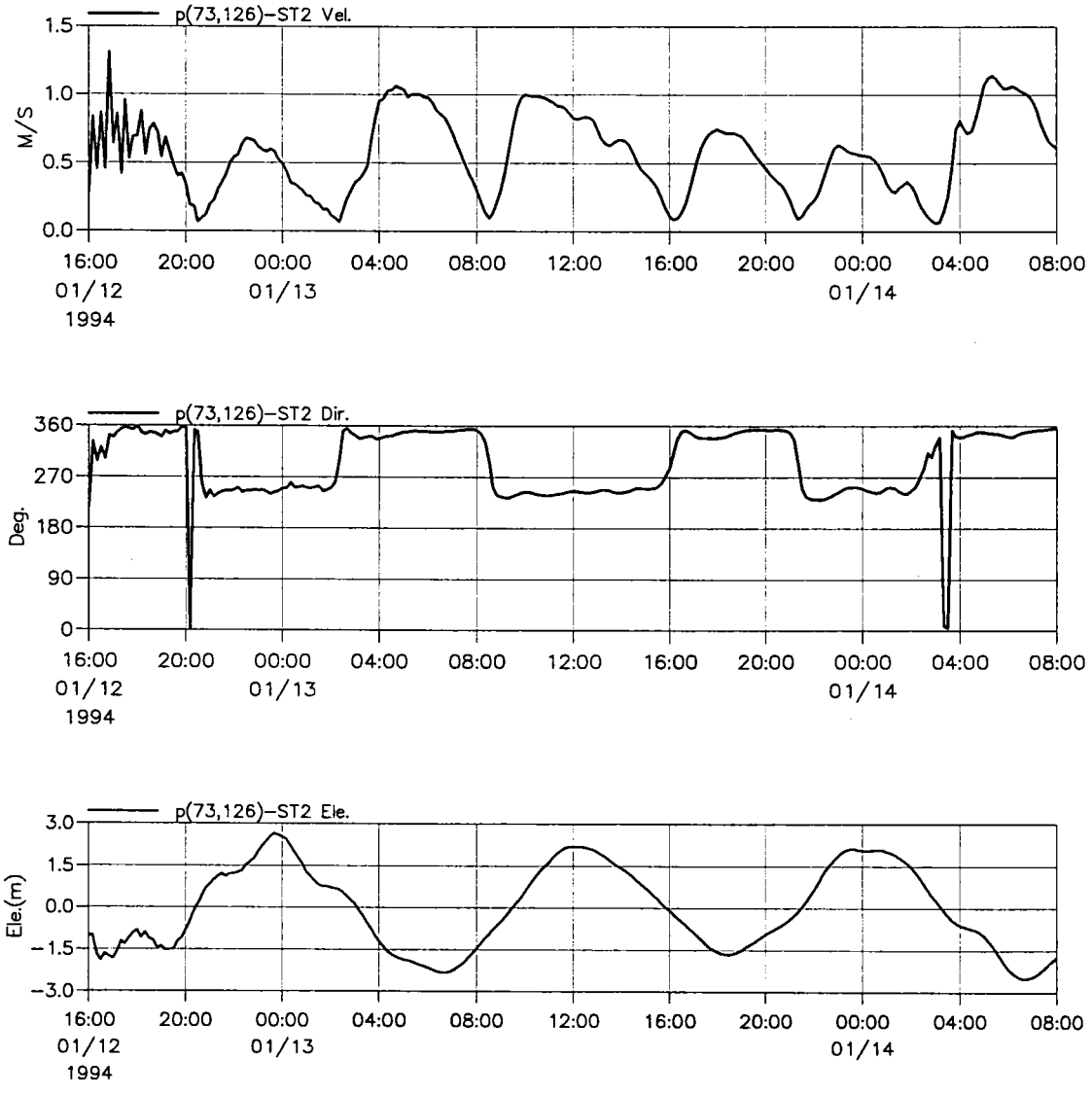


圖4-7-15　台中港夏季ST2近似測站水流水位模擬結果

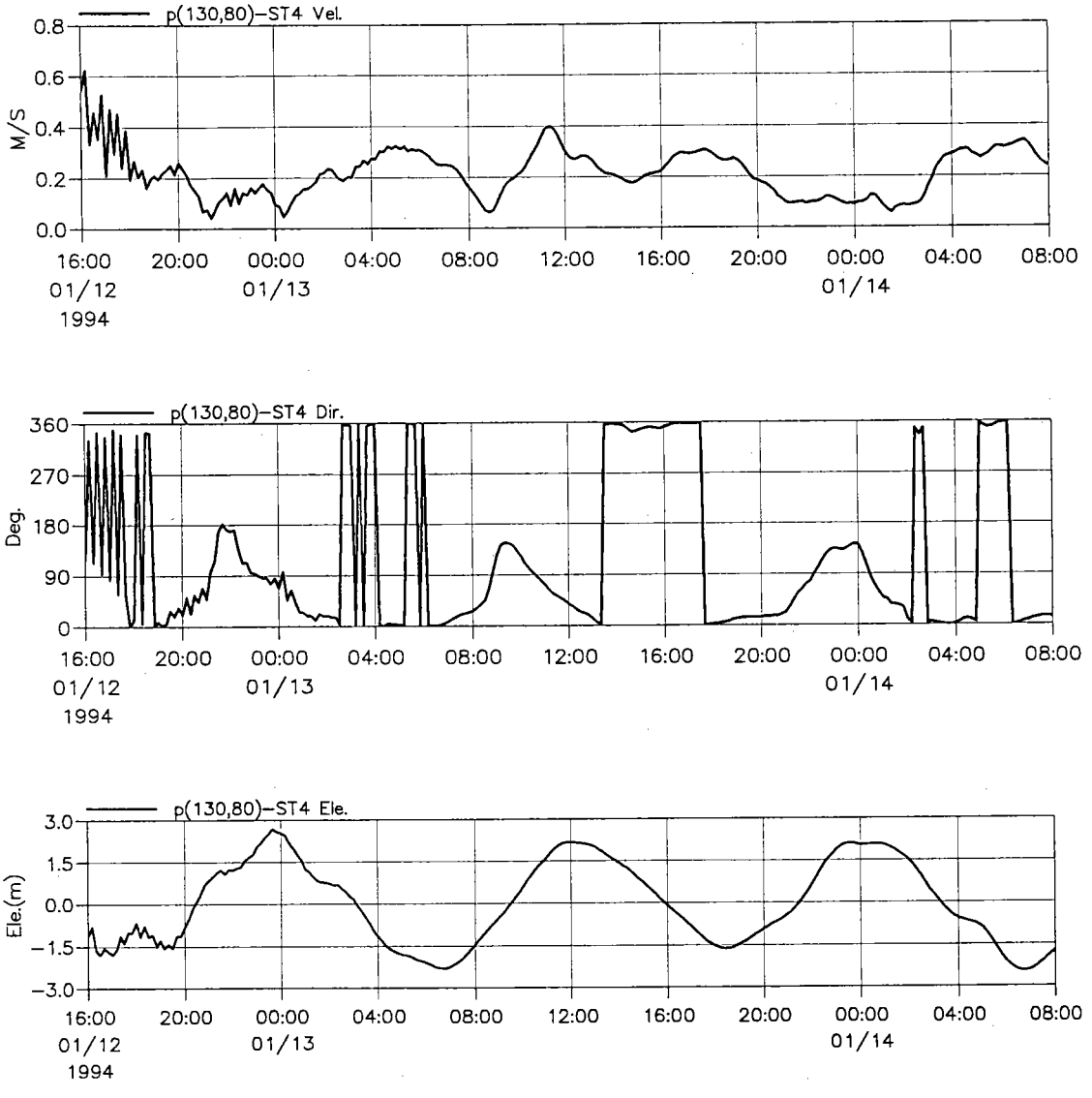


圖4-7-16　台中港夏季ST4近似測站水流水位模擬結果

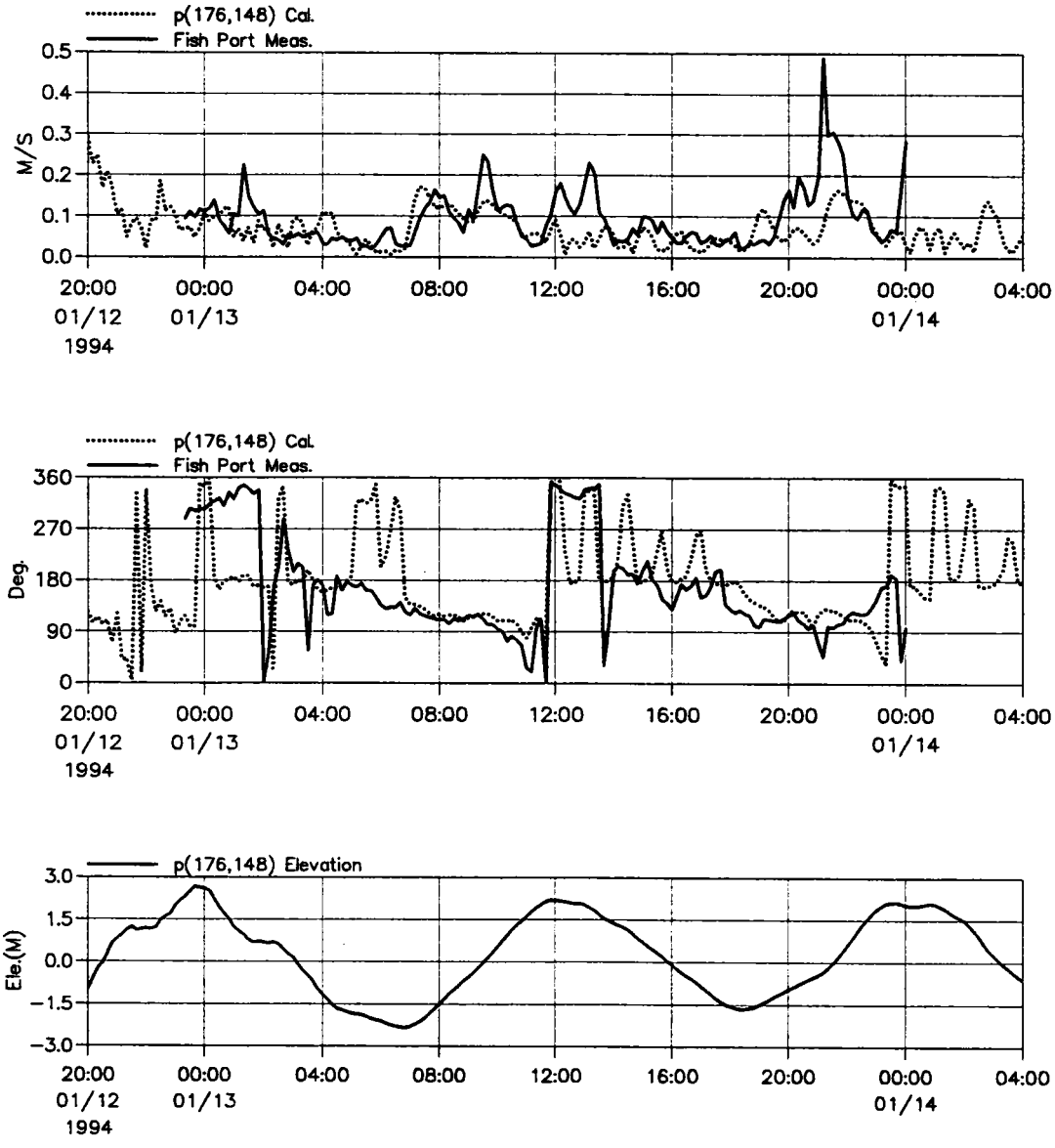


圖4-7-17　台中港夏季漁港港口計算與1996年1月7日實測流速流向之比較

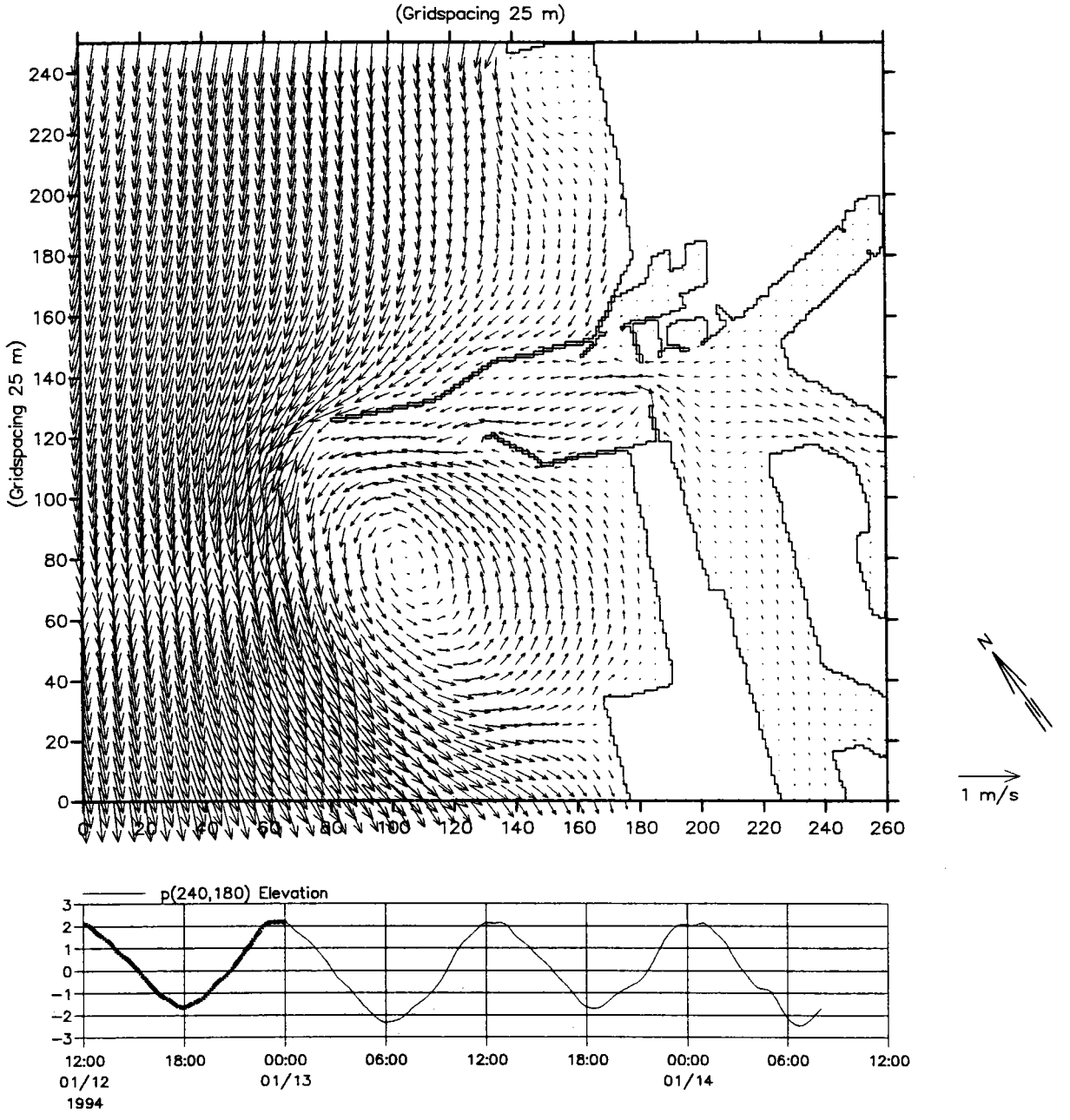


圖4-7-18a 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 00:00:00)

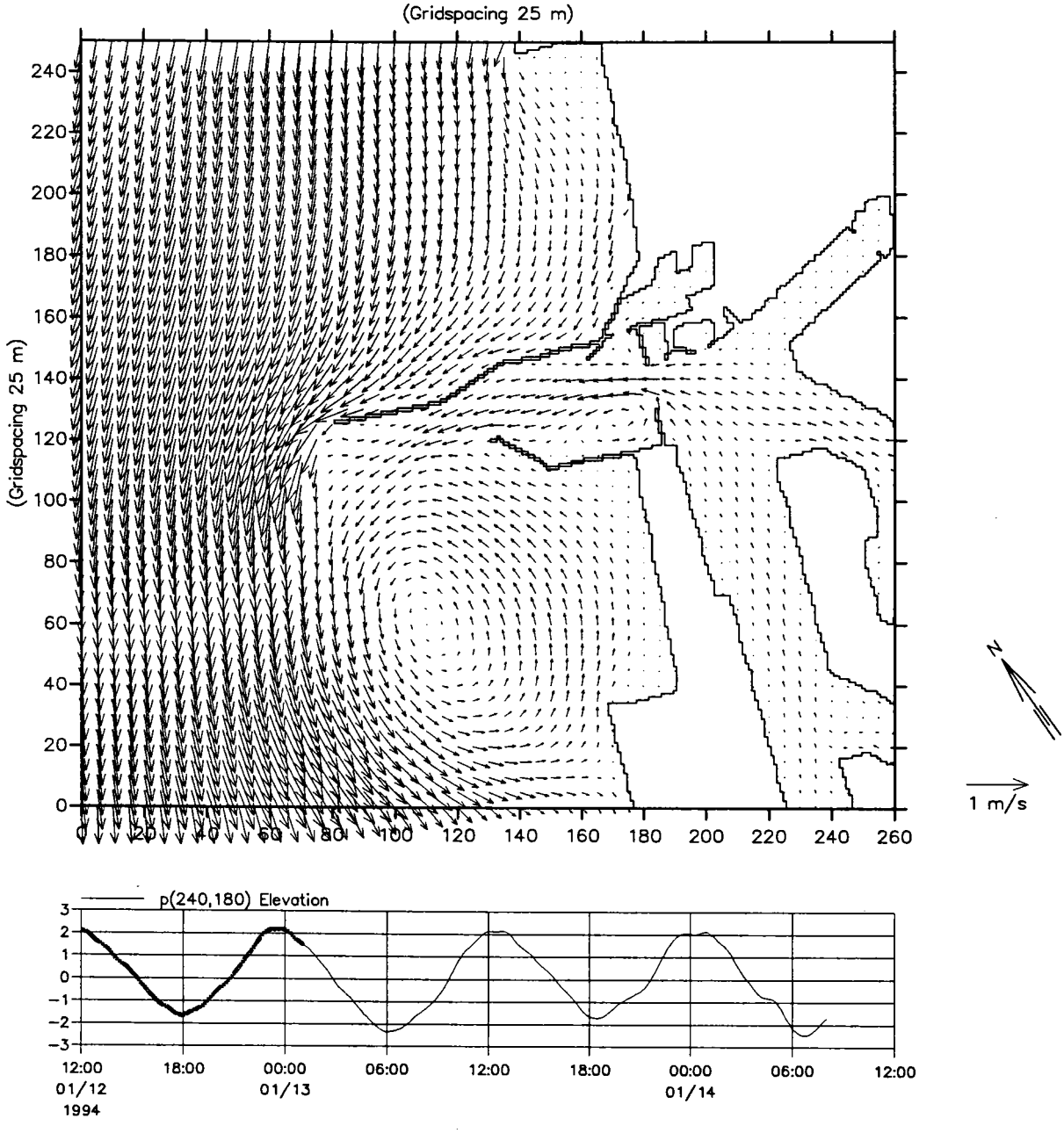


圖4-7-18b 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 01:00:00)

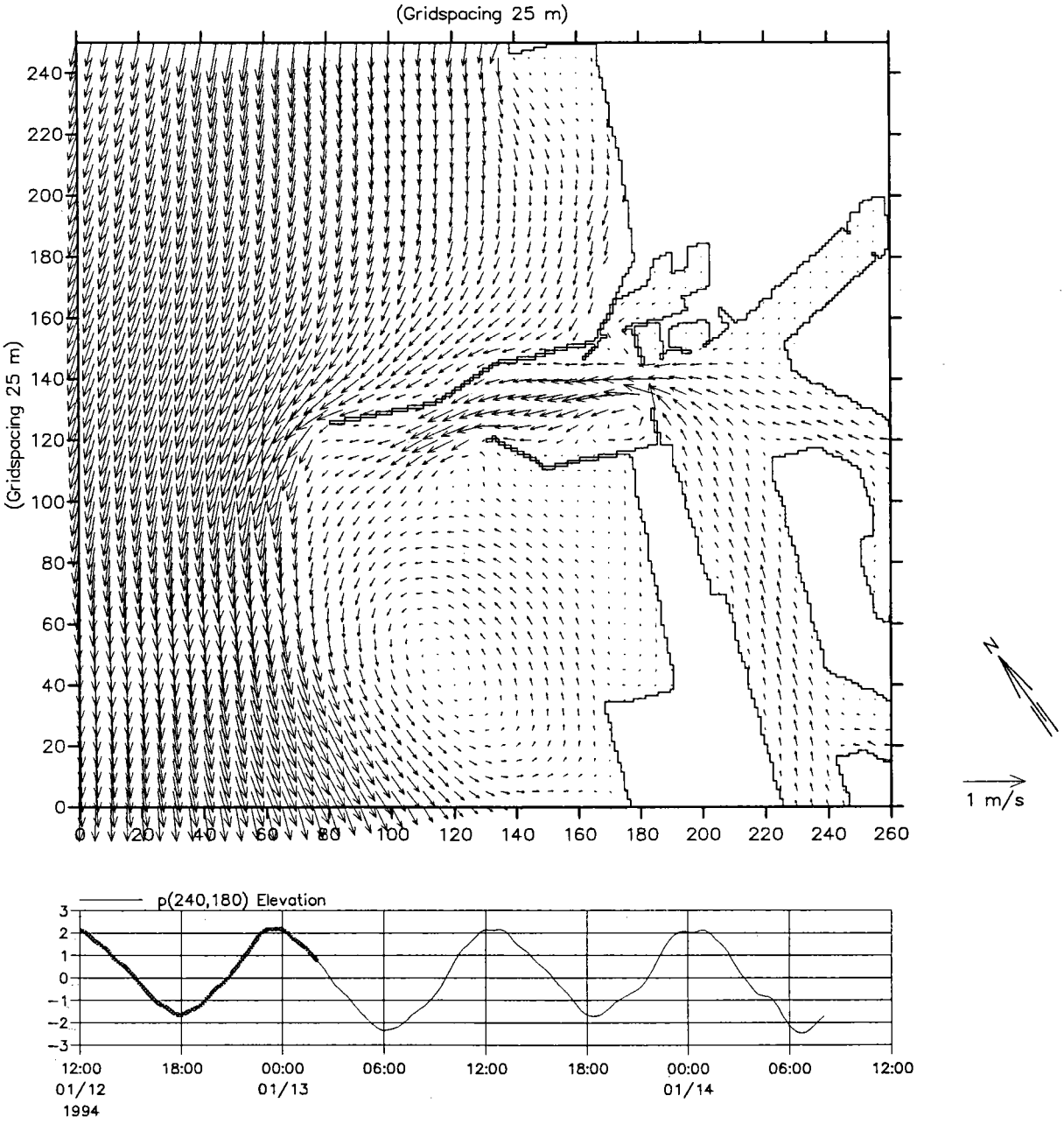


圖4-7-18c 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 02:00:00)

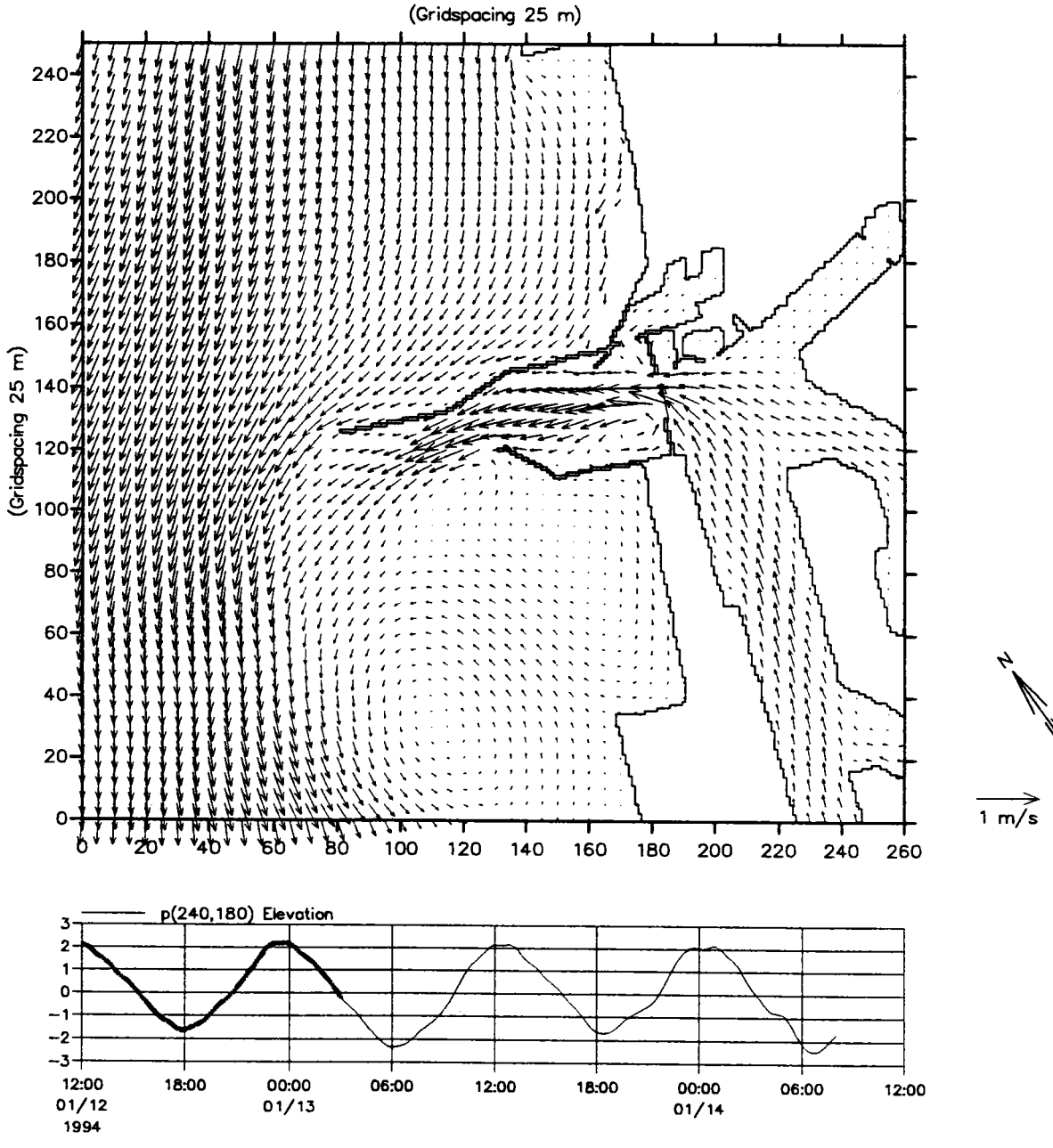


圖4-7-18d 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 03:00:00)

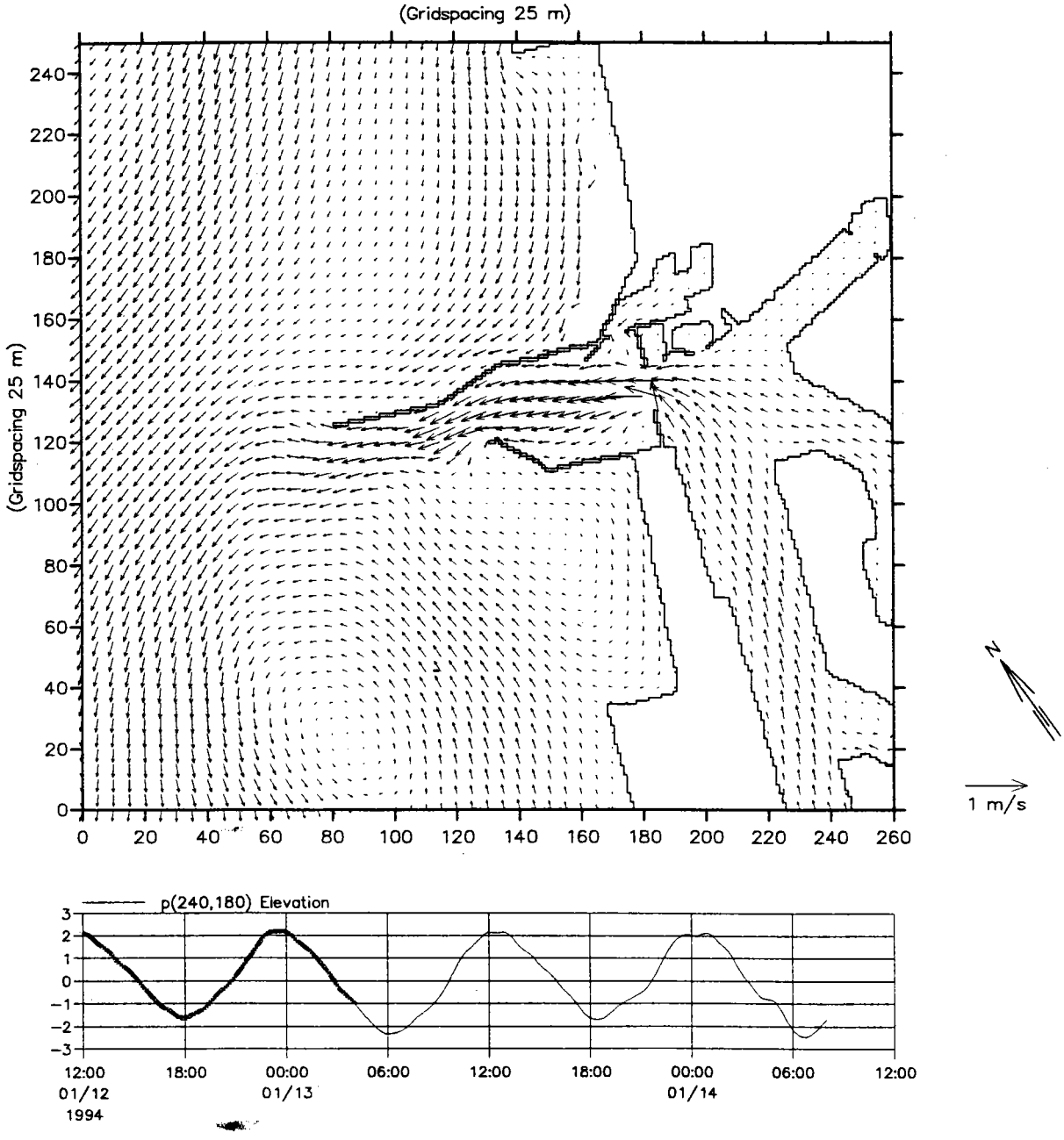


圖4-7-18e 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 04:00:00)

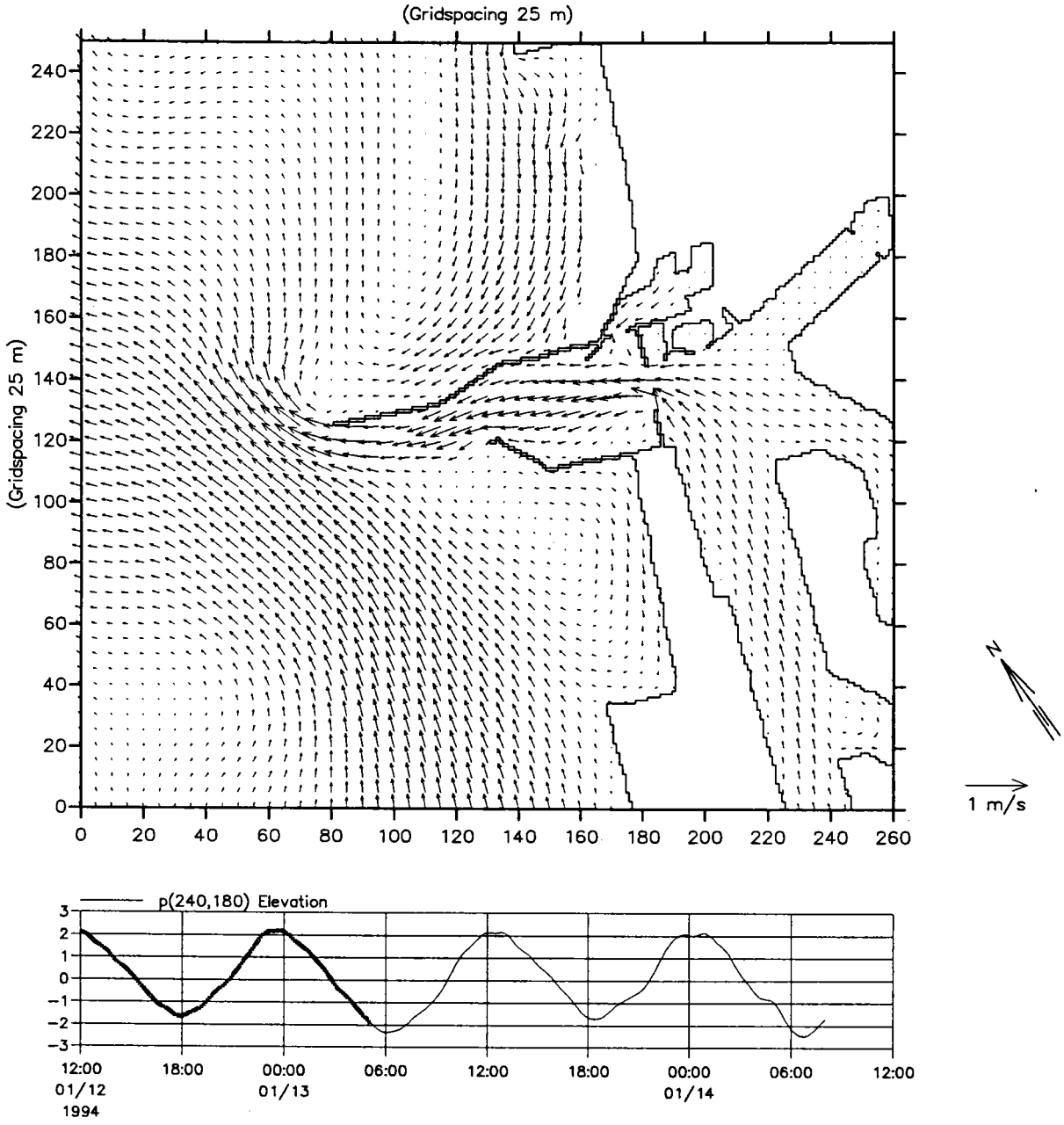


圖4-7-18f 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 05:00:00)

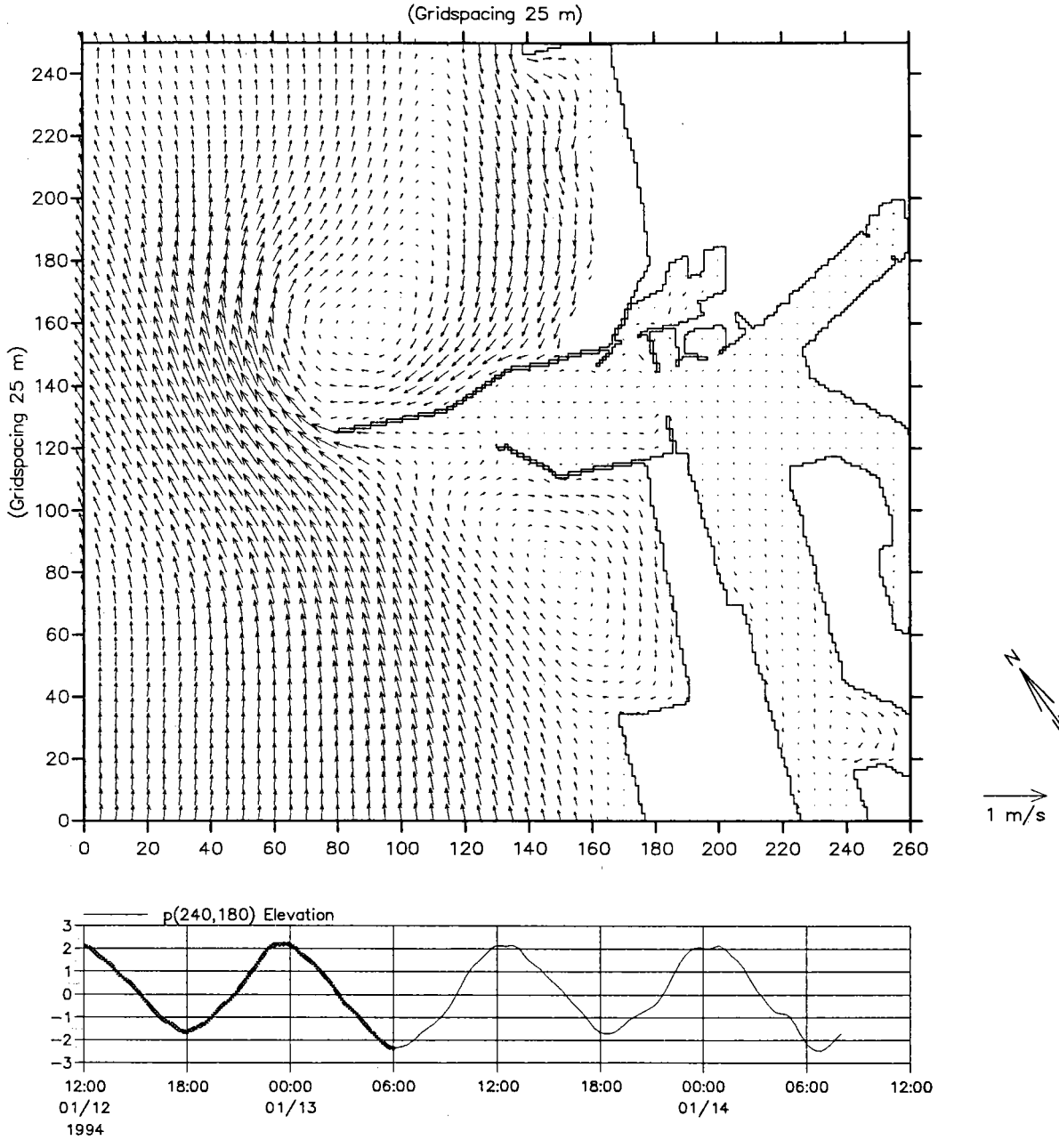


圖4-7-18g 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 06:00:00)

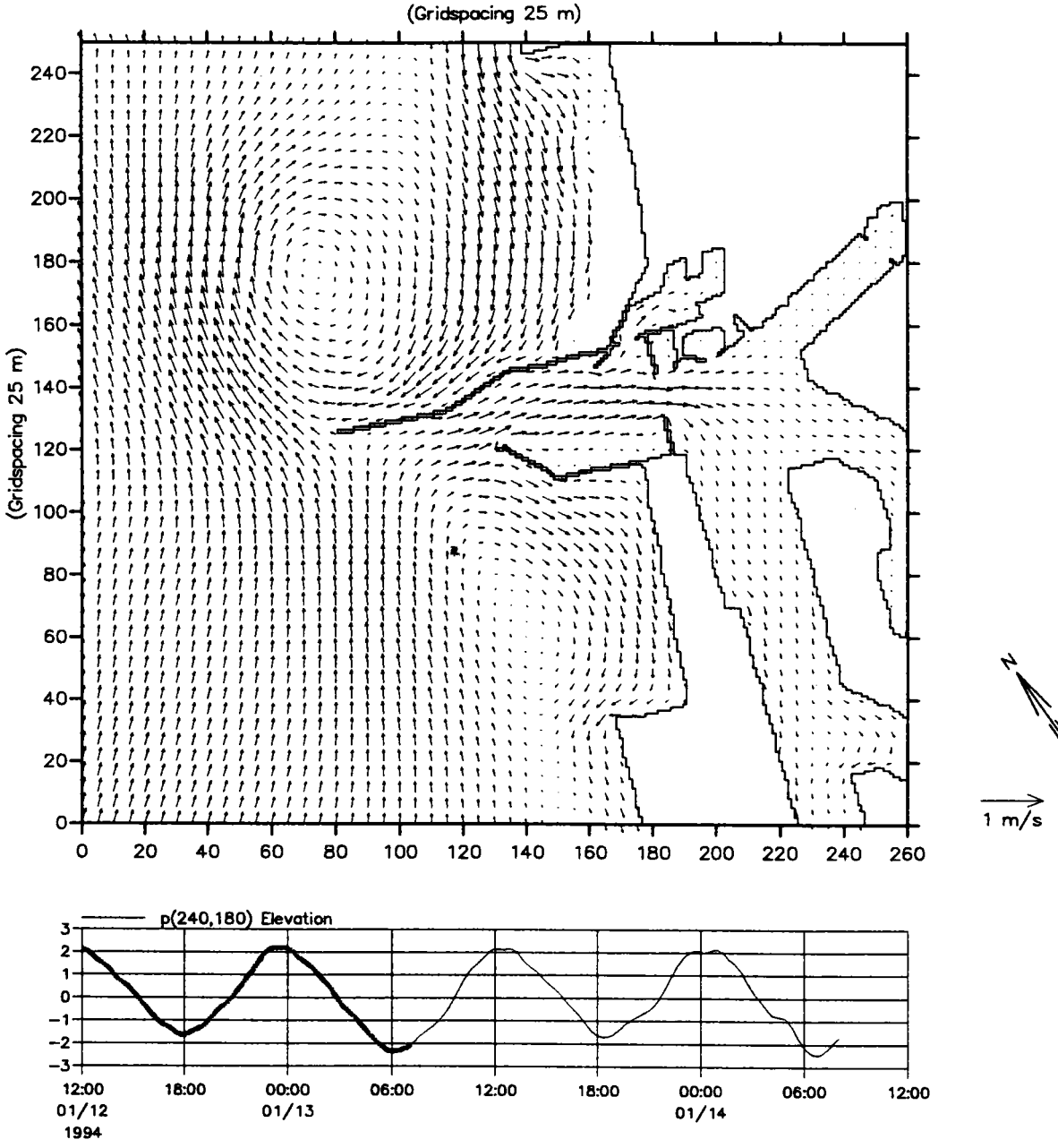


圖4-7-18h 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 07:00:00)

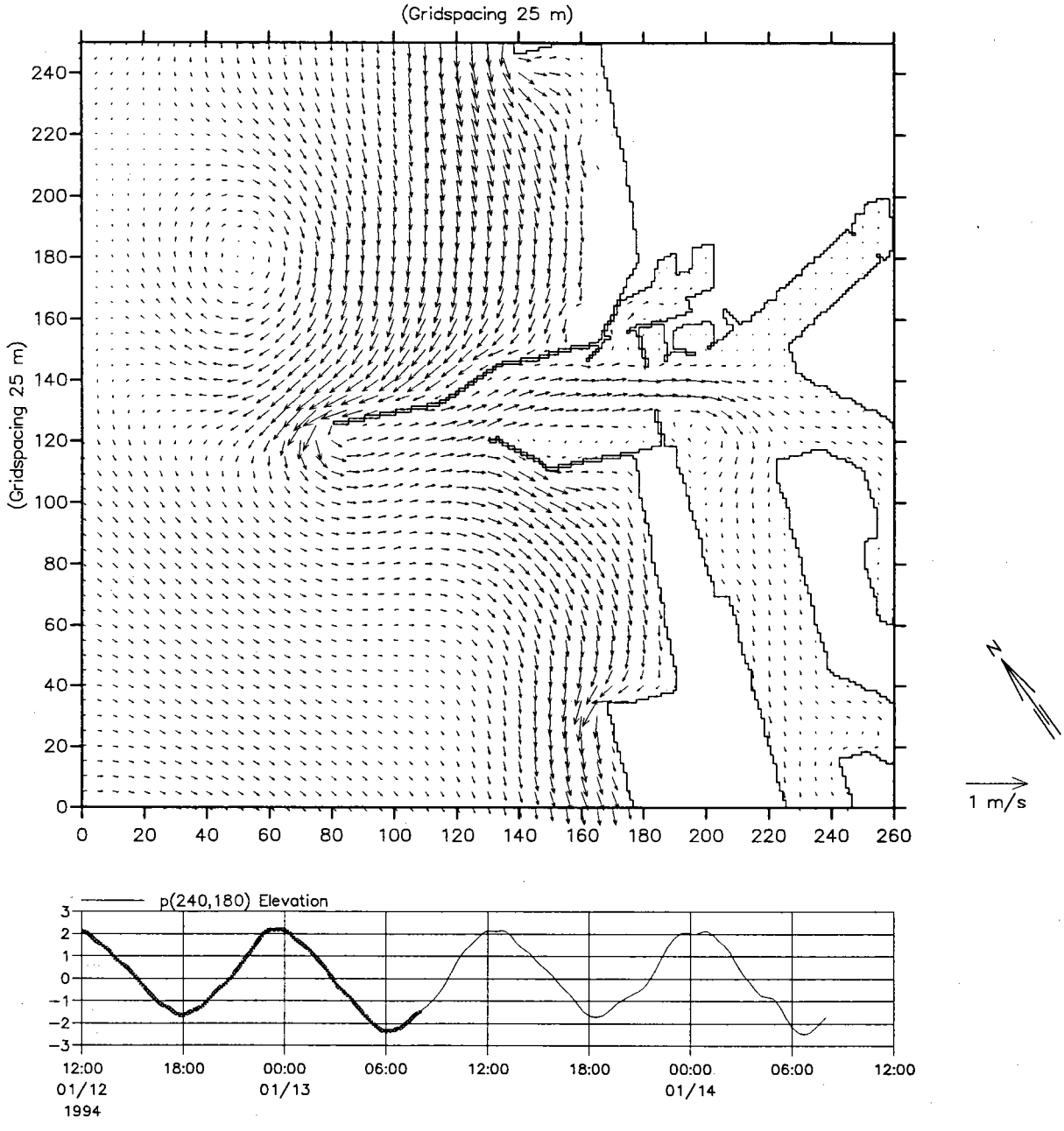


圖4-7-18i 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 08:00:00)

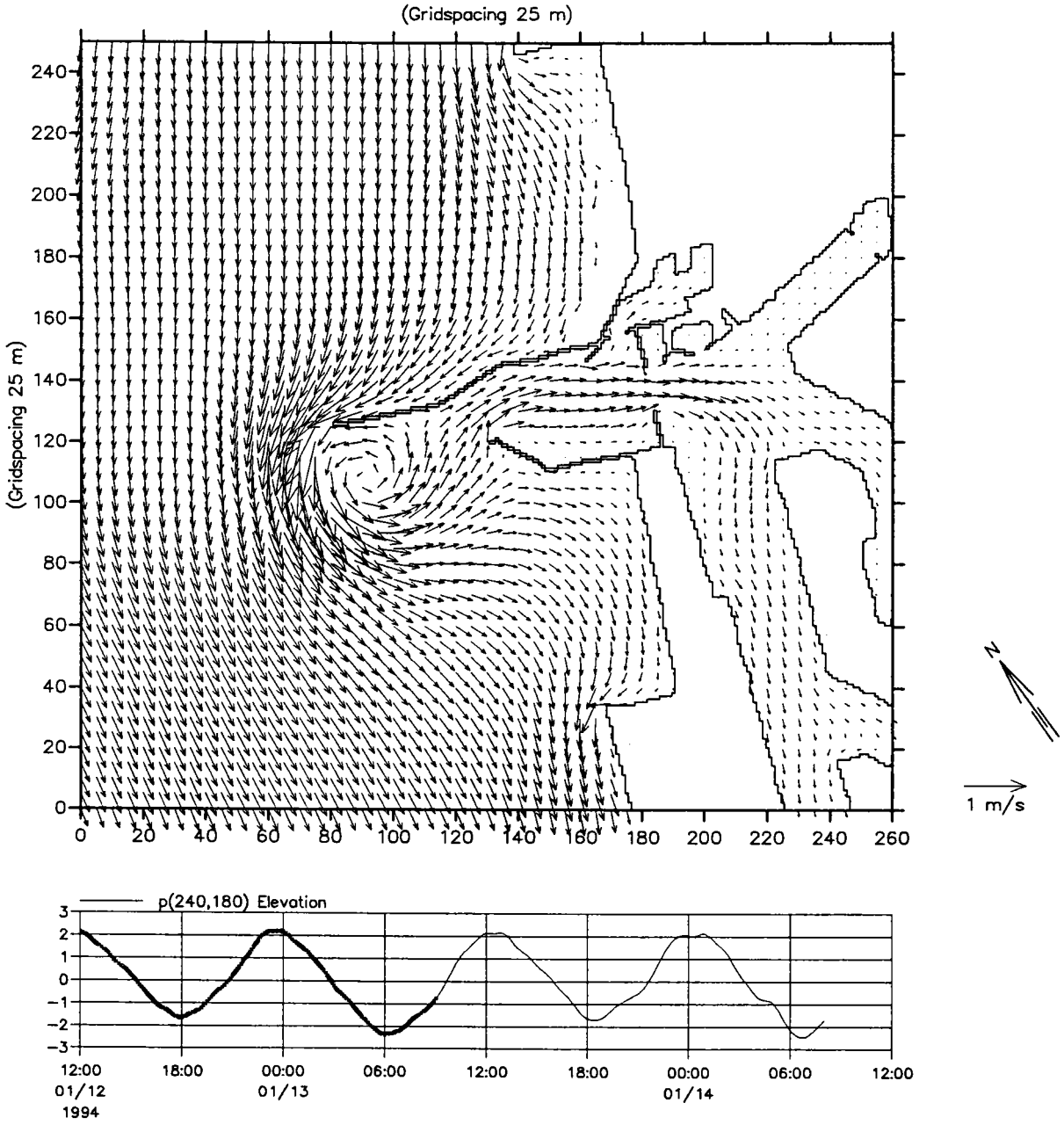


圖4-7-18j 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 09:00:00)

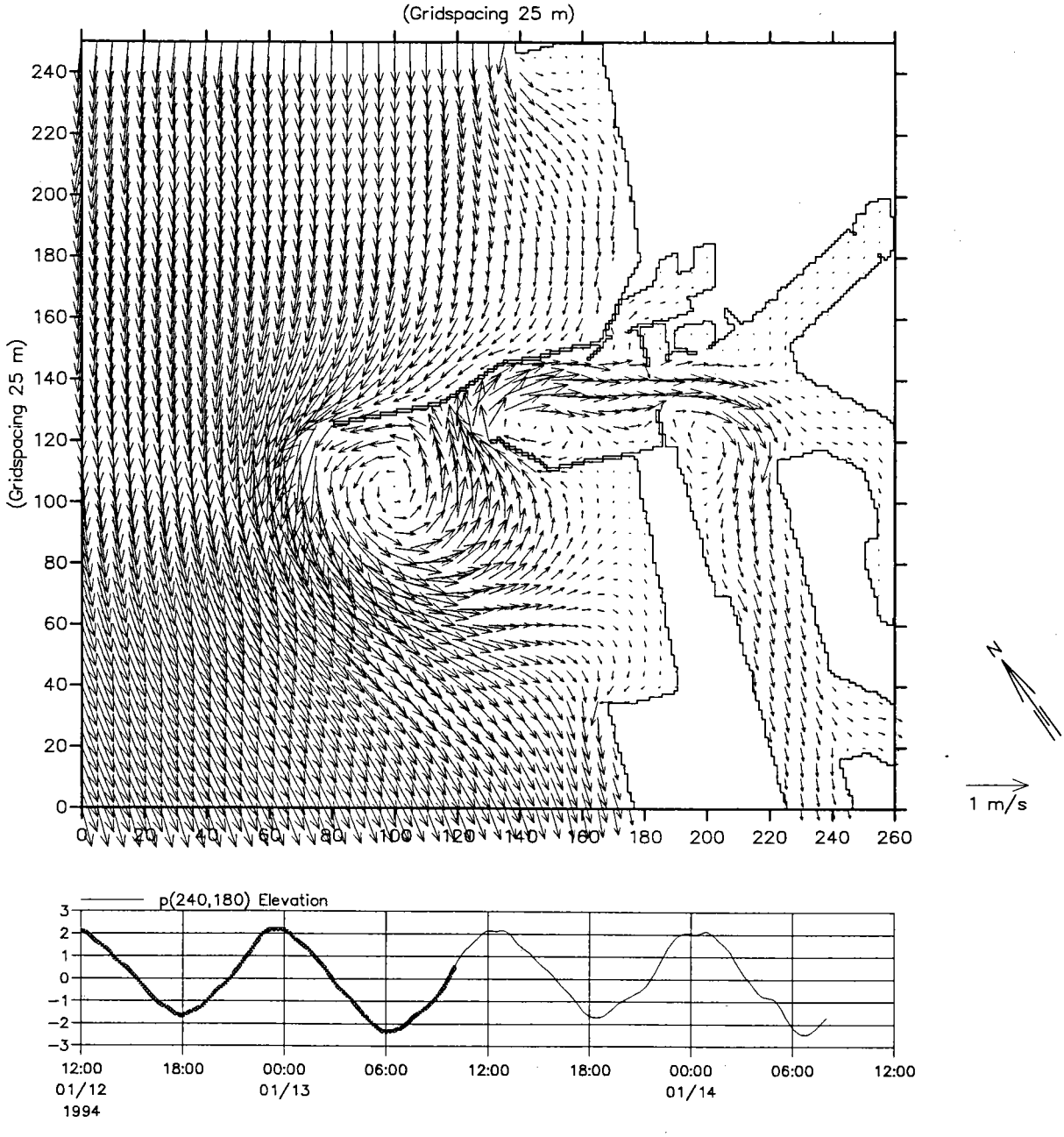


圖4-7-18k 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 10:00:00)

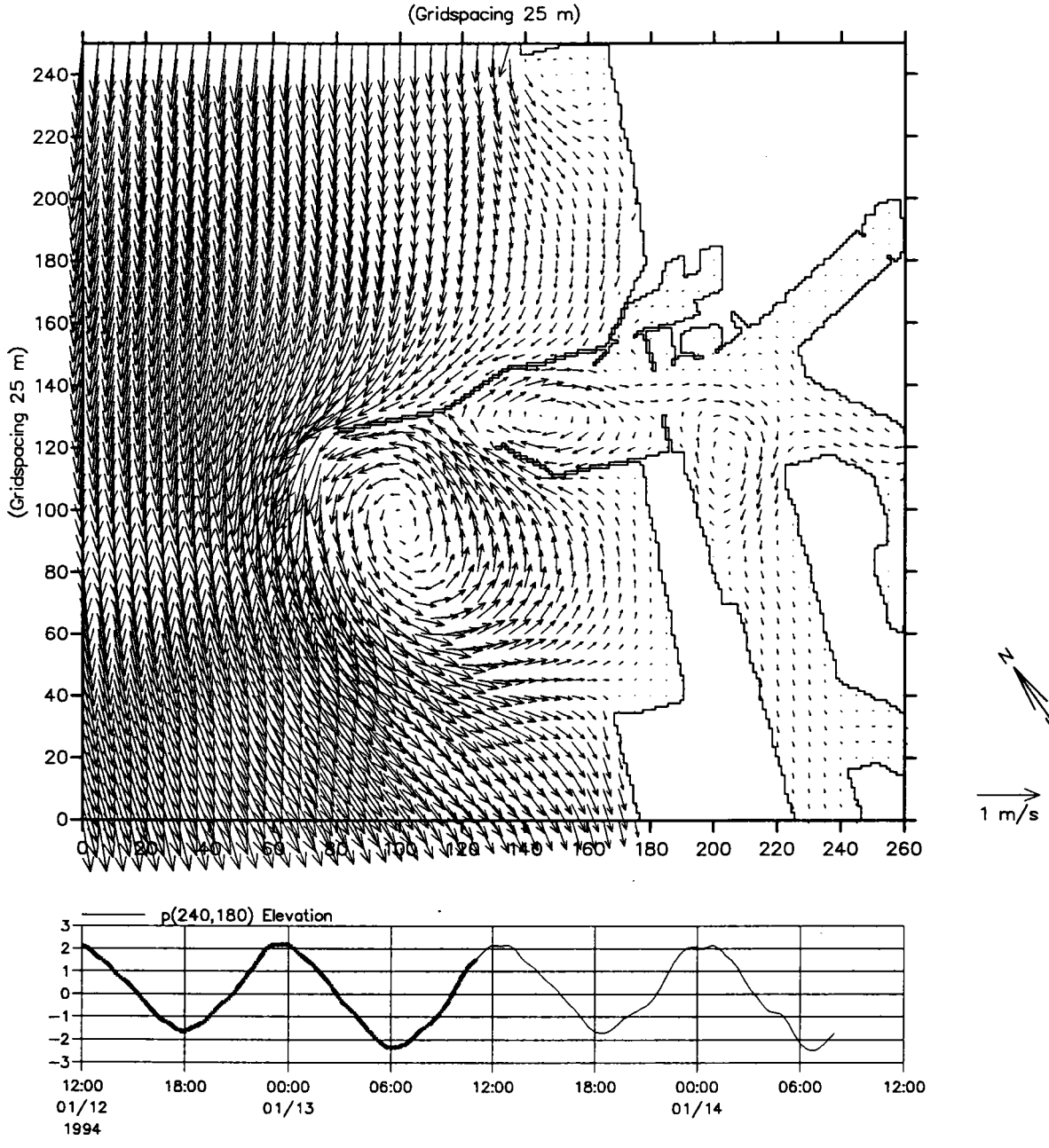


圖4-7-18ℓ 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 11:00:00)

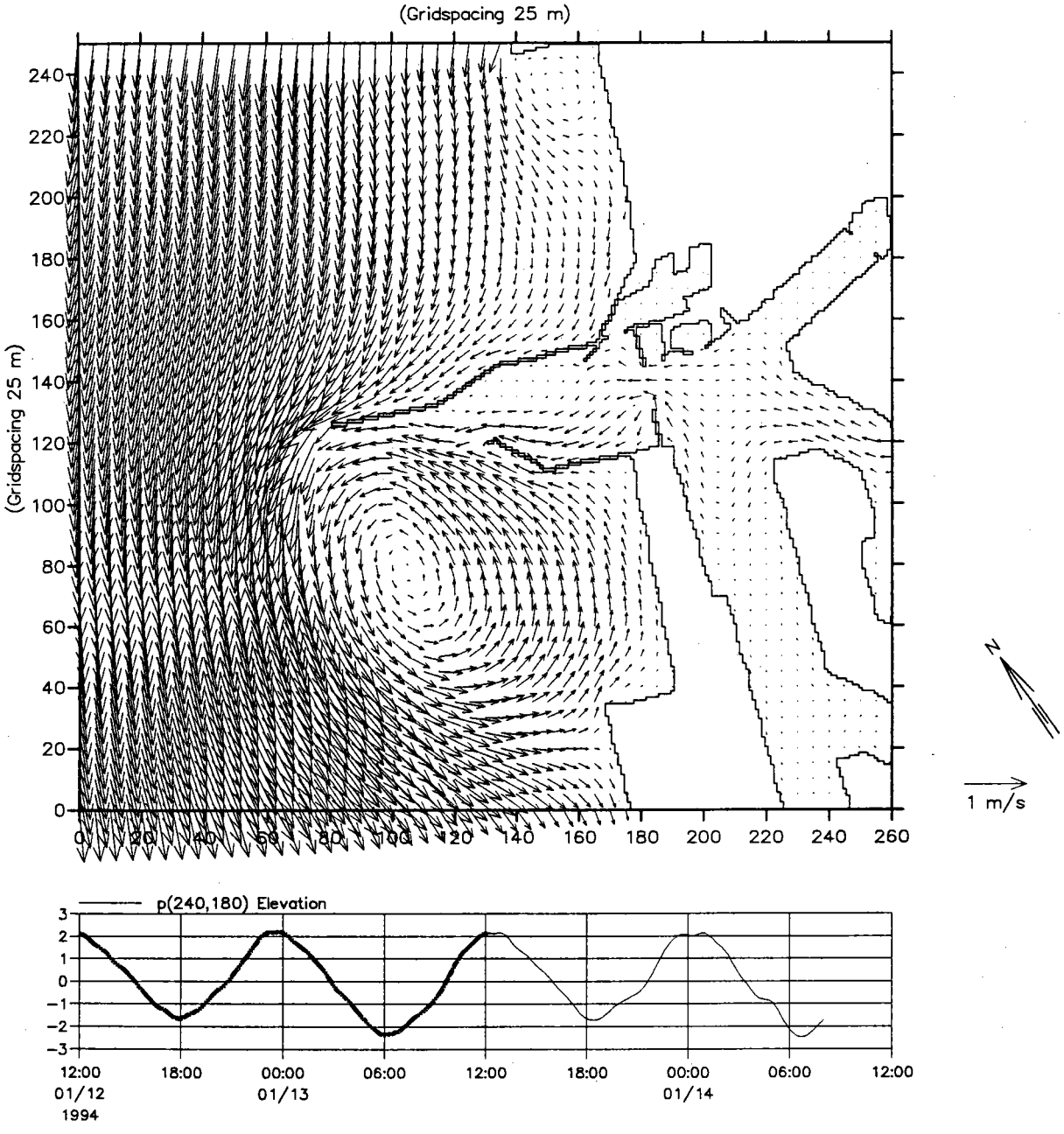


圖4-7-18m 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 12:00:00)

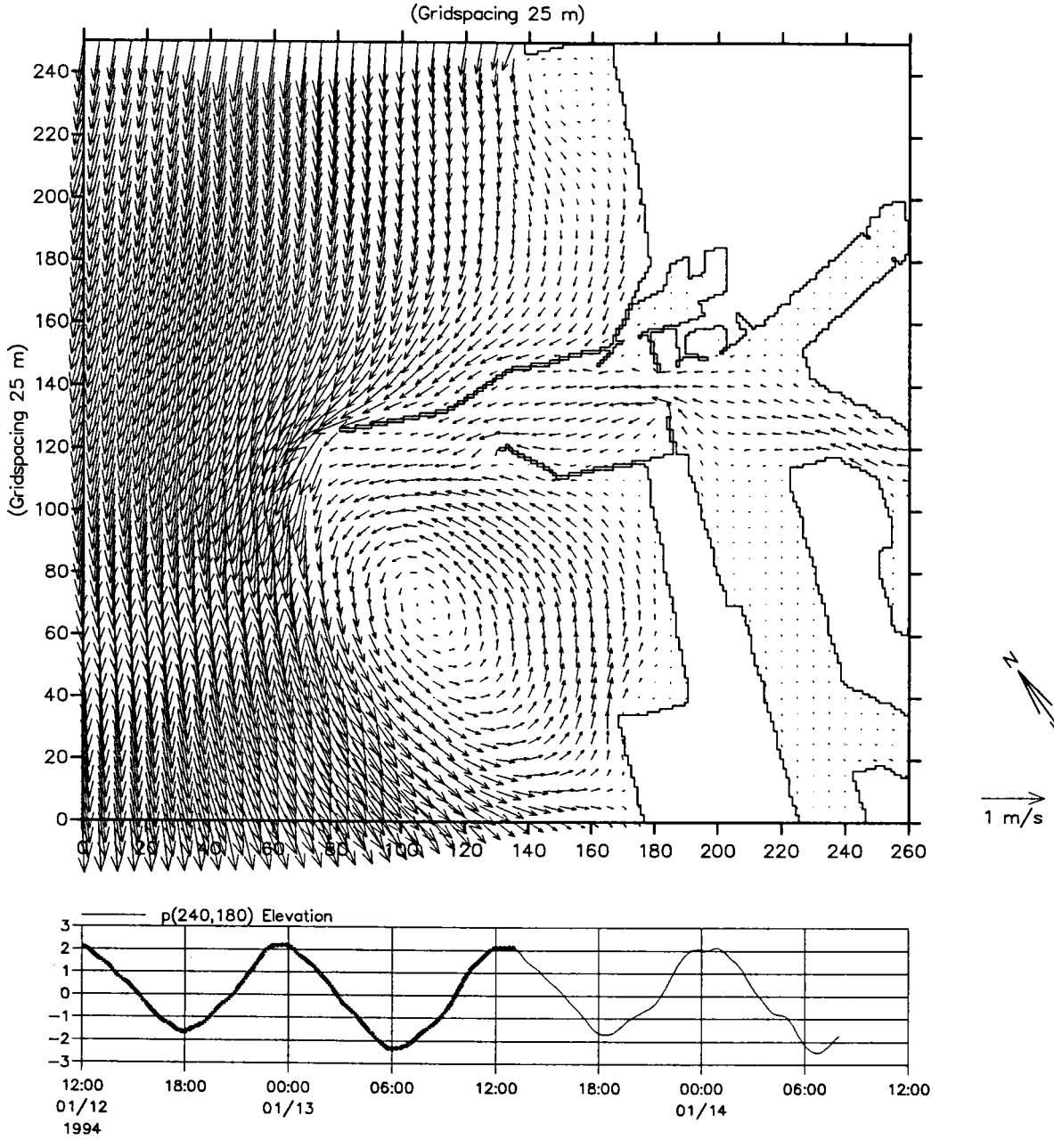


圖4-7-18n 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 13:00:00)

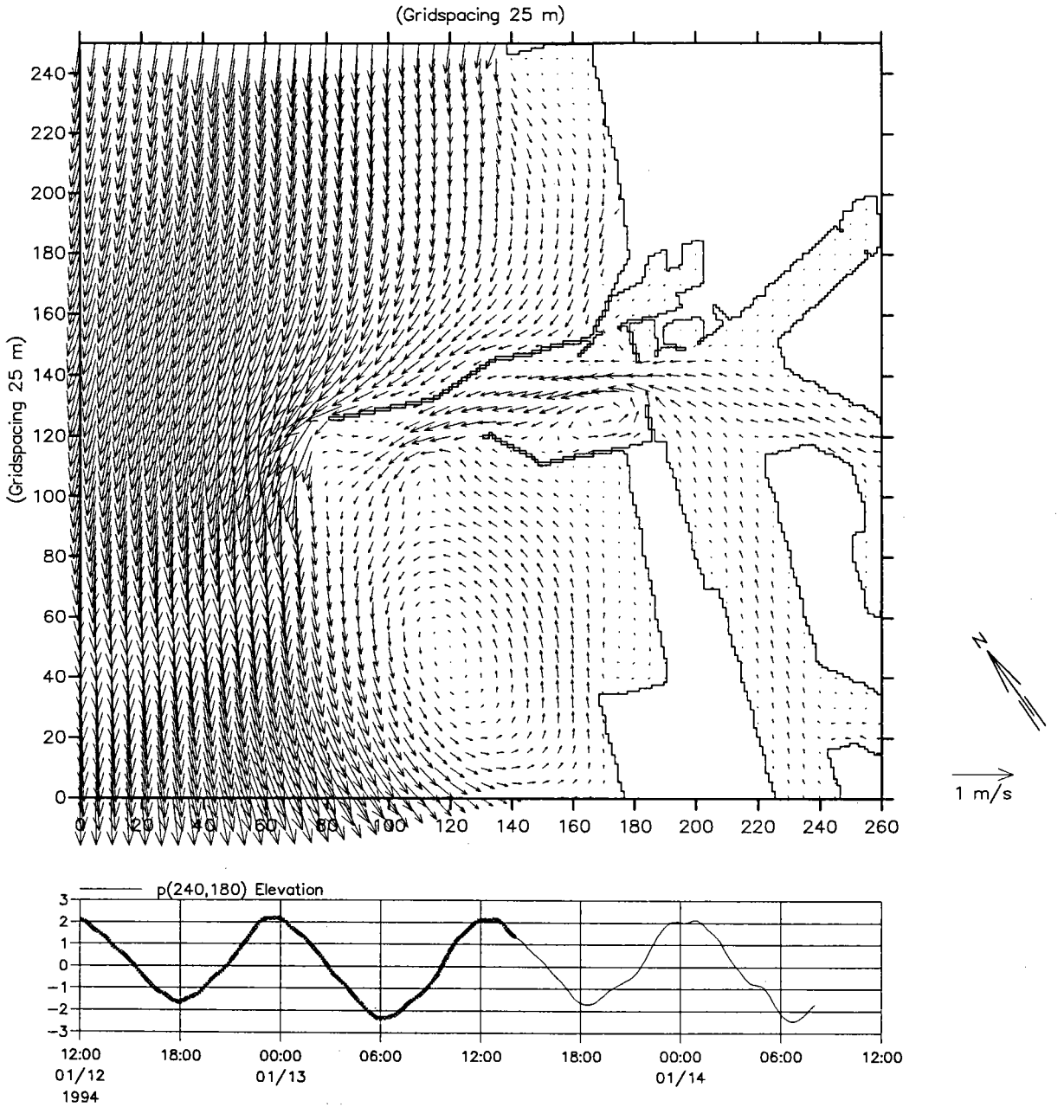


圖4-7-18o 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 14:00:00)

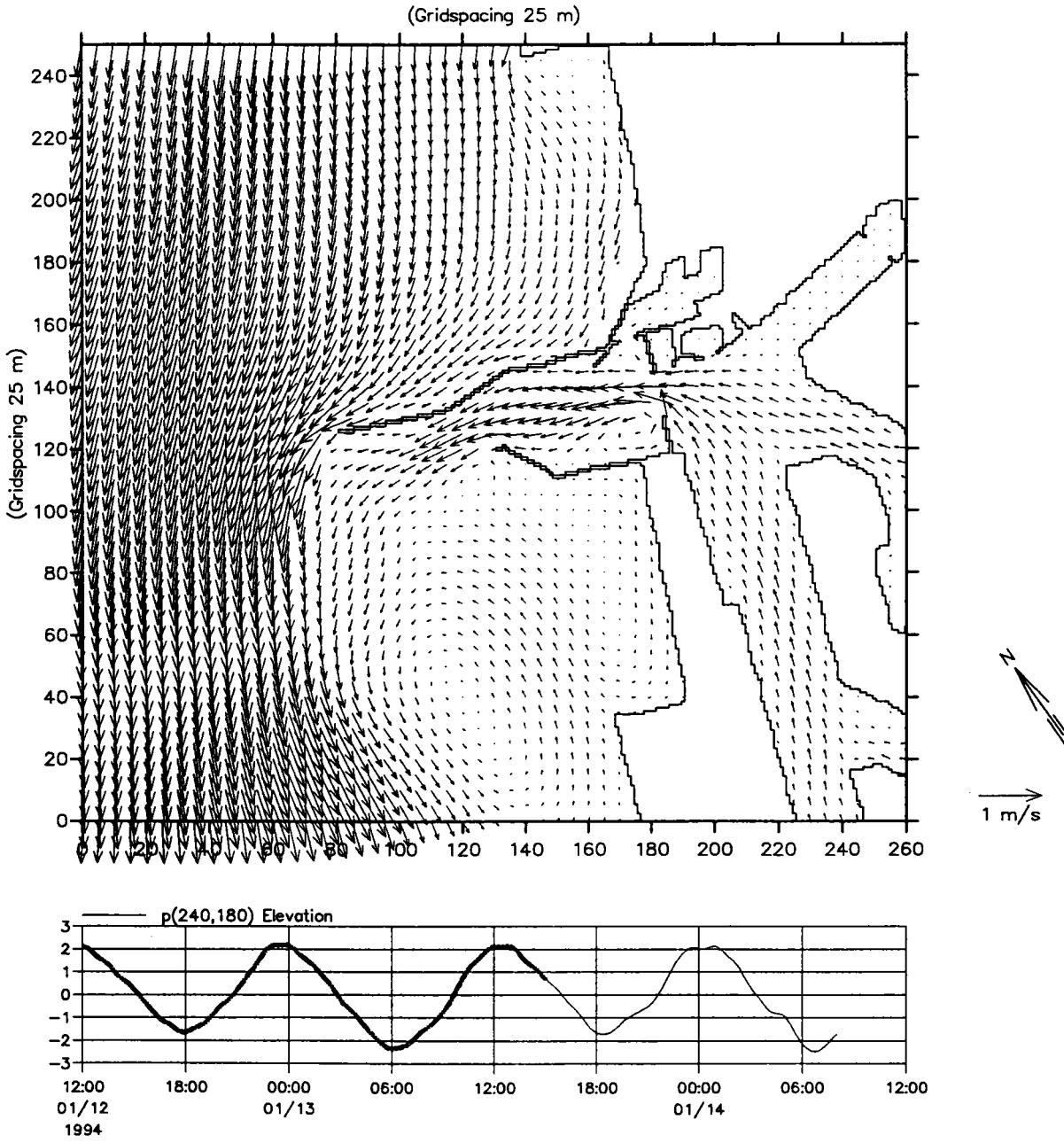


圖4-7-18p 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 15:00:00)

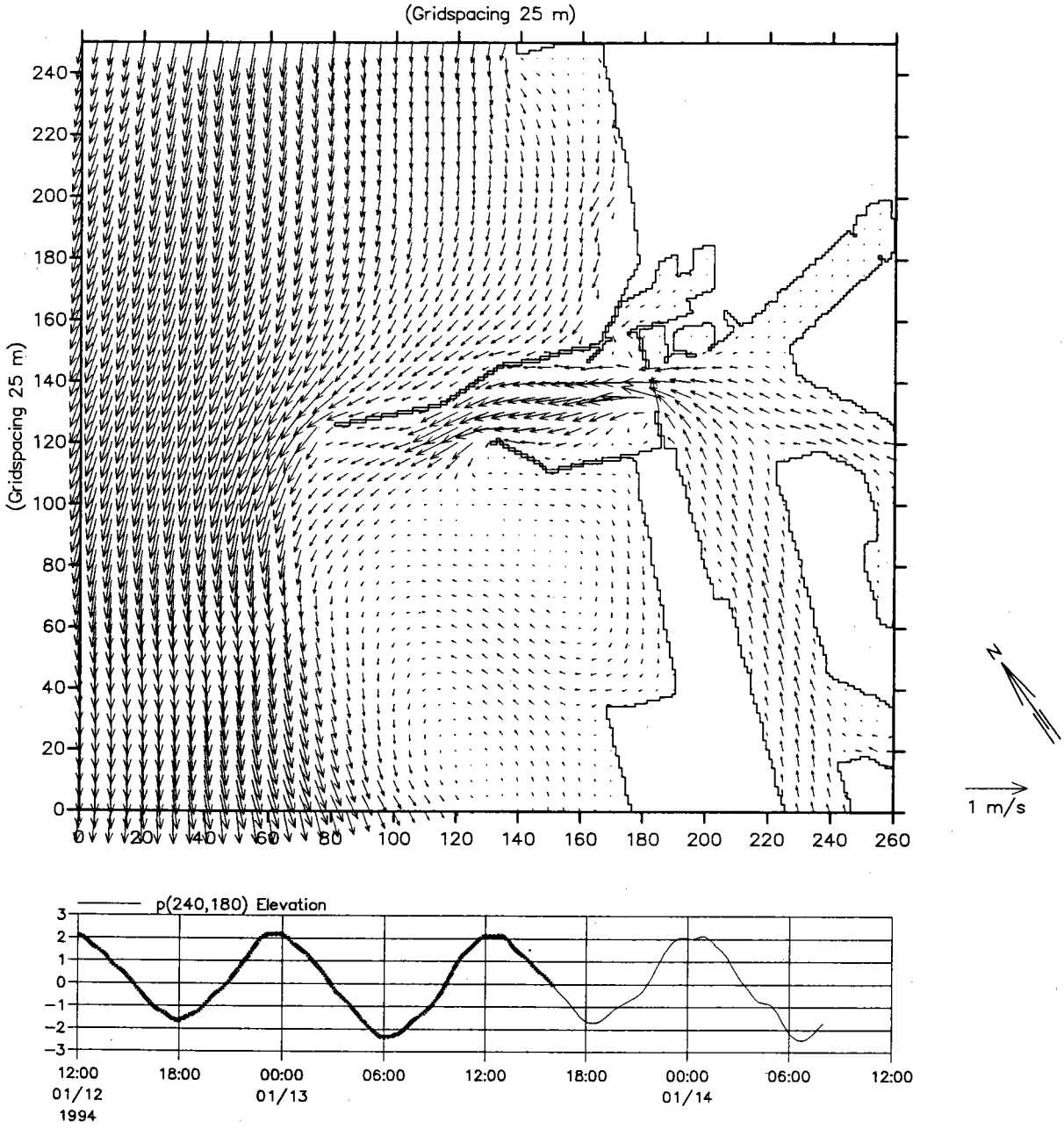


圖4-7-18q 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 16:00:00)

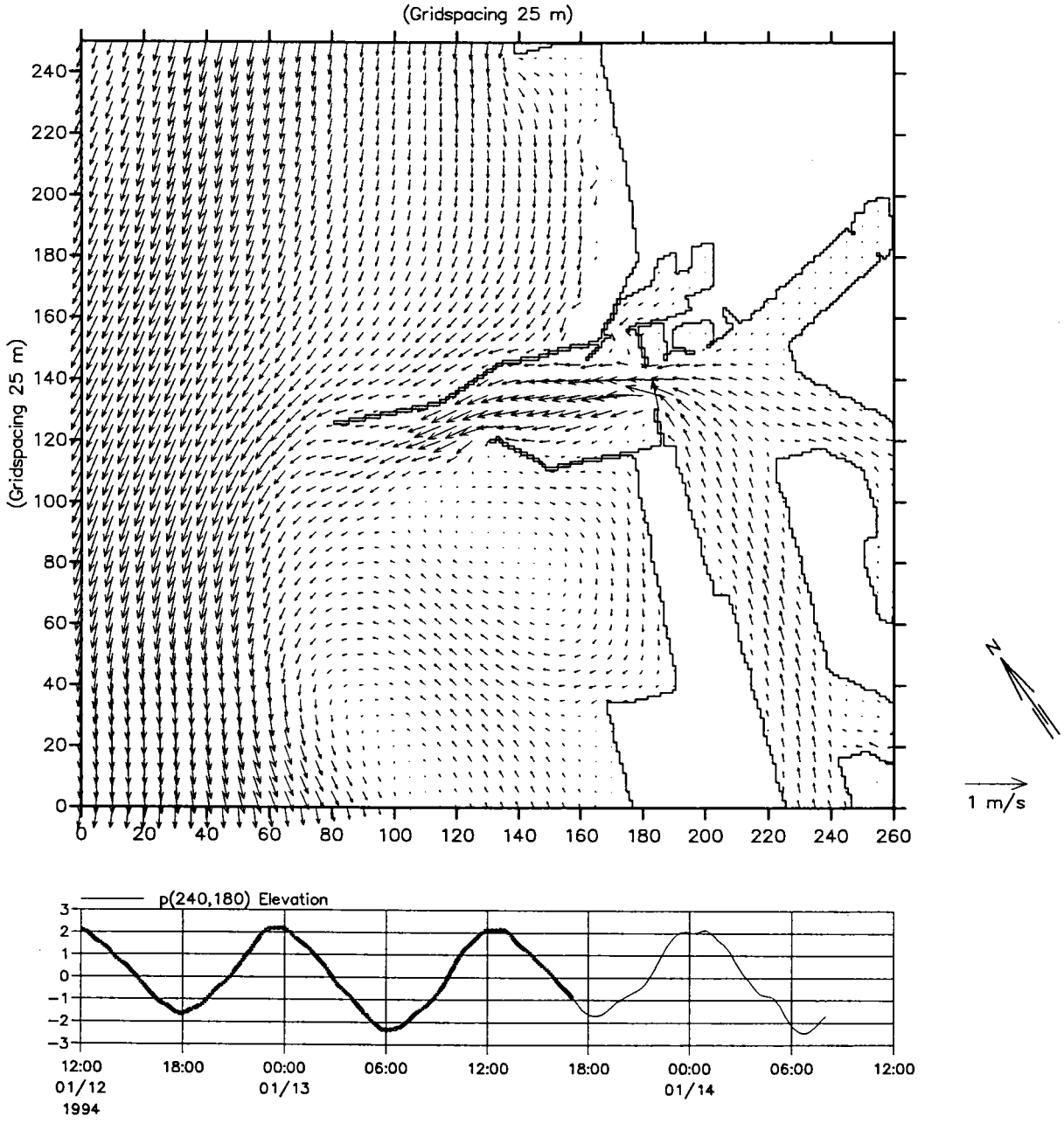


圖4-7-18r 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 17:00:00)

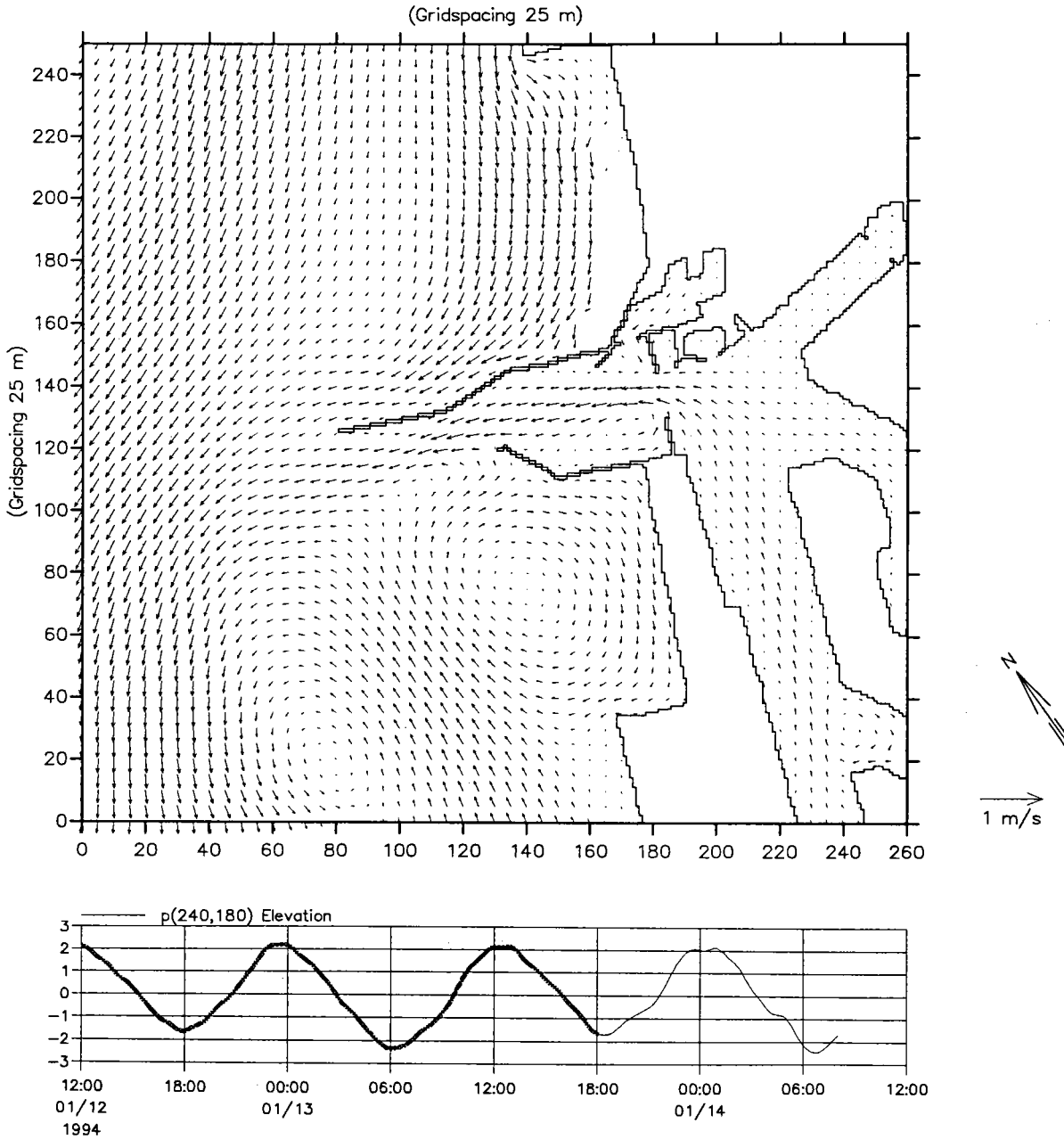


圖4-7-18s 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 18:00:00)

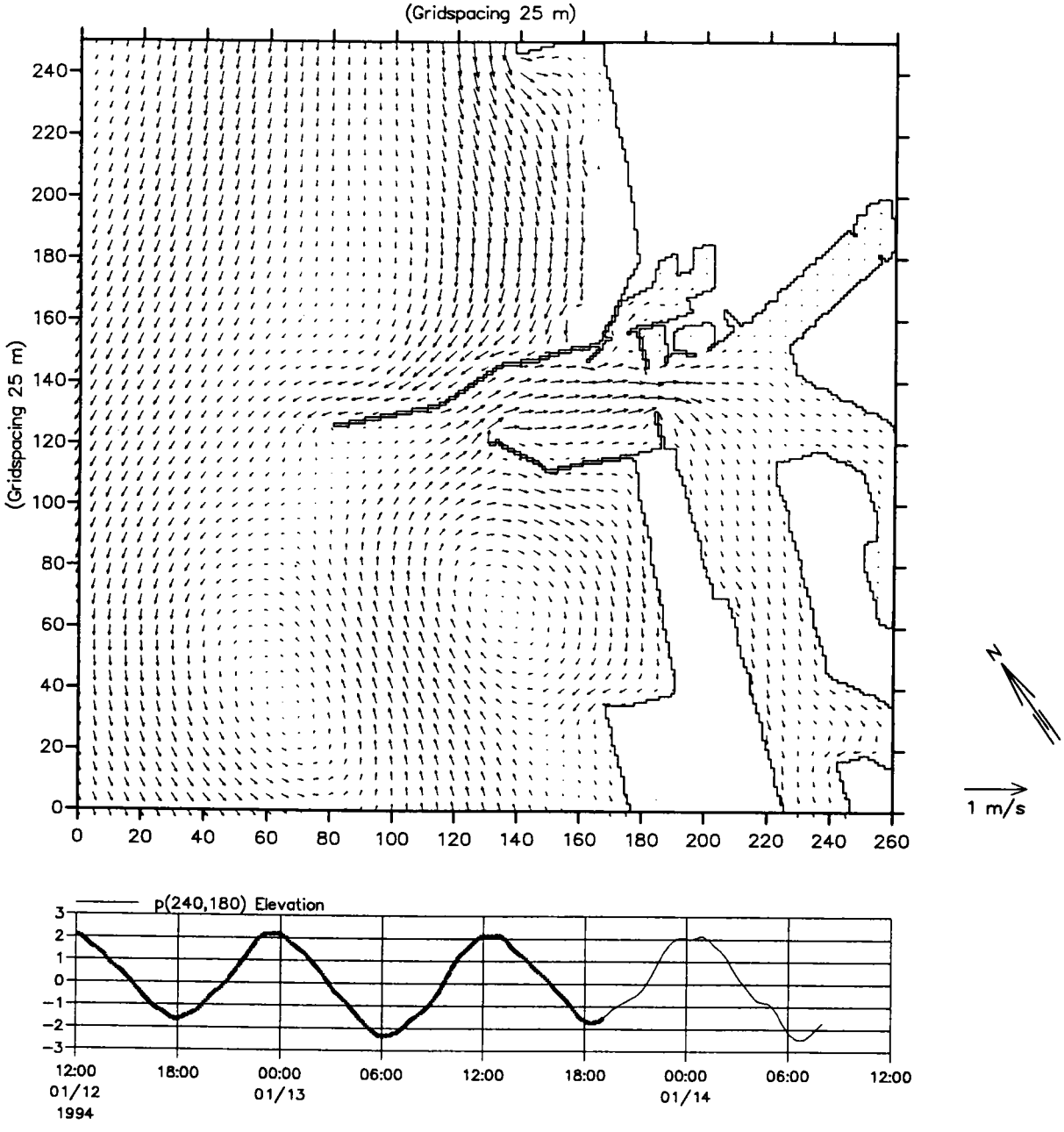


圖4-7-18t 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 19:00:00)

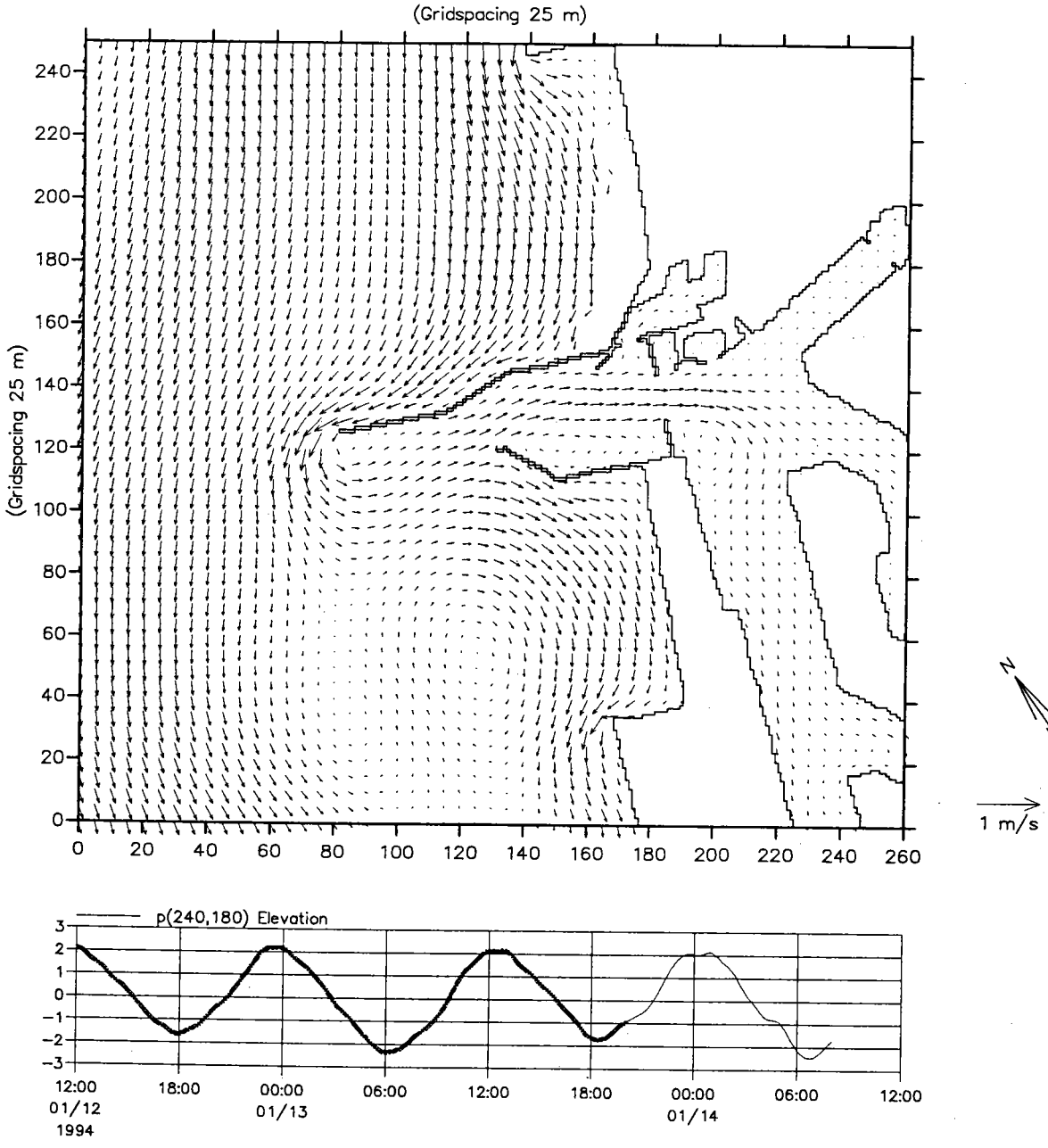


圖4-7-18u 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 20:00:00)

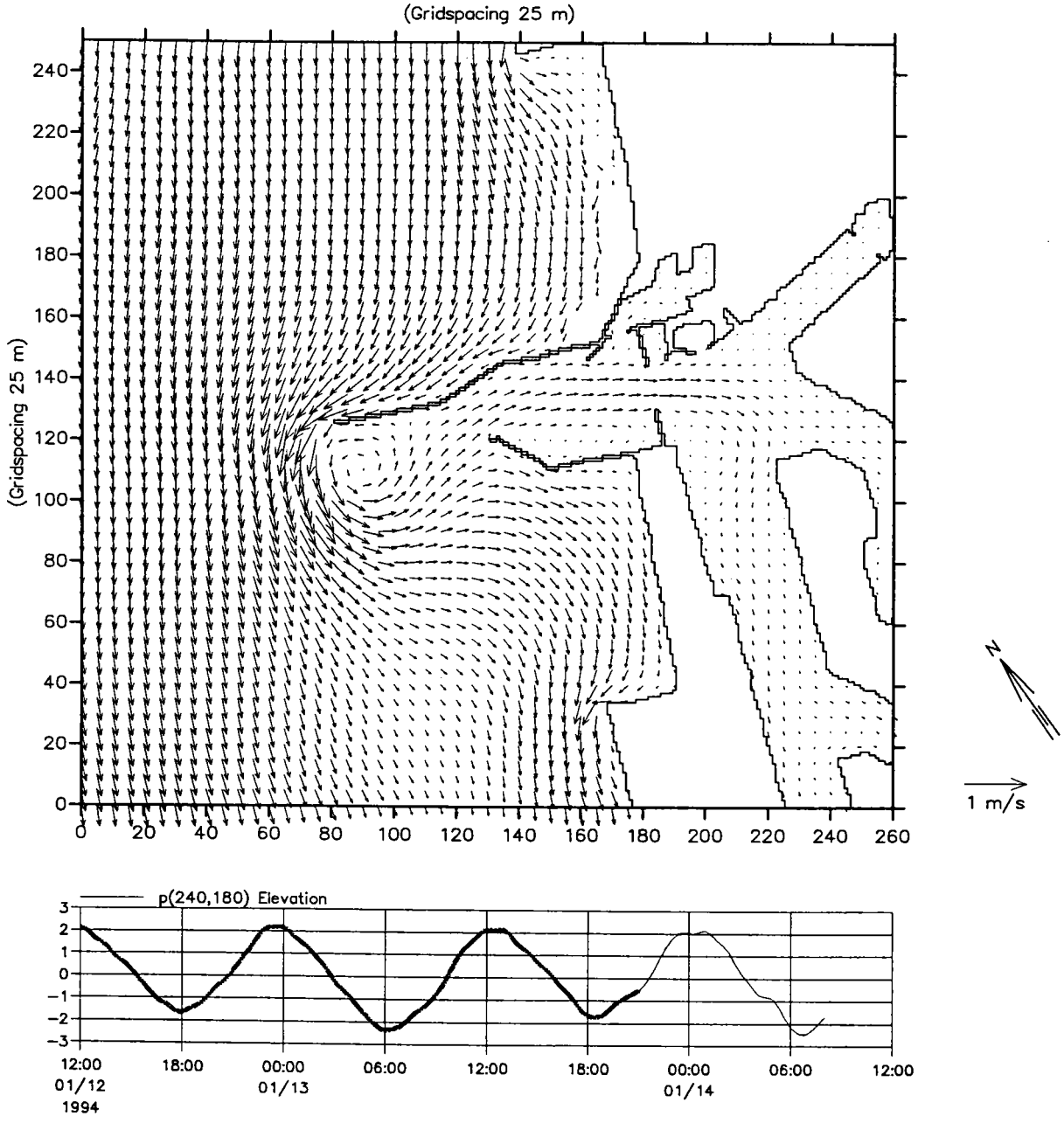


圖4-7-18v 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 21:00:00)

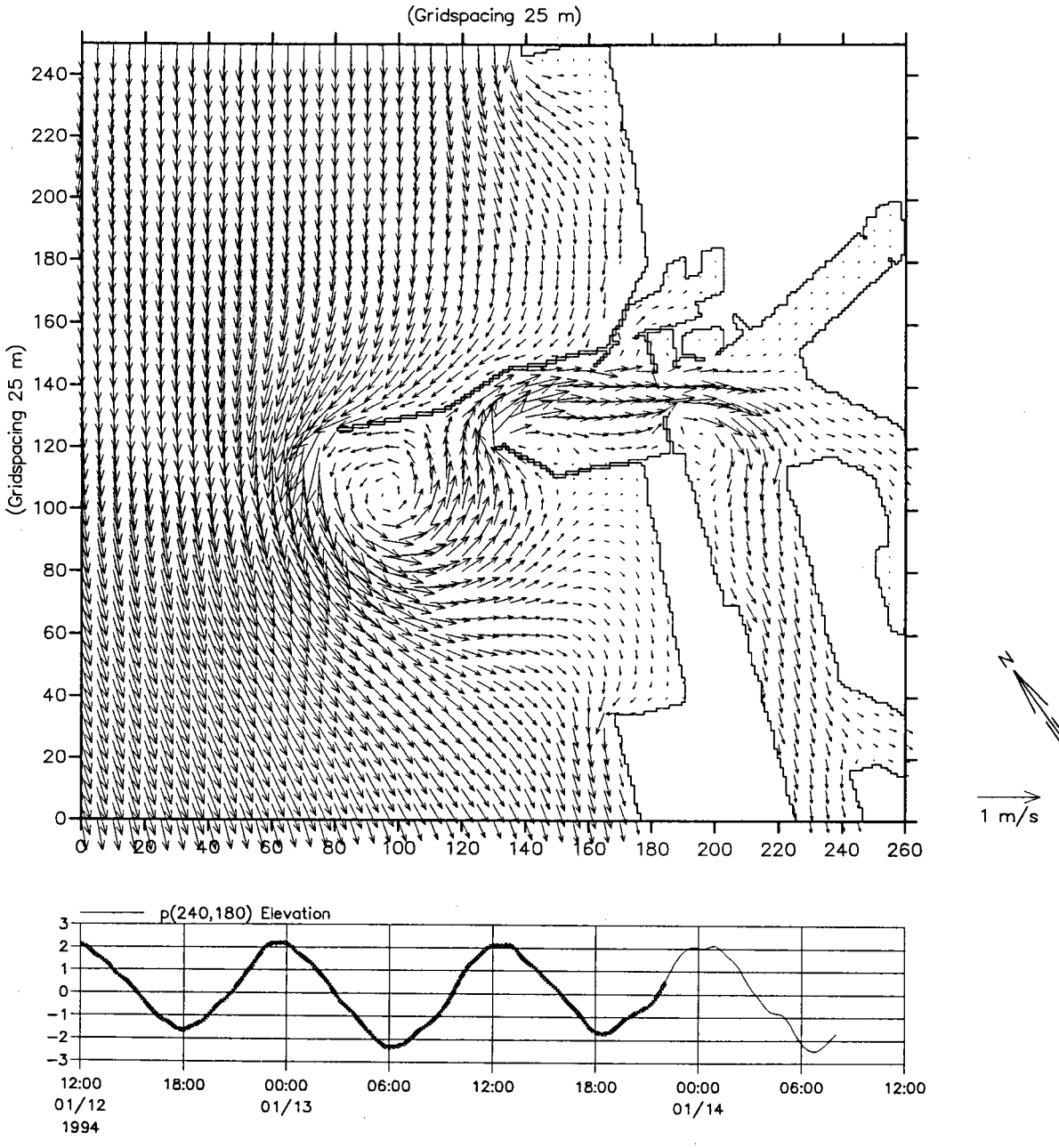


圖4-7-18w 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 22:00:00)

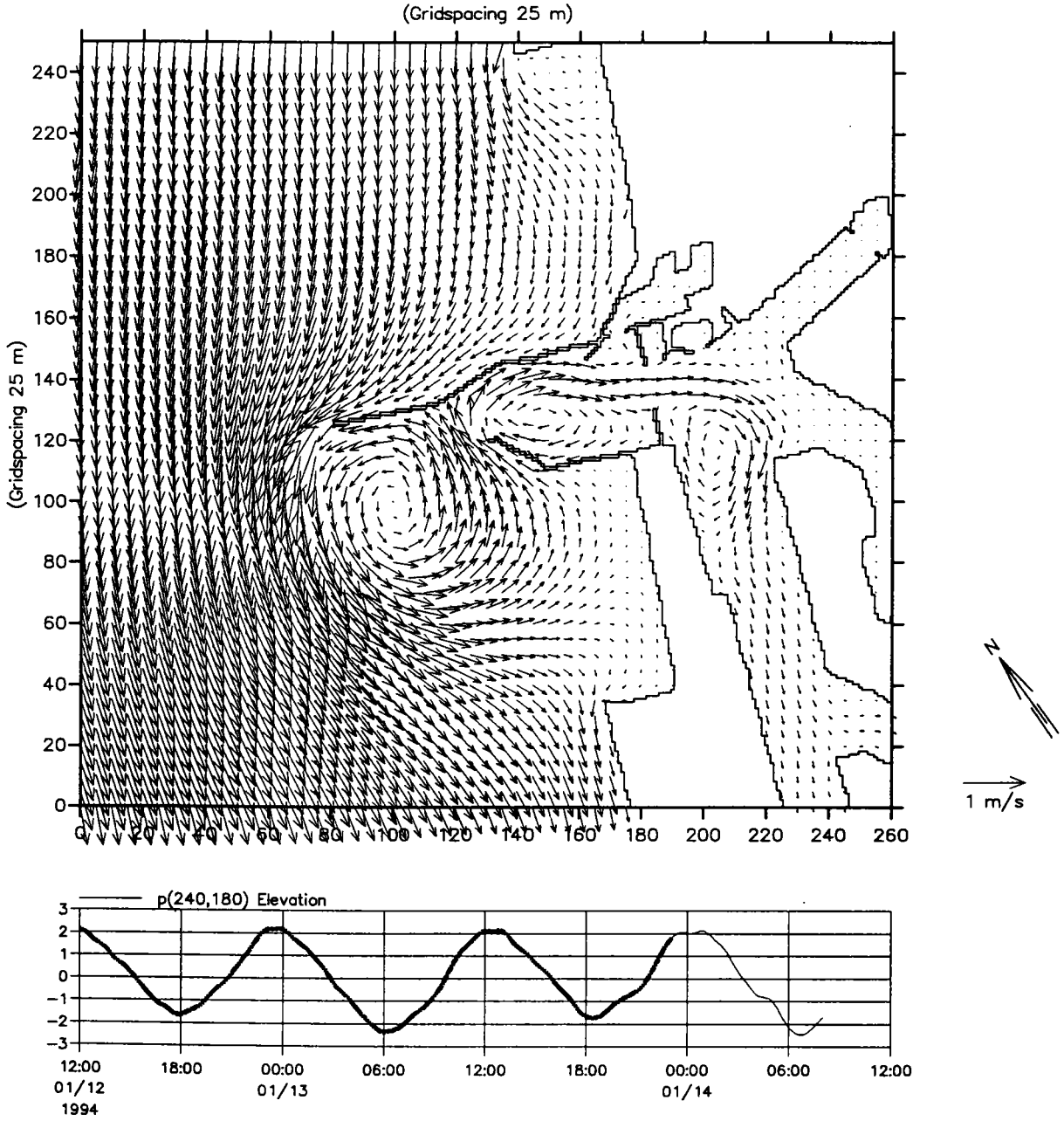


圖4-7-18x 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/13 23:00:00)

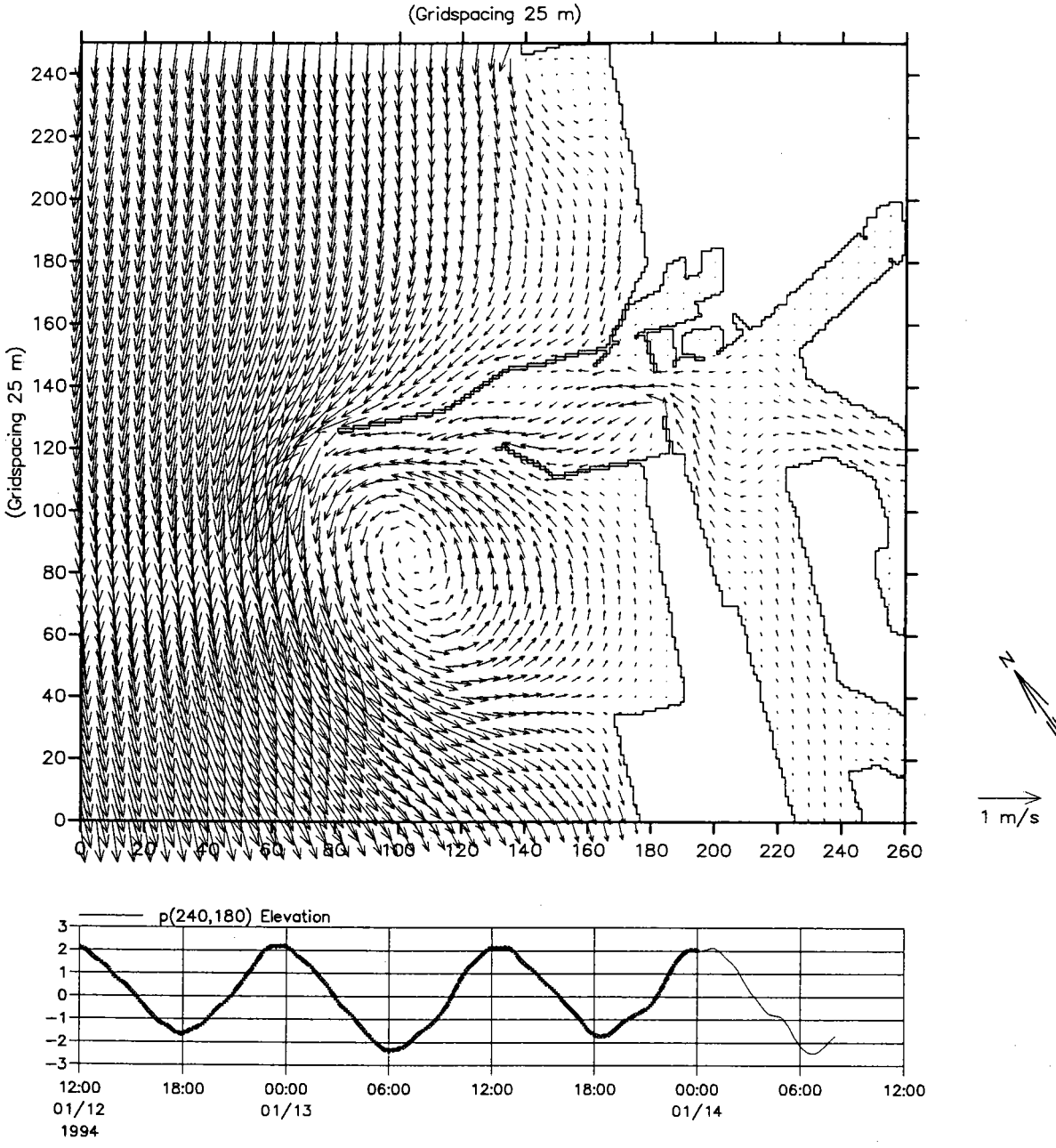


圖4-7-18y 台中港冬季大潮期間季風及潮汐影響之水流模擬
(1994/01/14 00:00:00)

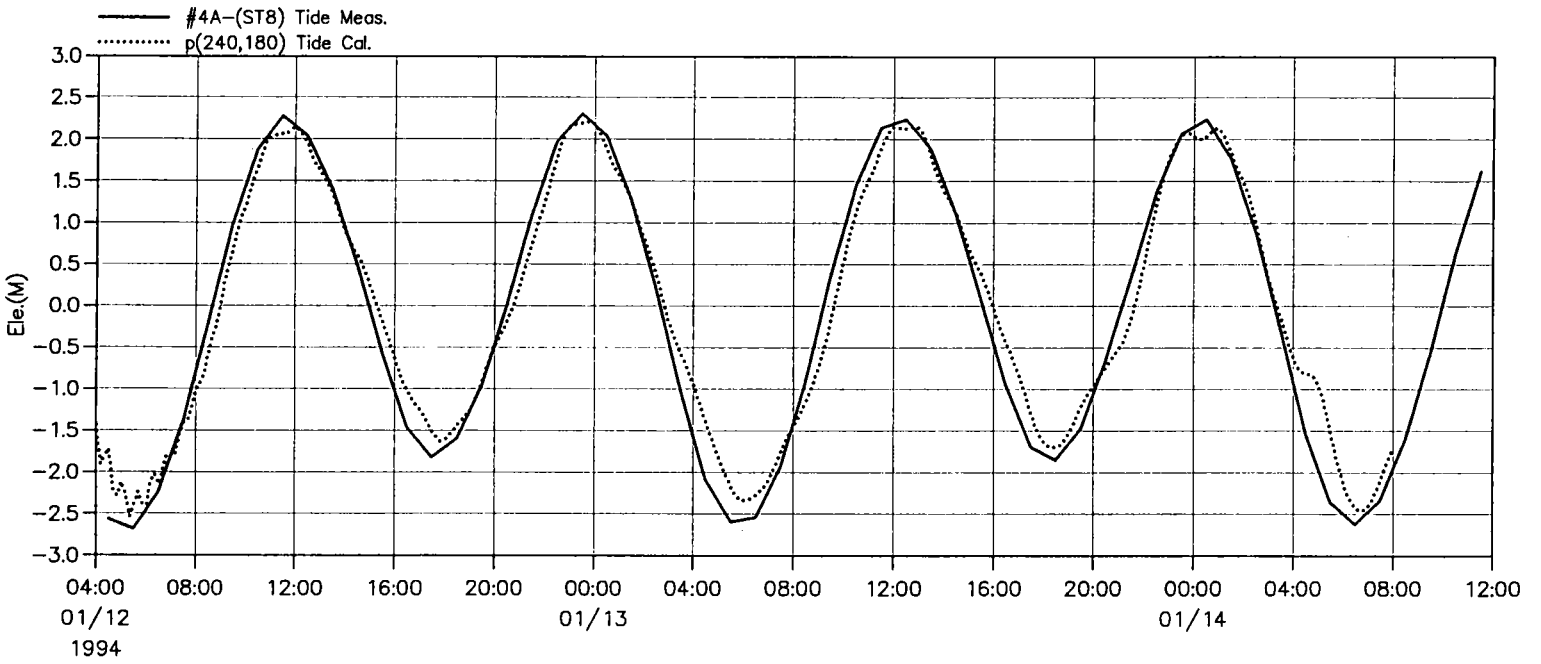
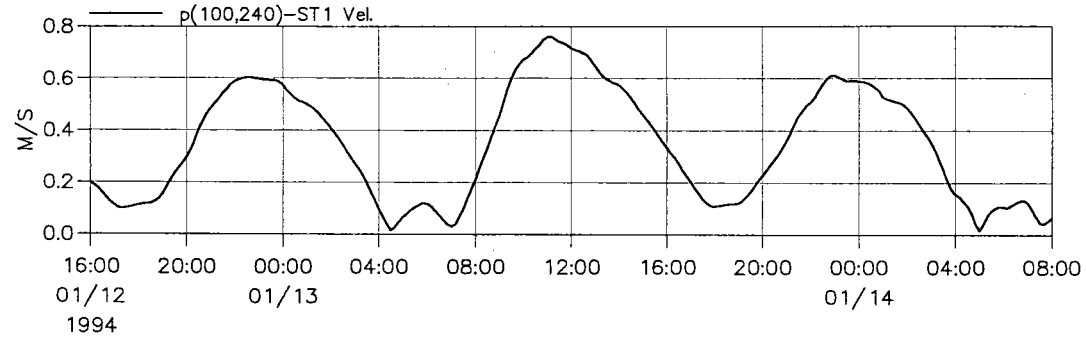
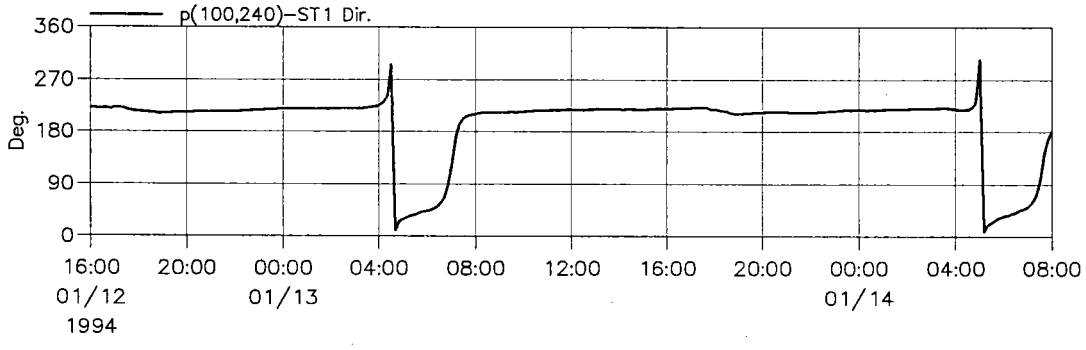


圖4-7-19　台中港冬季季風期計算與實測水位比較





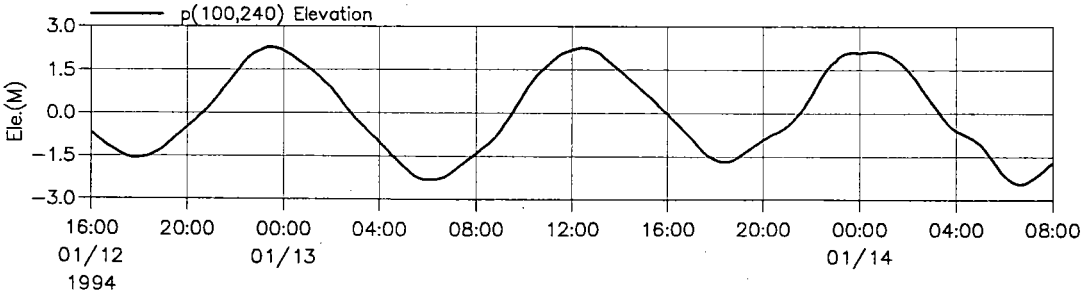


圖4-7-20　台中港冬季ST1近似測站水流水位模擬結果

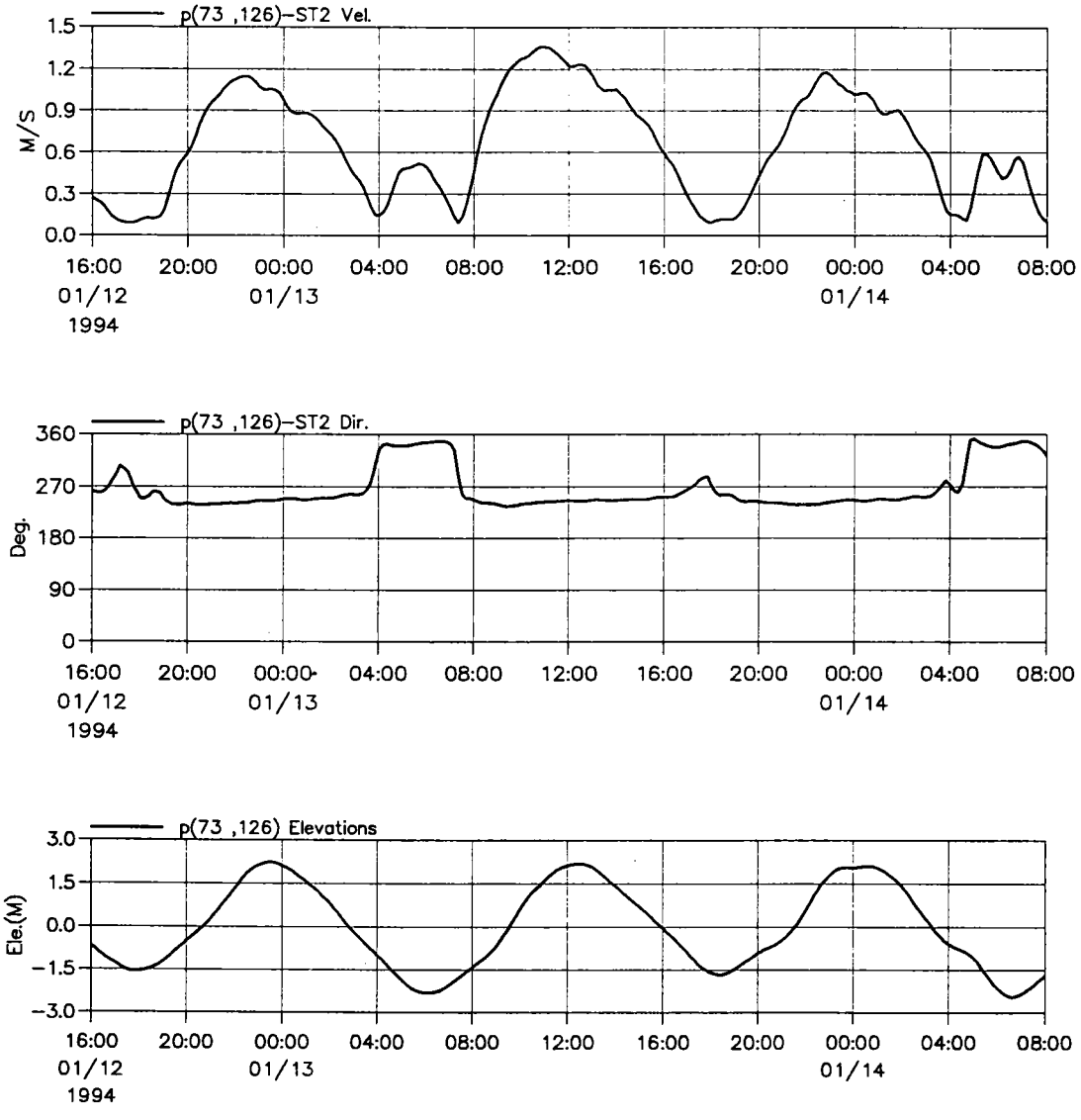


圖4-7-21　台中港冬季ST2近似測站水流水位模擬結果

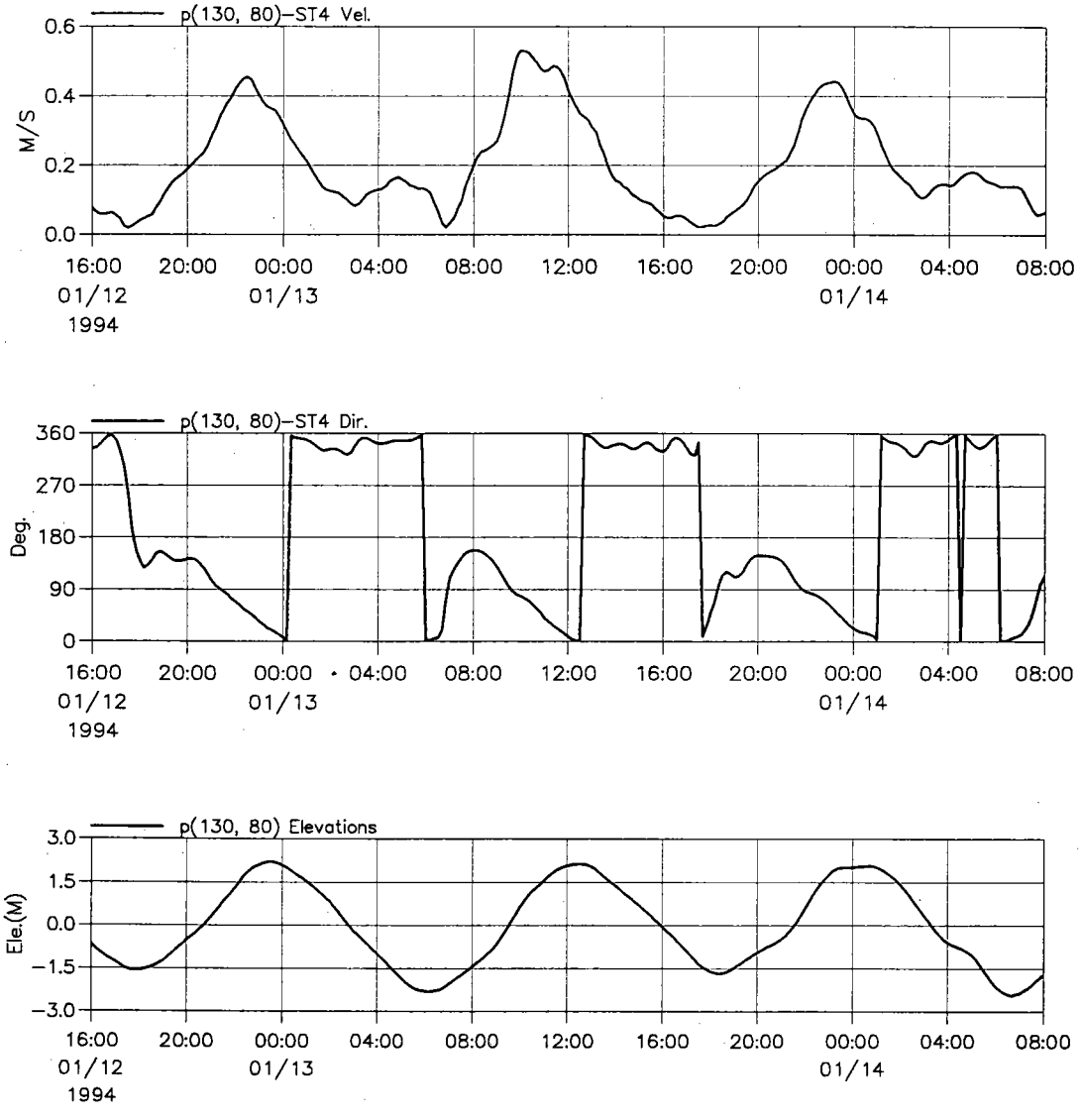


圖4-7-22　台中港冬季ST4近似測站水流水位模擬結果

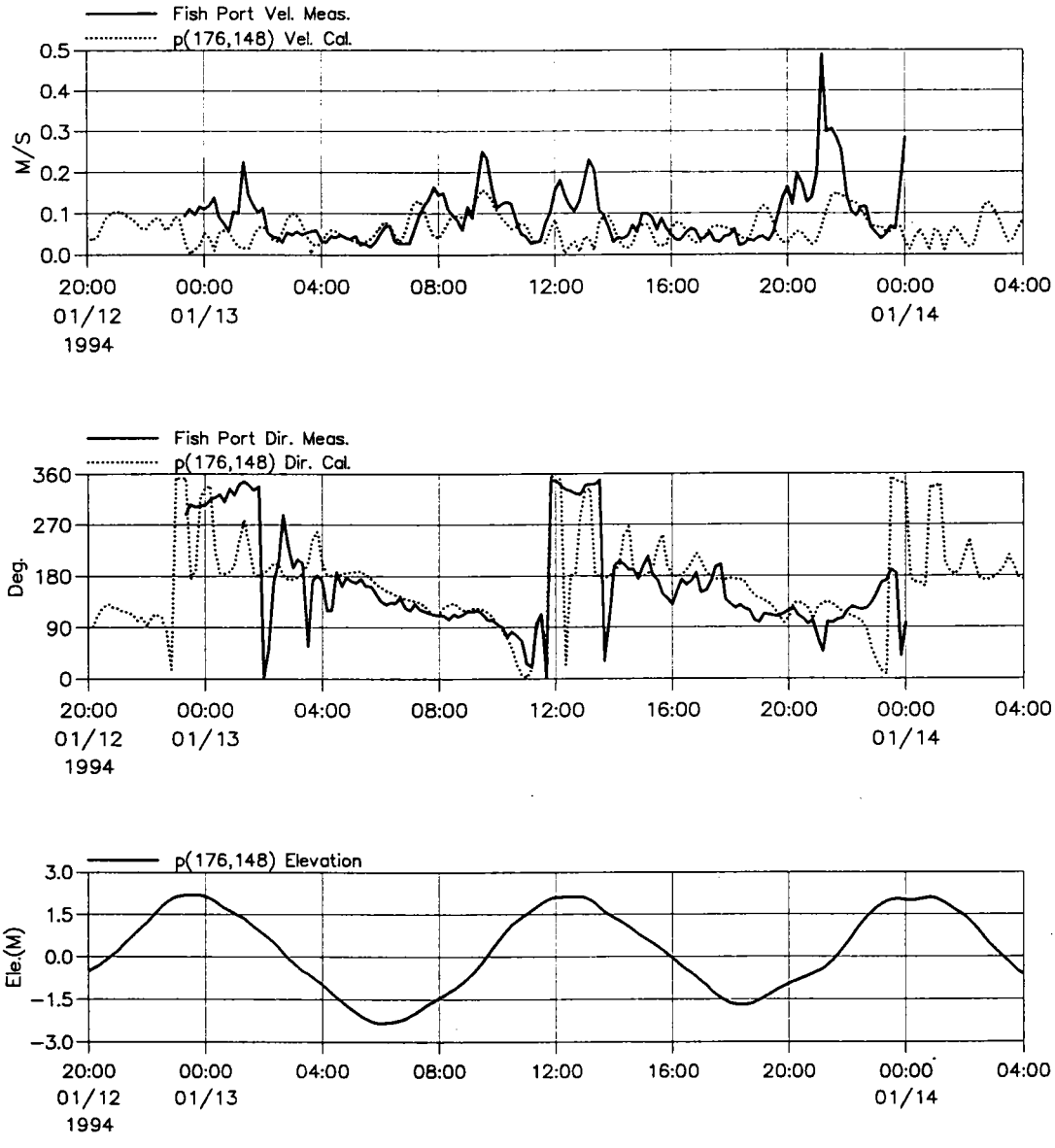


圖4-7-23　台中港冬季漁港港口計算與1996年1月7日實測流速流向之比較

第五章 操船模擬

5-1 引 言

現況台中港大型船舶進出港所須面對的最大困難與最重要的安全考量，除冬季東北季風與港口附近強大海流對船舶的操控影響外，引水人登輪問題當屬首要。

台中港港口附近因天然海氣象特性因素，外加防波堤等人爲構造物之影響，港口及航道部分常有強盛海流作用，致使船舶在進港時受水流的推移，造成船位的偏移而無法維持在既定的航線上，此種偏移量在大型船舶尤其顯著；另再加上大型船舶的受風面積比一般船舶爲大，東北季風產生的風效應更使船首向不易控制，操航易生危險。故而大型船舶在進港時，不論對船位或船首方向的控制都必須格外地小心謹慎。此外，進港船在進入航道之前，爲了讓領港艇靠近，船速必須減慢，以便引水人能順利登輪執行引水及靠泊任務。可是船舶在低速行駛的狀況下，水流及強風的效應更大，船舶操縱更爲困難，也使得引水人的登輪行爲危險重重。雖然台中港務局在台中港港口第二階段擴建計畫中北外防波堤延伸850公尺的擴建工程現已完成，但其成效是否能提供足夠的安全度供大型船舶進出以及引水人員登輪，港口航道間之港灣設施是否有必要再改善以增加其安全度，確實必要再藉操船模擬進一步評估。鑑此，本研究乃委託國立台灣海洋大學操船模擬機室進行現況港口之真時(Real Time)操船模擬。

5-2 操船目標

世界性現有之大型貨櫃輪如圖5-2-1至圖5-2-5所示。對於台中港現有的港口及主航道水域設施，台中港務局希望巴拿馬極限型散裝輪及遠洋大型貨櫃輪均能在冬季東北季風期間仍能安全進港靠泊碼頭。依據上述之營運目標，本研究中對大型船舶之定義係指載重噸約爲60,000噸級之巴拿馬極限型散裝輪，或貨載3,000TEU級以上之貨櫃輪。操船目標如下：

1. 探討台中港港口段航道南、北內外防波堤現況對3,000TEU級貨櫃輪及載重噸60,000噸級散裝輪進出港操船之影響及可能遭遇之困難。
2. 針對上述影響，研擬改善佈置之可能方案。
3. 分析4,000TEU型貨櫃輪進出港之可行性。
4. 評估引水人登輪方式，藉以提高引水人登輪之安全性及大型船舶進出港之安全與航行效率。

5-3 操船內容及方式

本研究主要是利用操船模擬機進行台中港港口段航道及南、北內、外防波堤對大型船舶進出之真時（Real-Time）操船模擬評估，亦即以模擬操船之結果來評估大型船舶進出台中港在操船上的安全性。就理論而言，船舶運轉受到三項因素之影響：操船者、船舶、航行環境，Real-Time操船的安全評估即在探討三者之間的相容性關係。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；而操船者則由當地引水人及其他有經驗的航海專家數人擔任之。操船者就某一種海域之某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，並進而評估其安全性。此外，操船者主觀的意見亦是評估上的重要參考依據。

本操船模擬之主要研究內容包括:

(1) 本船模式之校整

針對3,000TEU型貨櫃船、4,000TEU型貨櫃船及載重噸58,000噸散裝船進行操縱性能如迴轉圈(Turning Circle),衝止距離(Stopping Distance)以及速度變化測試等的校整工作，俾使模擬的船舶性能與真船試車之結果相符合。

(2) 環境模式輸入作業

提供台中港港口段現況有關的各種資料：包括碼頭佈置及導航標誌、港域水深、風向、風速、流向、流速等有關之環境資料。藉模式資料輸入裝置（Model Data Input, MDI）以建立測試操演水域的海岸線、燈塔、雷達回跡、水深及水流等環境資料。

(3) 操船模擬

先就風向、風速、流向、流速的環境條件予以組合成數組不同的模擬條件，再針對環境條件較惡劣的模擬條件進行重覆操航測試（Repetition Tests），其中Critical模擬條件之測試至少應達二十次以上，俾便分析。

(4) 操航方式決定

操船模擬皆以真時(Real Time)操船方式進行,操船人員全部由台中港現職引水人員擔任。主要之模擬方式如下:

a. 引水人登輪並進出港操船模擬

b. 船舶直接進出港操船模擬

5-4 台中港船舶進出港航行現況

5-4-1 地理位置及配置

台中港港口位於北緯24°17'，東經120°30'，港口爲西北向，主要之配置於大地座標上可表示如圖5-4-1。圖中虛線圓圈係直徑爲1000公尺之迴船池，虛折線與虛曲線分別爲90度及60度之進港採行航向，外廓配置主要爲南、北外防波堤，另有南、北之內防波堤各乙座。主航道水深多介於13公尺至15公尺之間，水深13公尺以上之主航道寬約300公尺，航道長度約達1600公尺。主航道兩端較窄，南、北外防波堤之間的航道入口寬度約爲350公尺，水深約14公尺；南、北內防波堤間水深達14公尺之航道寬度約爲270公尺。航道中心線的方向約爲115（295）度。

由於台中港在東北季風盛行期間，季風風速甚強，風向及海流均約與主航道垂直，進港船舶常易偏離航道。台中港乃於1994年完成北外防波堤延長850公尺工程，以利航行安全。目前該工程對北向波浪已有良好的遮蔽效果，爲使船舶能充分瞭解防波堤延長工程、港口附近水域狀況、水流、錨地及進出港分道航行等規劃，來港船隻必須備有最新版之台中港海圖，以確保該輪能於強烈東北季風期間安全進出港。

5-4-2 錨地與分道航行制

台中港外錨地位於南外防波堤西南方一至三浬處。小型船隻船長不足120公尺，吃水7公尺以下可選擇南外防波堤燈塔西南方距離一至一點五浬處，水深約8至15公尺爲錨地，該處冬季受北外防波堤之遮蔽，海面較爲平穩。中型船隻船長120至190公尺，吃水11公尺以下，可選擇南外防波堤燈塔西南方二至三浬處，水深15公尺至20公尺處錨泊。大型船隻船長190公尺以上，或吃水11公尺以上，可錨泊於南外防波堤燈塔西南方三至四浬處，水深20公尺至30公尺。

台中港外錨地爲沙質海底，水深8至25公尺，東北季風期間，風力七級以上時，容易流錨，船隻應特別注意，到港船舶應向港務電台報告拋錨時間及錨位，隨時守聽無線電話保持連絡，並備便主機，以策安全。

爲增進船舶進出港安全，台中港港口規劃分道航行制[6]，船隻必須航行於指定的航行港道內，以確保航行安全。出港船舶航行於分隔區的北邊航行港道，航向294度出港；進港船舶航行於分隔區之南邊航行巷道，航向60度進港。

上述錨泊區以北，及防波堤主航道口以西之水域，爲禁止錨泊區，該水域爲進出港分道航行區，爲使進出港船有充份的運轉水域，到港船隻非經港務電台之許可，不得在此錨泊或停留，以保持航道暢通，確保船舶安全。

5-4-3 台中港船舶之進港

依據台中港務局民國83年編印之「台中港進出港指南」[6]列載,台中港東北季風期間爲每年十月至翌年三月，強烈東北季風，風向北北東，風速三十至五十節，北外防波堤附近約200公尺範圍內有一股很強的橫流流向SSW，速度二至四節。當進港船舶之船身1/4進入北外防波堤而3/4尙在堤外時，船尾受此強流之推壓，使船首急劇偏向北側，加上強風的風壓作用於船尾駕駛台等建物上，使船首朝向上風的趨勢。水流作用加上風力作用使操船更形困難，若不能及時用快車及大舵角予以校正，便有碰撞北外防波堤的危險，進港船應特別注意，並應與北外防波堤保持安全的距離，同時南外防波堤附近有一股向北的回流約0.5節至1.5節亦應留意，進港船必須由西南方駛近港口進港。

進港船舶於接到引水的進港通知後，應即起錨航行至南外防波堤燈塔西南西方二點五至三浬處之進港船備便區，儘可能漂流，不拋錨隨時備便，等候引水人准許駛進港口之通知。現行進港船舶要進入台中港之前，先從進港船備便區採航向60度，經由進港航路，船首對準南、北外防波堤燈塔之間以全速航行。

東北季風期間當進港船駛抵南外防波堤一浬處，以船首向60度對準南北兩外防波堤燈塔之中間，半速航行，保持船速六節以上，爲抵抗風壓必要時也可加速至十節左右。無論在何種情況不可停車，並保持良好之舵效，備便領港梯於右舷下風處，領港船即駛向進港船，在距離南外防波堤燈塔0.5浬處登輪。船舶在迎接引水人時必須減速，以利領港船接近，引水人才能登輪。接著，該船在該引水人的協助下，船首向由60度轉至115度，當可順利進入航道中央與港內。在港內，船速必須減至五節以下，以便繫帶拖船，並經拖船的協助，該船才能安全靠泊碼頭。

西南季風期間每年四月至九月，風向SW至SSW，風速15至30節，北外防波堤附近水流，流向NNE，流速0.5至2.0節，進出港船隻應特別注意，不可太接近北外防波堤頭。進港船應將領港梯備便於左舷下風處，引水人登輪地點在南外防波堤燈塔西南西方一至一點五浬處。

5-4-4 台中港船舶之出港

依據「台中港進出港指南」[6]列載,台中港出港船舶在引水人及拖船的協助下離開碼頭後，先解除拖船繫纜，並以慢速前進。引水人將船帶至主航道內防波堤附近，經船長充分瞭解當時之風向、水流及進出港船隻動態，使船長有把握快車出港後，引水人即快速離船。船長於領港船駛離大船後，盡快加車，航向294度，並加上適當的風壓差，駛經主航道後，離開台中港。

5-5 操船模擬設備概述

當一項研究計劃不可能或無法在真實的環境中進行試驗時，利用模擬的方式來進行試驗是種非常有效且實用的替代方法。模擬試驗所用的環境條件必須近似於真實的狀況。海事用的模擬機是將各種環境條件所設定的模組加以組合，例如操船模擬機是把船舶模組、水流模組、風力模組、地理環境模組等結合成一體，用來檢視各種航行困難的原因，而不需擔心碰撞與污染之後果，並可解省大筆經費。航海用模擬機在學術研究上的有效性早已被公認與真實航海沒有顯著之差異，操船者在模擬機上的表現與他在真船上的反應一致。

操船模擬機的型式大致分爲兩種：真時（Real-Time）模擬機及快時（Fast-Time）模擬機，兩種模擬機各有其優缺點及用途：

(1) 真時模擬機

多用於細部之模擬操船試驗與分析，且在試驗之前必須做過詳細的調查與評估。此種模擬機能提供一個真實船舶的環境，不論視覺景觀、操船心理、船舶動態感覺等均與操縱真船相同，可用以觀察操船者的個人操船風格及行爲之缺失，但是造價昂貴、模組製作技術困難、試驗費時，多用於特定的環境條件。

(2) 快時模擬機

多以個人電腦顯示器作爲畫面，操船者的臨場感較差，無法觀測出各種人爲因素，但是造價便宜，多用於研究計劃之先期作業上，對於多種不定的環境條件可在較短的時間內概略的分析出問題的方向。

爲能提供一個近似真實的航海環境，真時式的操船模擬機必須具備下列功能：

(1) 從模擬駕駛台內能看到與真實環境近似之景觀。
(2) 本船之性能必須盡可能接近真實船舶。
(3) 模擬駕駛台內必須設置各項航海儀器，以及雷達資料。

因此，此類模擬機大致分成下列五個部分，如圖5-5-1所示，

(1) 駕駛台系統
(2) 影像系統
(3) 電腦系統
(4) 監控系統
(5) 記錄系統

海洋大學之操船模擬機，如圖5-5-2所示，是屬於真時式的操船模擬機，是由

駕駛台、搖動系統、影像投影系統、資料處理系統，教師指導台等部份所組成，期使在駕駛台的模擬狀況能與真船一致。駕駛台本體可左右橫搖五度，前後縱搖五度，內部設置操舵機、車鐘等控制系統，VHF通訊系統，以及一部自動避碰測繪雷達與一部隨從雷達。操船者可從各種儀表得知各項相關之參考資料，包括：迴轉率、船首向、船速、水深、相對風速與風向、主軸轉數、舵角指示等。此外，本模擬機尙能顯示有關之流體效應、風力效應、淺水效應與水流效應等。

每次模擬操船的過程中，每隔三十秒鐘電腦即自動將本船的狀況記錄一次，所記錄的資料包括：時間、船首向、舵角、船速、螺旋槳轉數等。此些資料之內容說明如下：

(1) 時間（TIME）：電腦記錄每筆資料的時間，記錄單位爲「時：分：秒」。
(2) 船首向（Heading, HEAD）：當時船首之指向，記錄單位爲「度」，以正北爲0度，由順時針方向將一圈分爲360度。
(3) 迴轉率（Rate of Turn, ROT）：船舶轉向時船首向之改變情形，記錄單位爲「度／分鐘」，「＋」代表向右轉，「-」代表向左轉。
(4) 舵角（Rudder, RUD）：用舵之角度大小，記錄單位爲「度」，「＋」代表右舵，「-」代表左舵。
(5) 船首橫向速度（Bow Transverse Speed, VB）：船首向左側或右側之偏移量，記錄單位爲「浬／小時」，「＋」代表向右偏移，「-」代表向左偏移。
(6) 船尾橫向速度（Stern Transverse Speed, VS）：船尾向左側或右側之偏移量，記錄單位爲「浬／小時」，「＋」代表向右偏移，「-」代表向左偏移。
(7) 船速（Speed, SP）：船舶向前或向後移動之量，記錄單位爲「浬／小時」，「＋」代表向前移動，「-」代表向後移動。
(8) 車令轉數（Engine Order Telegraph, EOT）：操船者使用之車令，以表示所要求之螺旋槳轉數，記錄單位爲「轉／分鐘」。
(9) 實際轉數（Revolution per Minute, RPM）：當時螺旋槳每分鐘之實際轉數，記錄單位爲「轉／分鐘」。

除了上述本船的電腦資料外，本船所行經的航跡亦可利用繪圖機將全程繪製下來。爲了量取各項相關資料，海洋大學的研究人員可把模擬機的航跡座標轉入AUTOCAT電腦軟體中，再印製有用的航跡圖。另外，航跡座標亦可利用電腦程式計算出本船與相關參考點或岸標之最近距離，使航跡數位化，再利用統計的方法比較各種航跡之數位化資料，以分析其間之相關性質與差異性，藉此找出各種航行問題與改善方案。

船舶航行時，操船人員均希望該船能依照事先規畫的航線行進。但是受制於

該船內部性能、外在環境以及操船者操船行爲之影響，船舶通常會偏離航線。爲預防船位偏離航線，操船者常會利用舵效來反制船舶偏移，有時爲能加大及加快舵效，就必須加快船速使舵效顯著。有時當操船者發現船位偏離航線或船舶面臨航行危機時，也必須利用舵效及船速來化解危機，因此船舶的內部性能即指車與舵的轉換情形,此爲本船資料建立之重要項目之一。

欲瞭解某一艘船之車、舵性能，通常係由該船之衝止距（Stopping Distance）及迴轉圈（Turning Circle）來判斷。船舶衝止距愈短，該船之車效愈佳，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，該船轉彎所需的水域範圍愈小，可快速轉向避免碰撞。影響衝止距長短及迴轉圈大小之因素很多，一般而論，大型船舶之衝止距比小型船舶爲長，而迴轉圈較大，故大型船舶之操縱較爲困難。

5-6 台中港海域環境條件

操船之外在環境因素包括：風、水流、地理環境、海上交通等。本研究之地理環境係以台中港爲對象，該水域的海岸線、燈塔、碼頭佈置、導航標誌、海域水深等均依照海圖資料輸入模擬機內。海上交通則以單一船舶進港或出港爲主，不考慮本船與其他船舶之間的相互關係。由於船位偏離航線，其主要原因爲風與水流之影響。但風與水流之大小不定，因時因地而異，操船者對於風與流對船舶影響之確實程度不易估算，因此預期用舵及用車之效果常與實際結果不盡相同，故而必須反覆的用舵及用車來修正船位。當船舶在慢速航行的時候，舵效較差而風及水流之影響相對的增加，航行危機較大。

一般而言，船舶受風,船位會向下風方向偏移，船首向反倒趨向上風；大型船舶因上層建築體之面積較大，受風面大受風之影響也較明顯；貨櫃船因裝載甲板貨櫃，受風面積大於其他類型之船舶，船位之偏移量也較大，但因船首與船尾之受風面積差異有限，故船首趨向上風的情形不似其他船舶明顯。水流效應則與船舶之水下體積有關，大型船舶吃水較深，受水流之影響也較大。另外，風大必然產生較大的海浪，船舶之運動因此而不易掌握,對於引水人員登輪的動作而言也就困難重重。

台中港冬季季風期之海氣象環境條如本研究第二章所述,現況海域水流之型態與變化特性則可參考第四章—波浪與海流之數值模擬計算結果。

5-7 操船模擬環境設定

5-7-1 水深

操船模擬設備限於水深調整之機動性，水深除依據台中港海圖與民國83年水深測量結果設定外，於考慮潮位變化與模擬對象船舶吃水深及必須保留之餘裕下，必要時將全港區水深通盤定值調整，俾能符合計畫及規畫水深之需求。

5-7-2 風速及風向

依據引水人員及船長之經驗，台中港北外防波堤延長850公尺後，船舶在風速小於20m/sec之情況下，航行危險較小。另依據本研究第二章海氣象之統計資料，台中港之操船模擬試驗於港口現況佈置下，平均風速分別選用16.5 m/sec（約33 knots）、20 m/sec（約40 knots）及25 m/sec（約50 knots）三種，但以40 knots爲主。風向則有NE、NNE與SW等三個方向。操船模擬進行中，除風向保持恒定外，風速將分別於16.5 m/sec、20 m/sec及25 m/sec之平均值上模擬陣風之風速強弱變動，藉以反映強陣風作用之真實性。

5-7-3 波浪

在操船模擬機上，爲反應波浪作用於模擬船舶造成搖晃之真實性，於船舶未進入結構物遮蔽區內時，波浪以大浪(約2.5公尺)設定模擬，船舶進入主航道及港內，則港內波浪將以平靜狀態設定。

5-7-4 海流

根據實際調查與本研究海流之模擬計算結果可知，台中港由於高潮差特性與強風之作用，港口內外水流實際是逐時變化的，且流型並不固定，欲將其所有流型全部應用於操船水流之設定，於人力、物力、經費及時間上皆有不可爲之處，因此僅就漲退潮之典型，參考先前台中港於荷蘭Marine進行之操船水流資料後，於漲退潮間選取代表流型以進行操船水流之設定。

爲探討並比較船舶接近港口，接引領港後直接進港之操航問題，海域水流環境依圖5-7-1之水流型態設定。該水流型態之選定，主要乃參考"台中港港口擴建計畫評估研究"[1]報告內真實操船設定之水流環境，再配合本研究潮流模擬結果圖4-7-12m與圖4-7-12q綜合插分求得。

爲探討台中港現況港口配置對操航之影響及可能之港口設施再改善問題，操航水流將分別就漲潮及退潮流型中擇其對操航可能造成較大影響者，於海流數值模擬結果中，選取圖4-7-18ℓ爲漲潮水流(順流)流型之代表，操船之順流環境設定如圖5-7-2。取其港外環境之型態能反映現況港口實際漲潮環境之水流，並與台中港引水人員之經驗相配合，尤其漲潮水流於航道內之順流操航可測試航道長度之

充足度。退潮水流(頂流)之選取以圖4-7-18c爲流型代表,操船之頂流環境設定如圖5-7-3。本型態之水流雖與台中港引水人員之經驗並不完全相一致,但其除用爲對照順流之操航外,應爲台中港未來要求全年全天候允許船舶操航進出港之重要參考。

5-8 操船模擬之進港方式與航向

依據荷蘭MARINE公司於1980年9月對台中港所作之「The Taichung Harbour Study, Report No.03843-1-MS」研究中提及：爲避免船隻在北外防波堤堤頭受到束縮橫流之作用，大型船舶進港航行路徑應避免完全平行主航道之航向。故當時該研究案係採用下述兩種路徑進行試驗：

(1) 與正北成90度夾角之進港航向

採此路徑主要可避免大型船舶在港口與主航道口處作較大幅度之轉向，至於風、浪、流之橫向作用力，則以船速及船體角度來克服。使用此航向進港時，船舶速度必須較快，引水人員假設已登輪並抵達駕駛台。

(2) 與正北成40度夾角之進港航向

大型船舶採用此航向進港時，必先繞至北外防波堤下風處，頂風、頂浪、頂流前進，由於船速不快，引水人可在船舶的下風登輪，當船舶進入遮蔽區後，必須由拖船帶纜協助進入港區。

由於台中港北外防波堤已於1994年完成延長850公尺，防波堤對波浪已可產生良好的遮蔽區供引水人員在南外防波堤外西方半浬處之引水人站登輪，故目前進港船舶均在外海二浬處採用與正北成60度之進港航向，先駛至引水人站接上引水人後直接進港。本研究依據現況進港方式,配合研究目標,參酌過去相關研究成果後,訂定大型船舶進港操航方式及航向如下:

(1) 採現況60°航向,接領港後直接進港。

(2) 採60°及90°航向,不接領港直接快速進港。

模擬試驗之本船操縱均由台中港現職引水人員分別擔任，海洋大學助教負責掌舵。進港船舶由南外防波堤外二浬處之起航點開始，分別以起始航向90或60度朝主航道航行，起始船速均爲12節。船舶通過主航道及南、北內防波堤後，在港內迴船池內將船速減至零，試驗過程才算結束。出港船舶則由迴船池起始，航行通過主航道，直至遠離外防波堤止。從起始至結束之操船模擬試驗期間，船舶之航向、舵角以及船速均由操船之引水人依各人的判斷決定之。

在不接領港直接快速進港操航研究上,進港船舶係假設引水人已登輪並在駕駛台上,大型船舶不需要在引水人站減速，但爲了靠泊碼頭，船速在主航道及港

內必須逐漸減慢。此時如果風大或流強，船位不易控制，舵效又不能發揮功用，航行危機會因而產生。各國的海難統計資料均顯示港口附近的海難次數高於其他水域，其中又以進港船舶所佔之比率最大。因此，本項操船研究主要針對台中港進港船舶來探討其航行危機。

台中港之出港船舶在引水人離船後即可加速航行，出港船舶在高速行駛之下，舵效很快就產生作用，縱使在惡劣天候中，外力影響也不大，船位較易控制。台中港引水人均認爲大型船舶的出港，在安全上較無太大的問題存在。因此本研究僅操作八次出港的測試，而將大部份的操航模擬集中在進港模擬測試上。

5-9 接領港之操航計劃與資料分析依據

爲實際模擬惡劣天候下現況領港登輪及大型船舶進港操航之潛在問題，經台中港引水人與海洋大學操船模擬機室共同討論，訂定台中港現況大型船舶採60^{o}航向接領港後直接進港之操航計劃如圖5-9-1所示。實際進行操船模擬時，進港船於模擬起始點A起動，B爲領港登輪點，起動航速6～8節。領港艇於北外防波堤之遮蔽下接近進港船，領港艇接靠進港船後，須由進港船提供一「下風」(lee)水域，如圖3-6-1所示，其浪高必須小於1公尺。真時操船模擬時，「下風」之條件係由進港船維持船首向爲070度，及船速爲小於7節之情況模擬之，亦即，必須在同時符合船首向及船速二者之條件時，才視爲領港登輪成功，再依據由台中港領港現況實際登輪之經驗，自領港登上進港船以迄抵達駕駛台，其間所費時間約需200秒。依此，即可獲得領港抵達駕駛台時之位置，如圖5-9-1中之C點所示。按以上操航計劃實際進行現況操航模擬後，操船模擬結果之分析依據如圖5-9-2所示，圖中'O'表領港登輪之船位，'◎'表領港抵駕駛台之船位，A爲領港登輪船位船橋與南外防波堤頭之距離，B爲領港登輪船位船橋與北外防波堤堤頭之距離，C爲領港抵達駕駛台時船頭與南外防波堤堤頭之距離，D爲領港抵達駕駛台時船頭至北外防波堤堤頭之距離，E表進港船舶在港口處右船舷與南外防波堤頭之最短距離，門線及其他符號之說明參見圖5-9-2上之定義。

5-10 操船模擬結果及分析

5-10-1 接領港後直接進港之模擬結果

對於60^{o}航向，3000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之操船，本研究以真時操船模擬方式共進行進港30航次，出港4航次。本船資料如表5-10-1所示，部分進港操航之結果如圖5-10-1所示，出港如圖5-10-2所示。由圖5-10-1a中可看出，模擬操

船中，接領港至領港抵駕駛台皆按操船計劃預定船位完成，但在北內防波堤堤頭部份則失敗；由圖5-10-1b可看出，領港登輪及領港抵駕駛台之船位已偏離操航計劃之預定位置甚多，領港在未上駕駛台前，船長操航控制下之船舶能否順利接近港口尚有疑慮，唯其在進港後，船舶可成功地保持在主航道上航行。圖5-10-e及f顯示進港階段，航向無法保持穩定及領港登輪之問題。

將30航次，航向60度，3,000TEU級貨櫃輪之操航航跡整合，總航跡圖可表示如圖5-10-3，領港登輪之模擬船位分佈如圖5-10-4所示，圖5-10-5爲領港登輪且抵達駕駛台之船位分佈。依據圖5-9-2進港操航分析定義圖將各次操航結果進行分析，結果可得如表5-10-2。

5-10-2 接領港後直接進港之模擬結果分析

根據總航跡圖及其分析表—表5-10-2可得本次操航模擬結果分析結論[illegible]：

(1) 操船航跡之穩定(Steady)保持

3,000TEU級貨櫃輪爲未來規劃之重要目標大型船舶，當海面平均風速達20m/ses，採60°航向接領港後直接進港時，風與進港航線附近環流之影響，造成船舶於進港階段，穩定航向之保持甚爲不易，由總航跡圖可清楚看出，30次之操航中，共有九次之航跡明顯於接領港登輪階段，航向離預定航線向北偏行，由於此時引水人員尚未登輪，船舶係由船長自行操控，風與流的作用可能在此階段迫使船長不敢冒險駛近港口而下令船舶轉向駛向外海。操船模擬中，當進港船舶偏離預定航向而無法保持船向穩定時，即使船舶係由領港人員操控，亦可在模擬操航中發現其船舶操控之緊張性與困難度。因此，大型船舶於季風期進泊台中港，除防波堤與港口對船長之無形心理壓力外，風速與環型水流造成進港船舶保持穩定性之影響當亦爲船舶進港階段首先須面對及克服之障礙。

在本操船模擬中，較預定航向偏北之九次航跡，若忽略航向穩定之保持問題，其實其航跡可近似視爲約略爲採90°航向之進港操航方式，只是其領港登輪，必須提早完成而已。

(2) 領港登輪位置

根據圖5-10-4領港登輪位置分佈圖可知，30航次領港模擬登輪位置實際較預定登輪位置偏離及分散甚多。若以預定登輪位置一倍船長之半徑視爲符合預定要求，船長以260公尺計算，則符合預定要求之航次僅約12次，不符合之比例達60%。其中有11航次較預定位置落後，其比例佔總航次之36.6%，較預定位置提前之比例爲23.4%。又登輪位置較預定位置落後者其當時船位大都偏在預定航線之南側，由此推知，其進港必須採行小於60°之進港航向，船舶在當

時係向北外防波堤堤身中段航行，船長必須極冷靜地自行克服風與流之影響，並準備以大角度轉向進入港口。對於登輪位置較預定位置提前者，其當時船位大都偏在預定航線之北側，主要原因係進港船舶在接近領港登輪區時大多已因航向無法保持穩定而偏北，但此航向若船長夠鎮靜，其進港將反而更平順。值得注意的是，在以上有關登輪位置之分析中，在登輪位置較預定位置落後之航次上，有四航次登輪位置已接近領港抵駕駛台之位置，若船長對台中港環境不夠熟悉，領港登輪延遲將可能造成船舶進港發生危險。依表5-10-2統計分析結果，登輪位置與南外防波堤之標準偏差值爲558.35公尺，與北外防波堤之標準偏差值則爲276.72公尺，分別爲其平均值之34.42%與23.29%，約爲船長的1～2倍。

(3) 領港抵駕駛台之位置

參考圖5-10-5，由圖可知，在領港抵駕駛台後若嚴格要求當時船位與港口距離維持在3倍船長以上，則30次真實操航之結果將有9次無法滿足預定之標準，抵駕駛台之延遲約爲總操船航次之30%，此比例與登輪位置較預定位置落後有密切之關聯。由於領港未抵駕駛台前，船舶操控仍由船長負責，故而船長的進港信心與冷靜度及其對台中港之環境熟悉度必須均有極高之要求。當然其中領港之指導與配合是極爲重要的。依表5-10-2之統計結果，領港抵駕駛台時船位與南外防波堤堤頭距離之標準偏差值爲451.84公尺，與北外防波堤堤頭之距離標準偏差值則爲169.14，船位與港口門線之平均距離爲737.63公尺，約爲260公尺船長之2.83倍，但其偏差值爲450公尺，約爲260公尺船長之1.73倍，可見其變異性仍甚大，不滿足度亦甚高。

(4) 船舶進港

依本操船模擬30航次操航之結果可知，船舶在通過南外防波堤堤頭港口時，平均船速爲8.77節，航跡甚爲集中，右船舷與南外防波堤之最短距離平均達147.14公尺，標準偏差59.45公尺，右船舷最靠近南內防波堤頭之距離爲34公尺，仍達一倍船寬以上，由於30航次之操航皆由台中港現職引水人擔任，依此可判知，只要領港可順利登輪並導引進港船舶順利於南外防波堤頭轉向，則船舶安全進入港口應無問題。

(5) 主航道上航跡之保持

台中港港口內主航道上由於漲退潮潮流之影響，航道上水流之型態變化亦甚大，由於進港船舶在主航道上航速必須減慢以準備停車，因此舵效常不易控制，緩慢的水流即可對船舶操控造成影響。不過本研究30航次之操船模擬中，主航道上航跡仍甚集中，偏離預定航線之情況甚少。

(6) 通過南北內防波堤口之航跡

台中港因漲退潮影響,於南北內防波堤口處亦有複雜多變的水流情況,進港船舶於接近南北內防波堤口時大多已做相當程度之減速,準備通過南北內防波堤口後進入迴船池停車待轉,但船速減慢後,風與流的綜合影響部分將造成船首向偏北,故而船跡在南北內防波堤口中心上平均皆有偏北之趨勢,部分甚至有擦撞北內防波堤頭之航次,在本研究中,30次操航航次裏曾有3航次於此失敗。其原因除了前述風與流之影響外,尙應與60°進港航向之船舶,於通過南外堤堤頭後須導正進港船向使其航行維持於主航道上之操航控制及船舶慣性有關。

5-10-3 領港登輪位置調整建議

依據圖5-9-1之定義,爲使領港於抵達進港船駕駛台(C點)時,船首與南外防波堤(D點)之距離大於3L,領港登輪之位置(B點)可考量以下之條件調整之。

因現況登輪位置(B點)至領港抵達進船駕駛台時(C點)之要求間距爲1000公尺,其係依據下列原則估算:

(1) 自領港艇接靠進港船至領港攀上領港梯需時以60秒計。

(2) 領港登上進港船至抵達進港船駕駛台需時以200秒計。

(3) 自B點至C點之船速以7節計。

(4) 自B點至C點之距離:

. 船速以7節計:

距離=1852(公尺)*7(節)*(200+60)/3600(秒)=936公尺

. 船速以8.8節(操船實驗通過南外防波堤堤頭之平均船速)計:

距離=1852(公尺)*8.8(節)*(200+60)/3600(秒)=1177公尺

爲考量由B點至C點間船速大於7節之可能性,於安全考量下,擬以1000公尺爲設計之標準。大型船舶於海氣象條件不佳情況下進港時,領港艇必須在北外防波堤之遮蔽下接近進港船,進而使領港順利登上進港船。經由進港模擬之操演,領港登輪之位置應調整爲L24°17'20"N , λ120°28'33"E。

5-10-4 船舶直接進出港之操船與結果

根據進港之大型船舶於接領港後直接進港之現況操航模擬結果可知,船舶在現況領港預定登輪區接領港尙有諸多問題待克服。本操船模擬因此假設領港已採適當方式或途徑登輪,並已直接抵達駕駛台,進港船舶可在領港有效導引下直接進出港。

台中港大型船舶直接進出港模擬操船共計進港總操航航次八十六次，出港航次四次。模擬操船之次數分配如下：

(1) 起始航向90度由正西方進港

船型	水流	風向	風速	海浪	模擬編號	操船次數
貨櫃船 A	漲潮	NE	40 knots	大浪	A9F-1 ~ A9F-9	9
	退潮	NE	40 knots	大浪	A9E-1 ~ A9E-3	3
		NNE	40 knots	大浪	A9E-4 ~ A9E-9	6
貨櫃船 B	漲潮	NE	40 knots	大浪	B9F-1 ~ B9F-2	2
	退潮	NNE	40 knots	大浪	B9E-1 ~ B9E-2	2
散裝船	漲潮	NE	40 knots	大浪	C9F-1 ~ C9F-10	10
	退潮	NE	40 knots	大浪	C9E-1 ~ C9E-2	2
		NNE	40 knots	大浪	C9E-3 ~ C9E-9	7
小計						41

(2) 起始航向60度由西南方進港

船型	水流	風向	風速	海浪	模擬編號	操船次數
貨櫃船 A	漲潮	NE	40 knots	大浪	A6F-1 ~ A6F-7	7
		NE	50 knots	大浪	A6F-8 ~ A6F-9	2
		SW	33 knots	中浪	A6F-10	1
		NNE	40 knots	大浪	A6F-11 ~ A6F-12	2
	退潮	NE	40 knots	大浪	A6E-1	1
		NNE	40 knots	大浪	A6E-2 ~ A6E-8	7
貨櫃船 B	漲潮	NE	40 knots	大浪	B6F-1 ~ B6F-2	2
		SW	33 knots	中浪	B6F-3	1
	退潮	NNE	40 knots	大浪	B6E-1 ~ B6E-3	3
散裝船	漲潮	NE	40 knots	大浪	C6F-1 ~ C6F-7	7
		NE	50 knots	大浪	C6F-8 ~ C6F-9	2
		SW	33 knots	中浪	C6F-10	1
	退潮	NE	40 knots	大浪	C6E-1	1
		NNE	40 knots	大浪	C6E-2 ~ C6E-9	8
小計						45

(3) 出港

船型	水流	風向	風速	海浪	模擬編號	操船次數
貨櫃船 A	漲潮	NE	40 knots	--	AOF-1	1
	退潮	NNE	40 knots	--	AOE-1	1
貨櫃船 B	漲潮	NE	40 knots	--	BOF-1	1
散裝船	退潮	NNE	40 knots	--	COE-1	1
小計						4

以上模擬操船之貨櫃船 A 約3,000TEU ，貨櫃船 B 約4,000TEU ，散裝船係載重噸約58,000 噸之船舶。順流與頂流之水流資料分別如圖5-7-2 及圖5-7-3 所示。模擬編號說明如下:

(1) 第一個英文字母： A 代表3,000TEU 貨櫃船， B 代表4,000TEU 貨櫃船， C 代表散裝船。

(2) 第二個數字及英文字母： 9 代表進港航向90 度， 6 代表進港航向60 度， O 代表出港。

(3) 第三個英文字母： F 代表漲潮（進港時爲順流），E 代表退潮（進港時爲頂流）。

(4) 第四及第五個數字：代表模擬操船之順序編號。

各型大型船舶在不同水流下之部分模擬操航航跡典型如圖5-10-6 至圖5-10-11 所示。

5-10-5 船舶直接進出港操船資料之分析

直接進出港操船模擬之分析方法係依據下列步驟進行:

(1) 設定基準線（ Base Line ）

分別由航向90 度與60 度進港之起始點及主航道口（南外防波堤燈塔附近）之中點作連線，即成外海航跡之基準線。主航道內之航跡基準線則以現況疊標線爲之,基準線設定如圖5-10-12a 。

(2) 設定門線（ Gate Line ）

在基準線上，以每300 公尺（約一個船舶的長度）爲單位，畫一線與基準線垂直，此些垂直線即爲門線,如圖5-10-12b 所示。

(3) 計算距離

計算每一條航跡通過每一條門線之交點，並計算各交點與門線之最近距離。

(4) 比較差異性

利用電腦統計軟體SPSS/PC+，分別以水流、風向、船舶類型、進港航向等變數分析最近距離之相同性與相關性，並分析通過主航道內之航行危機。當相同性之機率低於5%，則可證明變數之間存有顯著之差異。

(5) 個案分析

針對每個失敗之模擬操船案例作深入之分析。

(6) 改善方法研提

依據各項分析資料，找出影響航行安全之因素，並提出因應之道。

5-10-6 船舶直接進出港90° 航向之安全評估

各大型進港船舶採90° 航向直接進港之模擬操航總航跡如圖5-10-13所示，由總航跡圖中可以明顯看出船位對基準線之偏移量。大部份船舶從啓航不久，船位就開始往基準線右側偏移。船舶航行至北外防波堤的堤頭附近時，偏移量最大，於南外防波堤堤頭附近逐漸接近基準線。在主航道內，船位偏於基準線左側，最大平均偏移量約爲50公尺。船舶接近內防波堤時，船位趨近基準線。通過內防波堤後，船舶多停止於基準線右側。總航跡偏移量之分析如下：

1. 外海部份

(1) 依船舶類型分析

依操航模擬結果分類，圖5-10-14爲大型散裝貨輪90° 航向操航之總航跡，圖5-10-15及圖5-10-16分別爲大型貨櫃輪90° 航向之操航總航跡。比較各航跡圖可知，貨櫃船因受風面積較大，在強風作用下，往右的偏移量大於散裝船，但兩者之差異性不明顯，僅在起始時及北外防波堤堤頭處附近存在明顯差異。船型的差異影響不大主要是因在外海部份的水流作用大於風力作用，而大型船舶在水線下之形體相似，另因船速快，仍可以建立足夠的舵效來控制船首向，詳細分析結果參見表5-10-3。

(2) 依風向分析

表5-10-4爲依風向分析船舶通過各門線偏移量之結果，由表可知，NE風向的往右偏移量較大。但因NNE風向的水流模擬條件全部爲退潮，向南的水流原本較弱，故偏移量的差異性應當是受水流的影響較大。

(3) 依水流分析

圖5-10-17及圖5-10-18分別爲順流與頂流之操航總航跡，比較兩圖之結果可得，漲潮（順流）時，因南向之水流較強，偏移量較大，平均最大偏移量約達296公尺，發生在北外防波堤堤頭附近。進入北外防波堤的遮

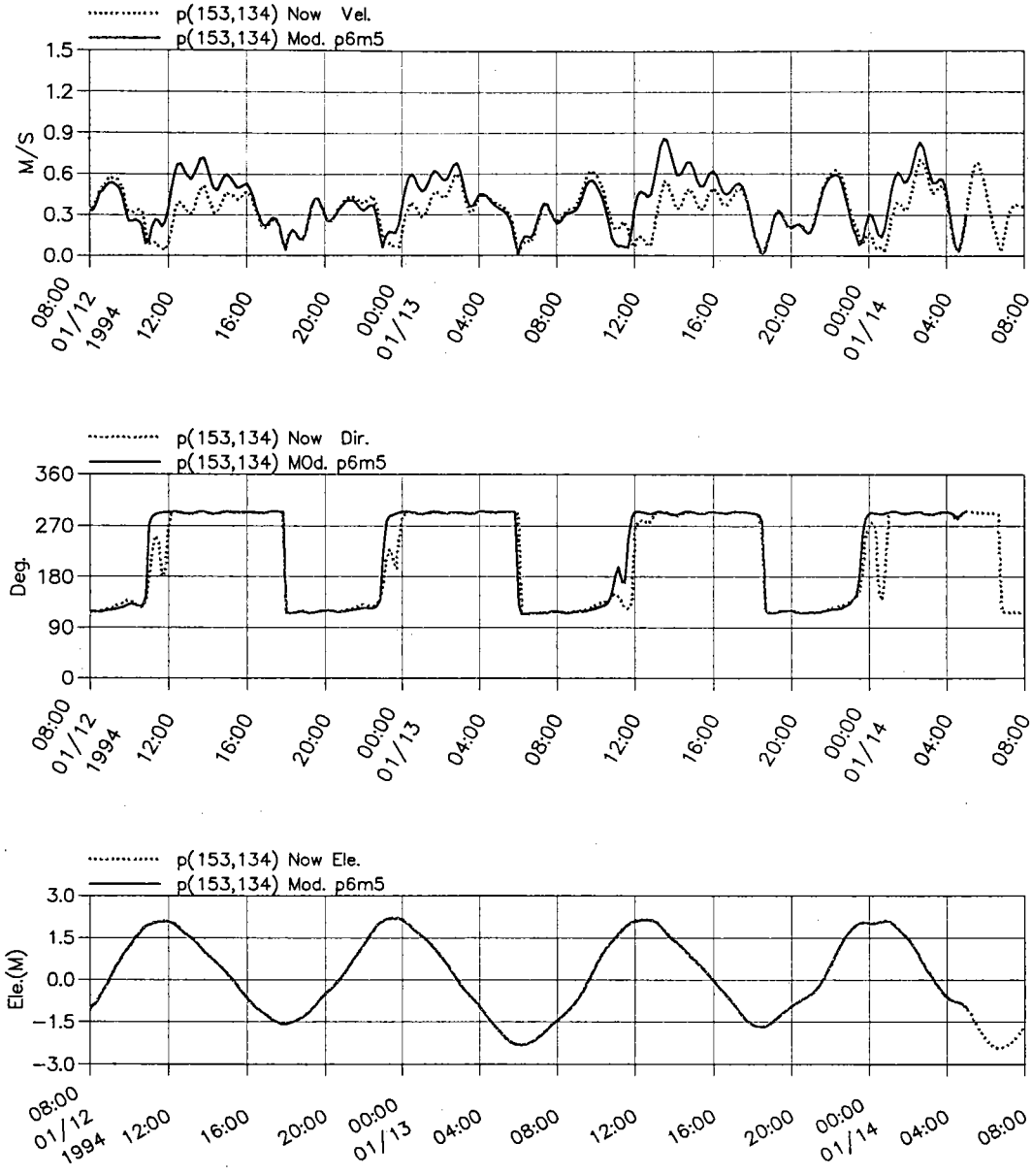


圖7-3-13d　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港口內主航道中央之流況比較

波堤之遮蔽區內時，因受漲潮迴流的向北推移，以及操船者對船位的修正，船位迅速移近基準線。船舶在通過南外防波堤堤頭後，船位已到達航道中央。在轉入主航道時，因迴流往左推移的作用，以及左舵舵效的慣性，船位常會超過基準線而偏左。接近內防波堤時，順著支流航行，船位逐漸往右偏移。通過內防波堤後，可順流右轉，往右之偏移量加大，直至船舶靜止。

退潮（頂流）時，港內水流係以西北流向通過內防波堤堤口，再沿北外防波堤經主航道流至外海。進港船舶逐漸接近主航道口時，操船者必須不斷的修正船位，使船舶在進入航道時船位維持在航道中央，與漲潮航跡的差異性漸趨緩和。當船舶接近內防波堤堤口時，西北向的水流易把船舶推往基準線左側，並且消減了船舶的右舵作用，不利於進港後之右轉操航，因此船位右偏較慢。由於漲潮與退潮的水流方向完全不同，對船位的影響也就不盡相同，故兩者的航跡在南北內防波堤口附近有明顯差異。

(4) 依船首向分析

進港航向90度之全部航跡通過主航道口之平均船首向爲99.6度。3,000 TEU貨櫃船之平均船首向爲101.1度，4,000TEU貨櫃船之平均船首向爲97.5度，而散裝船之平均船首向爲98.6度。漲潮順流之平均船首向爲99.4度，而退潮頂流爲100.3度。不論以船舶類型、潮流流向或風向進行差異性之分析，船舶在通過主航道口之平均船首向均無顯著差異。

通過內防波堤堤口時之平均航向爲119.5度。3,000TEU貨櫃船之平均船首向爲117.6度，4,000TEU貨櫃船爲119.3度，而散裝船之平均船首向爲121.4度。漲潮順流之平均船首向爲119.8度，而退潮頂流爲119.2度。不論以船舶類型、潮流流向或風向進行差異性之分析，結果差異性均不大。

(5) 依船舶速度分析

大型船舶不接領港,直接進港之全部航跡通過主航道口之平均船速爲10.79節。3,000TEU貨櫃船之平均船速爲10.79節，4,000TEU貨櫃船爲12.08節，而散裝船之平均船速爲8.57節，三者之間有明顯差異，主要是因爲貨櫃船與散裝船之最大速度不同所造成。貨櫃船之最大速度可達21節，散裝船則爲16節。漲潮順流之平均船速爲10.84節，退潮頂流則爲9.71節，水流影響沒有顯著之差異。

通過內防波堤時之平均船速爲7.22節。3,000TEU貨櫃船之平均船速

爲8.19節，4,000TEU貨櫃船爲10.56節，而散裝船之平均船速爲5.60節。貨櫃船與散裝船之間有明顯差異，主要是散裝船因慣性作用減速所需時間較久，故操船者提早減速。4,000TEU貨櫃船因受強風影響，操船困難，只得以高速來增加舵效。漲潮順流之平均船速爲6.86節，退潮頂流亦爲6.86節，兩者水流之影響亦沒有顯著差異。

綜合上述分析，可以得到下列幾項結論：

1. 船舶從外海以90度起始航向進港，在進入主航道之前，強勢的水流作用再加上風力作用，船位會偏於基準線右側。漲潮時的偏移量大於退潮；而貨櫃船因受到的風力作用較大，故船位較散裝船偏右。但在北外防波堤遮蔽範圍內，偏移量逐漸減小。
2. 由於外海流水與風之作用甚強，爲能減少偏移量，操船者必須使用風壓差，最大風壓差的平均值爲18度。
3. 到達主航道口時，因迴流作用以及航向的修正，船位逐漸靠近航道中央。但由於舵效之慣性作用，船舶在航道中航行較易偏於基準線左側，散裝船之偏移量較大。
4. 進入港內時，退潮頂流會在北內防波堤附近形成西北向流水，迫使船位北偏，不利於船舶低速的右轉。

5-10-7 船舶直接進出港60°航向之安全評估

各大型進港船舶採60°航向直接進港之模擬操航總航跡如圖5-10-19所示，與90°航向直接進港方式比較，此種起始航向進港時，船舶偏離基準線之量較小。船舶到達主航道口時，操船者習慣且較常使用南外防波堤之堤頭端點作爲進港船舶轉向之參考點，藉以使船舶可與南外波堤堤頭保持安全距離並順利轉入主航道。其總航跡偏移量之分析如下：

1. 外海部份
   (1) 依船舶類型分析
   依本航向操航模擬結果分類，圖5-10-20爲大型散裝輪60°航向操航之總航跡圖，圖5-10-21及圖5-10-22分別爲大型貨櫃輪60°航向之操航總航跡。比較其航跡圖可知，本航向之操航，由於船舶頂風航行，風力作用對船位之推移不大，雖然往右側的偏移量貨櫃船大於散裝船，但兩者之間的船位偏移量無明顯差異，偏移量分析結果參見表5-10-7。
   (2) 依風向分析

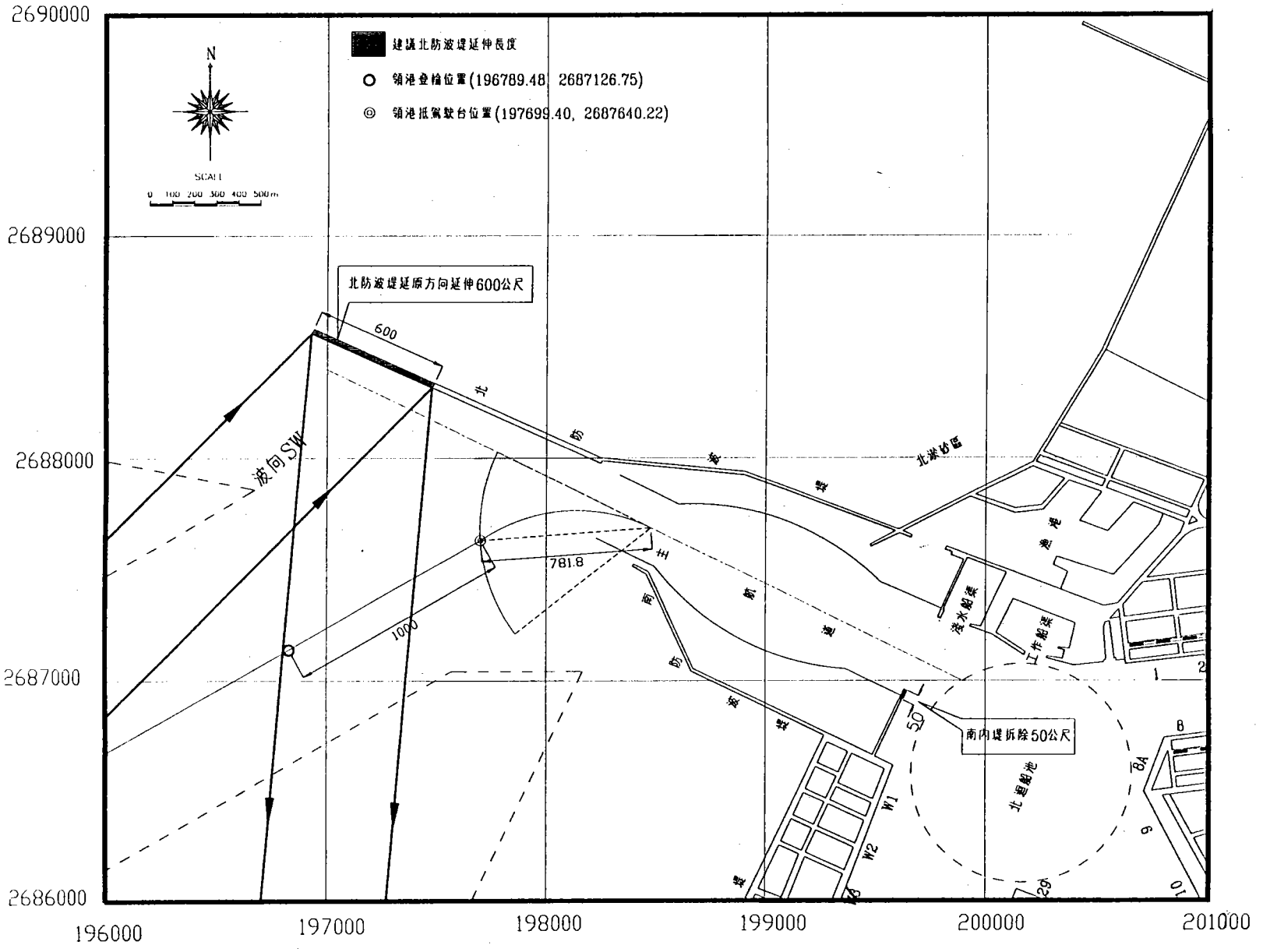


圖7-3-8 遠程改善方案二及方案三SW向波浪入射反射圖

參考圖5-10-23及圖5-10-24,由表5-10-10比較可知,漲潮時，航道口外爲北向的水流，進入航道後爲東向的順流。退潮時，航道口外爲西向的水流，進入航道後依然爲西向的頂流。在主航道的前半段，漲、退潮對船舶船位的影響似乎沒有明顯差異，航跡偏離中線之距離不大。至於在主航道的後半段，潮流對船舶的影響則與90度進港之情況甚爲類似。

(4) 依船首向分析

進港起始航向60度的全部航跡在通過主航道口之平均船首向爲100.0度。3,000TEU貨櫃船之平均船首向爲97.9度，4,000TEU貨櫃船爲105.1度，散裝船則爲105.1度；3,000TEU貨櫃船與散裝船之間無顯著差異。漲潮順流之平均船首向爲104.5度，退潮頂流時則爲97.5度，NE風向之平均船首向爲104.6度，NNE風向則爲96.8度。不論以水流流向或風向進行差異性之分析，其均存在顯著的差異。

進港船舶通過內防波堤堤口之平均船首向爲116.4度。3,000TEU貨櫃船之平均船首向爲117.0度，4,000TEU貨櫃船爲123.4度，散裝船則爲114.0度；以船舶類型分析，其並無太大之差異性。但漲潮時之平均船首向爲118.5度，退潮則爲111.3度，其間則有明顯的不同。

(5) 依船舶速度分析

航向60°進港之操航其全部航跡在通過主航道口之平均船速爲10.44節。3,000TEU貨櫃船之平均船速爲11.36節，4,000TEU貨櫃船爲13.24節，而散裝船之平均船速爲8.59節，三者之間有明顯差異，主要原因係爲4,000TEU貨櫃船必須利用高速以建立舵效，而且貨櫃船與散裝船之船舶最大速度不同所造成。漲潮順流之平均船速爲10.59節，頂流則爲9.27節，水流之影響沒有顯著的差異。

通過內防波堤之平均船速爲7.93節。3,000TEU貨櫃船之平均船速爲8.43節，而散裝船之平均船速爲6.48節，兩者之間有明顯差異，主要是散裝船因慣性作用減速所需時間較久，故操船者提早減速所致。漲潮之平均船速爲7.46節，退潮亦爲7.45節，水流之影響沒有顯著的差異。

綜合上述分析，大型進港船舶從外海以60度起始航向航行進港之結果如下：

1. 漲潮順流時，船位在外海會偏於基準線右側，但起始點附近之水流較弱，且非垂直於航線，因此偏移量有限。退潮頂流時，船位均在基準線附近。最大風壓差之平均值爲17.7度。
2. 到達主航道口之前約2,000公尺時，因航向的修正，船位大致已在基準線附

近。但由於慣性作用，船舶在航道中航行較易偏於基準線左側。

3. 因漲潮與退潮之流型不同，致使船舶在主航道口及內防波堤堤口的船首向產生顯著的偏離差異，因而影響到主航道內之操船動作。

5-10-8 起始航向差異之操航評估比較

爲探討大型船舶採行60°及90°航向進港之優劣性，因此再分項評估比較如下：

1. 外海部份

(1) 依全部航跡分析

水流與風向對90度的船舶航向幾乎垂直，而且流速較強。水流與風向對60度航向的交角較小，而且北外防波堤延伸後所產生之遮蔽區較廣。從兩種航跡，如圖5-10-13及圖5-10-19所示，分別對其基準線之平均偏移量，如表5-10-3及表5-10-7中得知，船舶在外海航行時，起始航向90度之船位比較不易控制，模擬操船開始後船位即逐漸偏於航向90度基準線之右側，在北外防波堤堤頭附近偏移量最大，爲172.7公尺。其後雖逐漸修正，但直至主航道口處仍有66.5公尺之偏移量；反觀起始航向60度之航跡，雖在操船開始後船位也偏於航向60度基準線之右側，但最大之偏移量僅95.7公尺，是在起始點之後約1,200公尺處，隨後即逐健漸修正至基準線附近，至主航道口之前300公尺處僅有18.7公尺之偏移量。但因採用南防波堤燈塔及堤頭爲轉向參考點，在轉入主航道口時比較靠近南外防波堤，偏移量約向右側122.6公尺。將兩種航跡做細部再比較，結果可得知表5-10-11，由表可知，從主航道口之前約2,000公尺起兩航向之間即有明顯差異。

(2) 依船舶類別分析

以兩種進港航向來分別分析貨櫃船及散裝船之航跡，不論貨櫃船或散裝船，航向90度之船位偏移量均分別大於航向60度之船位。而依據表5-10-3及表5-10-7外海部份之分析結果可知，貨櫃船的偏移量大於散裝船。故兩種航向之差異，由表5-10-12可看出，貨櫃船是從主航道口之前約1,800公尺開始明顯，而散裝船卻在1,200公尺才明顯。

(3) 依水流分析

漲潮順流時，90度與60度兩種航向之航跡均偏於基準線之右側，但航向90度之偏移量明顯大於航向60度之偏移量。退潮頂流時，航向90度之航跡先偏於基準線左側，再逐漸偏於右側，航向60度之航跡卻幾乎相

反。因此從起始點至主航道口，不論漲潮或退潮，依表5-10-13之比較分析可知,兩種航向之間存在著明顯差異。

2. 主航道部份

(1) 依全部航跡分析

依表5-10-14之偏移量分析結果得,進港之大型船舶在進入主航道時，航向90度與主航道基準線方向之交角爲25度，而航向60度與航道基準線方向相差55度。採航向90度與60度轉入主航道前，因北外防波堤的潛在心理威脅，航跡多偏在基準線右側，但航向60度向右之偏移量較大。兩者有顯著差異。進入航道後，兩者的船位皆偏於基準線左側，航向90度之偏移量較大。通過內防波堤堤口後，兩者的船位偏於基準線右側，航向90度之偏移量較大。但從進入主航道後，兩者偏移量之差異性已不明顯。

(2) 依船首向分析

航向90度之航跡通過主航道口之平均船首向爲99.6度，航向60度之平均船首向爲100.0度。航向90度之航跡通過內防波堤之平均船首向爲119.5度，航向60度之平均船首向爲116.4度。兩種航跡在上述兩處之船首向沒有明顯差異。

(3) 依船速分析

航向90度之航跡通過主航道口之平均船速爲10.79節，航向60度之平均船速爲10.44節。航向90度之航跡通過內防波堤之平均船速爲7.22節，航向60度之平均船速爲7.93節。兩種航跡在上述兩處之船速沒有明顯差異。

綜合上述分析，不同的起始航向將有下列的差異：

1. 不論漲潮或退潮，90度起始航向之航跡在外海受風與流水的影響較大，船位的偏移量也較明顯,搭接引水人員更是不易。
2. 在船舶轉向進入主航道前，60度起始航向之船舶因有碰撞北外防波堤的潛在危機，船位會較爲接近南外防波堤之堤頭,但因其可做爲轉向之參考點,對於船舶操航之轉向時機反而較易掌握,必須顧慮的僅爲船身擦撞南外防波堤堤頭而已。
3. 在主航道內航行時，兩種起始航向之航跡沒有明顯差異。

5-10-9 出港操船模擬

目前台中港之出港船舶係由引水人將船舶帶離碼頭至迴船池，待船首向對正

主航道後，在船長之同意下即行離船，交由船長自行駛離台中港。在強風強流的時候，由於主航道內操船困難，船長均會加車，利用高速建立舵效，以控制船位在基準線附近，快速出港。

本研究共進行了四次出港之操船模擬試驗，3,000TEU貨櫃船二次，4,000TEU貨櫃船及散裝船各一次。船舶在主航道內大致均能使船位維持在基準線附近。各航跡通過內防波堤之船速分別爲：13.00、5.88、13.36、11.51節，通過主航道口之船速分別爲：15.12、11.53、13.02、13.93節。由此可見，出港船因沒有減速停船待轉之顧慮，故均會在引水人一離船後即加速航行。也由於高速航行，船位因舵效的建立較易於維持在基準線上，安全性得以提高。台中港引水人們均認爲出港船之安全應無太大問題。

5-10-10 操船模擬失敗個案分析

在本研究八十六次進港模擬操船中，3,000TEU貨櫃船A共操作三十八次，4,000TEU貨櫃船B操作十次，散裝船操作三十八次。失敗之案例總共有八件，貨櫃船A二件，佔該船操作次數之5.26%；貨櫃船B三件，佔該船操作次數之30.0%；散裝船三件，佔該船操作次數之7.89%。貨櫃船B失敗之比例偏高。

在八次失敗個案中，其中含括操船編號C9F-1與B9E-1之進港模擬船舶，雖其未直接擦撞防波堤，但因離岸之最近距離小於三十公尺，且已在航道之外，航道水深將明顯不足，故仍歸類於撞岸擱淺之失敗案例。

將上述八件失敗案例再予以分類，其中有四件是以起始航向90度由正西進港，另四件則是由西南方以60度起始航向進港。除了編號C9F-1之模擬操船是在漲潮順流而且東北風的條件下失敗外，其餘七件均是退潮頂流及北北東風的條件。操船編號C9F-1、A6E-7及B6E-1失敗原因爲碰撞北防波堤，編號A9E-7及B9E-1失敗原因爲碰撞北內防波堤，編號C9E-6則擦撞南外防波堤，編號C6E- 3失敗原因在碰撞8A號碼頭，編號B6E-3失敗原因則爲碰撞北內防波堤及8A號碼頭。

以上模擬操船失敗的原因綜合分析如下：

1. 編號A9E-7之模擬操船（碰撞北內防波堤）
   (1) 3,000TEU貨櫃船以90度起始航向頂流進港，參考圖5-10-18，於時間09:35:13通過主航道口時，船首向97度，船速13.20節；
   (2) 於09:39:13通過內防波堤，船首向131度，航速9.40節。
   (3) 本船在主航道口之船位偏於基準線之右側，先以右舵18～23度要求船首向右轉，欲使船首向轉至115度，與基準線之指向一致，並能維持船位在基準線上。

(4) 但右舵之迴轉率不如預期，通過主航道口後加大舵角爲右滿舵，此時船位已偏到基準線左側51.7公尺。

(5) 船首向之改變雖然加快，但因船位於已過於偏左，最大偏移量爲185公尺。

(6) 在迴轉空間不足，又受港內水流往左推移的情況下，該船碰撞北內防波堤。

失敗之主因爲該船在主航道內航行之船速太快，並且延遲了右轉之時效。由於3,000TEU貨櫃船以90度起始進港之全部航跡在通過主航道口之平均船速應爲12.10節，通過內防波堤時應爲8.19節，平均船速均低於該船的操航速度。高速航行雖有利於舵效之建立，但當舵效延遲時，船位之偏移量也會因船速快而增大。一旦發覺舵效不足時，已沒有足夠的應變空間及時間，船位因此無法即時修正。

2. 編號A6E-7模擬操船（碰撞北外防波堤）

(1) 3,000TEU貨櫃船以60度起始航向頂流進港,參考圖5-10-24,於時間09:58:32通過主航道口時，航向55度，船速8.72節。

(2) 該船在抵達主航道口之前一分鐘才開始利用右舵，準備轉入主航道，船首向必須在一、兩分鐘內由52度改變成115度。

(3) 由於船首向來不及轉向，因而碰撞北外防波堤，此時船首向仍只轉到94度。

該船失敗之主因應爲操船者之判斷錯誤，在轉向延遲之下，致使船位來不及修正。

3. 編號B9E-1之模擬操船（擦撞北內防波堤）

(1) 4,000TEU貨櫃船以90度起始航向頂流進港,參考圖5-10-16,於時間08:30:53通過主航道口時，航向96度，船速9.78節，船位在基準線之右側66公尺處。

(2) 大型貨櫃船受風之影響較大，雖然該船在進入主航道之前就已使用右滿舵，欲使船首向右轉，但在強風作用之下，右轉之迴轉率一直無法加大。

(3) 直到該船接近北內防波堤時船首向才轉至118度，此時船位已過於偏左而擦撞北內防波堤。

該船之操作均屬正常，失敗之原因應歸之於風速太強，不利於大型貨櫃船之航行。

4. 編號B6E-1之模擬操船（碰撞北外防波堤）

(1) 4,000TEU貨櫃船以60度起始航向頂流進港，參考圖5-10-22,於時間08:14:30通過主航道口時，航向79度，船速10.43節。

(2) 與上一個案例相同，受到強風之影響，雖然該船在進入主航道之前就已使用右滿舵，欲使船首向右轉，以進入主航道。

(3) 但在強風作用之下，右轉之迴轉率一直無法加大，轉向不及因而碰撞北外防波堤。

該船之操作均屬正常，失敗之原因應歸之於風速太強，不利於大型貨櫃船之航行。

5. 編號B6E-3之模擬操船（碰撞8A碼頭）

(1) 4,000TEU貨櫃船以60度起始航向頂流進港,參考圖5-10-22,於時間09:38:33通過主航道口時，航向91度，船速13.95節。

(2) 因受到強風之影響，必須利用高速才能建立舵效。

(3) 雖然該船安全轉進主航道，但也因船速太快，不能在有效的距離內將船速降下，因而碰撞8A碼頭。

失敗之原因亦應歸之於風速太強不適於大型貨櫃船之航行。

6. 編號C9F-1之模擬操船（擦撞北外防波堤）

(1) 散裝船以90度起始航向順流進港,參考圖5-10-14,於時間08:34:39通過主航道口時，航向86度，船速9.03節。

(2) 該船在進入主航道時雖已使用右滿舵，但舵效來的太慢，且因航道口的北向迴流之推移，船位過於偏左而擦撞北外防波堤。

失敗之主因爲操船者對於本船特性及水流狀況不熟悉所致。該船在通過北外防波堤堤頭時，由於船位偏右曾以左舵修正，隨後雖又改用右舵，但左舵的慣性，外加迴流推移，致使船位在進入主航道時即已偏左，且船首向低於平均之98.6度。在舵效不足的情況下，船首向還來不及轉至115度，即因船位過於偏左而失敗。

7. 編號C9E-6之模擬操船（擦撞南外防波堤）

散裝船以90度起始航向頂流進港，參考圖5-10-14,於時間08:14:30當通過主航道口時，碰撞南外防波堤。

失敗原因爲該船在北外防波堤堤頭附近時，船位原已偏右，但還使用右滿舵，致使船位更爲偏右。等到該船到達主航道口要轉進主航道時，已來不及修正船位。該船之失敗可歸於操船者判斷錯誤所致。

8. 編號C6E-3之模擬操船（碰撞8A碼頭）

(1) 散裝船以60度起始航向頂流進港，參考圖5-10-20,於時間09:28:42通過主航道口時，航向99度，船速9.89節。

(2) 於時間09:32:42通過內防波堤時，航向107度，船速8.86節。

(3) 該船爲能順利轉進主航道，利用高速以增加舵效。進入主航道後雖開始減車，但因大型船舶之慣性作用，船速無法有效的下降。

(4) 當通過內防波堤時，發覺右滿舵的舵效不足，只得延遲使用倒車的時間，因此沒能在有效距離內制止船速，因而碰撞8A碼頭。

失敗之主因爲該船在主航道內航行之船速太快，並且延遲了右轉之時效。散裝船以60度起始進港，全部航跡在通過主航道口之平均船速爲8.59節，通過內防波堤時爲6.48節，均低於該船船速。高速航行雖有利於舵效之建立，但當舵效延遲時，船位之偏移量也會因船速快而增大。一旦發覺舵效不足時，已沒有足夠的應變空間及時間，船位無法即時修正。

5-10-11 操船模擬結論與建議

由上述各項分析可知，受到強風強流之影響，船舶欲要達成安全進港之目的，就必須運用熟練之操船技術，謹慎的以適當之船速與舵角來控制船位。由模擬操船之結果可以得到下列幾項結論：

1. 4,000TEU以上之大型貨櫃船因受水流及風之影響甚大，縱使運用熟練的操船技術，利用高速加大舵效，在台中港狹窄的主航道內航行，其安全性依然是一大難題。操船模擬中，該類船型的平均船速明顯大於其他船型，主因即在操船困難，不得不用高速所建立之舵效來控制船位，否則可能偏離航道碰撞防波堤。可是台中港內之迴轉空間有限，船舶高速通過內防波堤後必須立即減速至五節以下，此類大型船舶可能因減速不及而碰撞8A碼頭。縱使能減速成功，在低速情況下必須依賴拖船協助，才能穩住船位。
2. 在本研究之操船模擬試驗中，3,000TEU貨櫃船及載重噸60,000噸左右之巴拿馬極限型散裝船在風向NE或NNE、風速20m/sec（約40節）、強流的條件下，從南外防波堤外4,500公尺（約2.4浬）處，以12節之起始速度，引水人員必須運用熟練且精湛之操船技術航行，才能安全地直接將船舶帶進台中港。
3. 至於船舶以高速進港，要由正西方以90度爲起始航向，或由西南方以60度爲起始航向，兩者在安全上沒有顯著之差異性，對操船之影響則各有其優缺點。操船上之差異主要表現在外海部份，船舶駛入主航道後，兩者就趨於一致。

4. 以90度起始航向高速進港，船位易受水流推移偏向右側，對於船舶到達主航道口之船首向不易控制，尤其對貨櫃船之操船不利。依據航跡分析，在主航道口之前300公尺處仍有101.3公尺之平均偏移量，要在短距離內修正此偏移量實非易事。另外，船舶以此航向進港時，爲能穩住船位在基準線附近，船首向必須加上風壓差。在本研究試驗中，在外海部份操船所用之平均最大風壓差爲18度，平均最小船首向爲83度。這種航行方式會對操船者之心理產生很大的壓力，因爲風力與水流對船舶的作用並非定值，不斷在改變。當船首向爲83度時，船首是對著北外防波堤，且船位與北外防波堤的距離很近，一但風力與水流作用減弱，而又沒有查覺或來不及反應時，船位就會往左偏移，將有碰撞北外防波堤之潛在危機。
5. 以60度起始航向高速進港，水流作用對船位之推移量較小，雖然也有約18度的風壓差，但因距離航道口還有半浬以上，危機不大。此種方式進港之缺點，在主航道口轉向時，角度的改變較大，船首向需要向右轉55度。每艘船舶之迴轉特性不盡相同，轉向時間太快，將有碰撞南外防波堤之潛在危機；如果轉向延遲，又有碰撞北外防波堤之潛在危機。因此引水人在帶領船舶進港時，必須瞭解該船之迴轉特性，運用優異的操船技術，在適當時機轉向進入主航道，才能安全近港。通常引水人利用南外防波堤之端點作爲轉向之參考點，轉向時對該點保持適當而安全之固定距離，當可安全進入主航道。
6. 出港之模擬操船雖只進行四次，但是台中引水人們均認爲出港時可以加快船速，而船速愈快舵效愈佳，船位易於控制，安全上應無太大的問題。

綜合以上之結論評估可得,大型船舶進入台中港之安全性雖然還可接受，但是台中港的特殊天候與水文現象確實是航行上的危險因素，稍有疏忽還是有可能發生意外。如何使安全性更高，如何降低意外發生之機率，應爲台中港主管當局經常思考之問題。由操船模擬分析可知，領港登輪、南、北外防波堤之間的主航道口以及南、北內防波堤是進港船舶操船之瓶頸。

在強風、強流下要維持船位在基準線上，必須不斷用大舵角來修正船首向。但是舵效的建立受多種因素影響，舵效的顯現並非用舵後立即可知，常要延遲一段時間，等到舵效顯現不足或太大時再改變用舵之角度。操船模擬試驗之結果顯示，大型船舶進港均希望能從主航道口之中央轉進主航道。結果通過主航道的船位雖在基準線附近，卻因舵效的慣性，使後續的船位偏向左側，舵效太大或操船技術不熟練時，可能引起船舶碰撞北外防波堤或北內防波堤之意外。因此，爲能加大主航道內基準線與北防波堤間之航行空間乃有下列幾點建議：

1. 基準線與北防波堤間之水深應浚深

主航道內水深在13公尺以上之寬度約爲300公尺，但由海圖上得知基準線以北之航道寬度尙不及150公尺。本研究之操船模擬結果中，有很多航跡超過此範圍。以現行之航道狀況，將無法提供足夠的安全空間給大型船舶航行，因此基準線以北至北外防波堤之間的水域必須大範圍積極浚深。

2. 南外防波堤之堤頭應去除部份長度

操船模擬結果顯示，由於舵效之慣性易趨使大型船舶之船位偏於主航道基準線左側，現行基準線以北至北外防波堤之間的水域除應浚深之外，還必須設法使現況航道基準線南移，以加大操航之安全水域空間。由於操船模擬中，進港船舶均以主航道口之中點爲轉入點，拆除部份南外防波堤堤頭將可使主航道口加寬，有助於主航道之基準線南移並可增加基準線與北外防波堤之距離，縱使船位偏於左側，也可降低碰撞北外防波堤或北內防波堤之機率。所有航跡通過主航道口時平均離南外防波堤堤頭之距離爲215公尺，標準差爲66.82公尺。

3. 去除部份南內防波堤堤頭

去除部份南內防波堤堤頭也將有助於基準線南移，可增加基準線與北內防波堤之距離，縱使船位偏於左側，也可降低碰撞北內防波堤之機率。依據所有航跡通過內防波堤時，距離南內防波堤端點爲160公尺，標準差爲56.93公尺。

4. 拖船必須在主航道內備便

大型船舶在低速航行時運轉困難，不但舵效不易建立，迴轉空間之需求也大。爲彌補此類船舶運轉之限制，拖船在主航道內的協助可降低船位偏移之危險機率。

表5-10-1a　60,000噸級散裝船之本船特性資料

散裝船(PARAMAX) 主要規格		
	滿載	空載
船長(LBP)	230.0 公尺	230.0 公尺
船寬	32.2 公尺	32.2 公尺
排水量	70,000 噸	45,000 噸
最深水尺	12.5 公尺	9.0 公尺
推進器	1	1

散裝船 (PARAMAX)之 衝止距離			
車令	RPM	船速(節)	衝止距離(公尺)
Half Speed	66	9.5	5.4*LBP=1242
Slow Speed	44	6.4	2.75*LBP=632.5
D/Slow Speed	22	3.3	1.28*LBP=294.4

表5-10-1b　3,000TEU級貨櫃輪之本船特性資料

3,000TEU 貨櫃輪 主要規格	
LENGTH(LOA)	260.6 METERS
LENGTH(LPP)	250.0 METERS
BEAM	32.2 METERS
MOULD DEPTH	21.2 METERS
DRAFT,FULL LOAD	11.5 METERS EVEN KELL
DISPLACEMENT,FULL LOAD	58,880 TONS
DISTANCE FROM BOW TO BRIDGE	220.85 METERS
POWER PLANT TYPE	DIESEL ENGINE
TOTAL POWER	24,600 KW
MAX. REVOLUTION AND SPEED	95 R.P.M/22.0 KNOTS
THRUSTER	BOW THRUSTER/120 KILO-NEWTONS

表5-10-1c　4,000TEU級貨櫃輪之本船特性資料

4,000TEU 貨櫃輪 主要規格	
船長	270.4 公尺
船寬	39.4 公尺
吃水	12.5 公尺
載重	62,000 噸
Cb	0.5968

船速	RPM	速度(節)
Full Ahead	100	19.4
Half Ahead	75	14.8
Slow Ahead	50	10.4
D/Slow Ahead	30	6.23
Stop	0	0
D/Slow Astern	-25	-4.7
Slow Astern	-40	-8.1
Half Astern	-60	-12.0
Full Astern	-100	-19.2

表5-10-2　領港登輪模擬之操船結果分析

N0.	登輪-南堤	登輪-北堤	抵駕駛台時船頭－南堤	抵駕駛台時船頭－北堤	抵駕駛台時船頭-門垂線	船舷-南堤最短距	船舶通過南堤頭時速度(kn)
A1	357	765	356.7	854	345	227	4.7
A2	769	752.3	110.8	1190	0	125.7	7.9
A3	497.8	869.7	195	1285.5	-98	99	5.65
A4	1621.6	1104.7	940.8	773.2	859	34	7.1
A5	2072	1430.5	1329	839	1233	199	8
A6	1204	1020	281	950.8	273.5	112.16	8.5
A7	2315	1625.6	1472	934	1357	111.14	7.5
A8	1358.5	1148.9	606	798.3	574.2	64.68	8.7
A9	1418	1098.4	634	826.34	586.2	137	9.1
A10	1153.34	658.7	291.8	939.3	256.2	162.94	7.44
B1	1622.48	1033	638.3	741.8	619.7	163.4	9.7
B2	1801.8	1216.7	1060.5	735.4	996.7	218.3	7.2
B3	1395.4	941	470.7	825.7	466.3	73.25	8.1
B4	2456	1585	1664	812.5	1634	151	5.3
B5	1275.9	1117.7	465.7	812.68	467.2	229.3	7.4
B6	2435.6	1543.2	1340	665.6	1299.2	271.3	7.1
B7	1592.4	1141.5	745.4	640.85	728.9	105.59	9.8
B8	1501.2	1031.2	714	745.95	687.5	222.5	8.5
B9	1890.7	1241.7	1038.6	681	990.5	151.2	8.7
B10	1418.95	1117.8	505.2	790	496.3	110.8	7.25
C1	2074.55	1318.9	1167.5	592.5	1136.37	167.4	10.9
C2	1981	1345.2	1048.8	708.2	985.38	198.2	10.6
C3	2013	1272.6	1112.5	573.3	1091	160.58	12.65
C4	1319.2	1052.3	375.8	903.1	370.69	99.5	10.9
C5	1609.8	1180.3	801.4	704.37	765	245.3	10.8
C6	1534.6	1159	539.9	828.4	503.6	89.34	9.4
C7	1127.8	1205.1	130.8	1096	118.1	84.5	10
C8	2635.4	1915.5	1657.2	1048	1521	93.13	11.3
C9	2458.6	1596.7	1317.8	602.6	1289.79	177	11.6
C10	1741.1	1151.2	588.2	712.6	575.65	130	11.3
平均值	1621.72	1187.98	786.65	820.37	737.63	147.14	8.77
標準偏差	558.35	276.72	451.84	169.14	450.00	59.45	1.97

表5-10-3　進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

(外海部份：依船舶類型之差異作分析)

基線編號	全部航跡（41）	貨櫃船A（18）	貨櫃船B（4）	散裝船（19）	貨櫃船A與散裝船相同性之可能機率
1	-54.9	65.1	-11.7	-54.2	0.0512
2	-51.1	59.5	45.2	-63.5	0.0037
3	-12.1	-9.6	73.7	-32.6	0.0453
4	24.1	31.7	98.4	1.2	0.2122
5	52.0	62.6	113.1	29.0	0.4523
6	83.4	95.6	119.0	54.1	0.7281
7	108.3	121.2	117.8	94.0	0.8860
8	131.1	147,1	110.7	120.1	0.8715
9	139.3	176.8	101.5	111.6	0.4373
10	152.4	216.5	106.0	101.5	0.0817
11	168.3	244.0	131.1	104.4	0.0307
12	176.4	244.8	145.7	118.1	0.0860
13	172.7	224.0	160.4	133.1	0.1947
14	141.9	173.6	114.9	117.7	0.3318
15	101.3	120.6	89.1	85.5	0.4256
16	66.5	83.2	63.2	51.7	0.3372

註：1.全部航跡41條，包括貨櫃船A 18 條，貨櫃船B 4 條，散裝船 19 條。

2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-4　進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

（外海部份：貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析）

門線編號	退潮頂流（18）	漲潮順流（19）	順流與頂流相同性之可能機率	風向ＮＥ（24）	風向ＮＮＥ（13）	ＮＥ與ＮＮＥ相同性之可能機率
1	-56.9	-62.0	0.6805	-58.8	-60.8	0.8825
2	-73.9	-49.8	0.0986	-53.1	-77.2	0.1147
3	-69.6	24.2	0.0000	6.1	-72.2	0.0002
4	-60.0	88.1	0.0000	60.8	-66.6	0.0000
5	-53.8	139.3	0.0000	103.3	-61.5	0.0000
6	-39.7	192.5	0.0000	148.8	-48.4	0.0000
7	-31.0	238.2	0.0000	184.1	-34.6	0.0000
8	-8.9	267.9	0.0000	212.4	-12.9	0.0000
9	22.1	258.2	0.0000	215.3	10.5	0.0001
10	50.0	259.2	0.0000	225.0	32.7	0.0003
11	60.5	278.2	0.0000	238.8	49.6	0.0005
12	56.8	296.3	0.0000	249.0	51.9	0.0007
13	70.6	278.5	0.0000	273.6	66.1	0.0010
14	73.0	212.9	0.0001	183.0	74.5	0.0055
15	69.9	133.6	0.0136	117.5	75.0	0.1251
16	67.3	66.6	0.9742	65.1	70.5	0.8084

註：1.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有頂流之航跡18條，順流之航跡19 條。

2.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有ＮＥ風向之航跡24條，ＮＮＥ風向之航跡13條。

3.正值代表平均船位在基線右側，負值代表平均船位在基線左側。

表5-10-5　進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

(主航道部份：依船舶類型之差異作分析)

門線編號	全部航跡		貨櫃船A		貨櫃船B		散裝船		貨櫃船A與散裝船相同性之可能機率
1	435.7	(41)	501.2	(18)	394.8	(4)	382.4	(19)	0.1178
2	339.9	(41)	383.0	(18)	302.3	(4)	307.0	(19)	0.2579
3	214.5	(41)	204.9	(18)	199.5	(4)	192.6	(19)	0.3546
4	96.4	(41)	113.8	(18)	91.0	(4)	81.1	(19)	0.4108
5	-9.0	(41)	22.1	(18)	-9.8	(4)	-38.2	(19)	0.0410
6	-52.7	(41)	-23.4	(18)	-88.7	(4)	-73.0	(19)	0.1242
7	-47.7	(41)	-24.8	(18)	-123.4	(4)	-53.6	(19)	0.0810
8	-20.0	(41)	5.1	(18)	-117.7	(4)	-13.6	(19)	0.0083
9	10.4	(41)	12.6	(18)	-87.9	(4)	29.1	(19)	0.0013
10	45.9	(36)	21.1	(16)	-39.6	(4)	92.0	(16)	0.0004
11	94.1	(19)	56.2	(11)	-0.3	(3)	234.0	(5)	0.0026
12	203.2	(5)	211.3	(3)	-44.7	(1)	426.8	(1)	0.2351

註：1.全部航跡41條，包括貨櫃船A 18條，貨櫃船B 4條，散裝船19條。

2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-6　進港航向90度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

(主航道部份：貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析)

門線編號	退潮頂流	漲潮順流	順流與頂流相同性之可能機率	風向ＮＥ	風向ＮＮＥ	ＮＥ與ＮＮＥ相同性之可能機率
1	315.6 (18)	558.2 (19)	0.0000	510.7 (24)	310.0 (13)	0.0006
2	246.6 (18)	436.2 (19)	0.0000	398.1 (24)	244.1 (13)	0.0013
3	165.2 (18)	264.4 (19)	0.0017	242.0 (24)	168.3 (13)	0.0318
4	90.0 (18)	103.6 (19)	0.5770	97.7 (24)	95.8 (13)	0.9410
5	1.3 (18)	-18.5 (19)	0.4367	-10.3 (24)	-6.3 (13)	0.8826
6	-50.0 (18)	-47.9 (19)	0.9397	-36.1 (24)	-72.4 (13)	0.2232
7	-54.6 (18)	-25.3 (19)	0.2817	-17.2 (24)	-80.8 (13)	0.0214
8	-30.5 (18)	10.5 (19)	0.0496	13.4 (24)	-51.7 (13)	0.0019
9	-1.5 (18)	42.4 (19)	0.0104	40.8 (24)	15.4 (13)	0.0013
10	24.7 (16)	88.4 (16)	0.0075	72.3 (21)	26.4 (11)	0.0774
11	70.2 (10)	181.2 (6)	0.0786	146.1 (9)	67.7 (7)	0.2162
12	242.4 (3)	333.0 (1)	0.0712	333.0 (1)	242.4 (3)	0.7012

註：1.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有頂流之航跡18條，順流之航跡19條。

2.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有ＮＥ風向之航跡24條，ＮＮＥ風向之航跡13條。

3.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-7　進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

（外海部份：依船舶類型之差異作分析）

門線編號	全部航跡（45）	貨櫃船A（20）	貨櫃船B（6）	散裝船（19）	貨櫃船A與散裝船相同性之可能機率
1	5.9	9.3	7.9	1.7	0.8914
2	33.8	49.5	34.9	16.8	0.3184
3	60.0	89.2	66.7	41.4	0.2817
4	87.1	119.2	93.3	51.4	0.2038
5	95.7	133.6	102.9	53.6	0.2087
6	91.9	123.0	96.4	57.9	0.4030
7	66.4	96.6	79.8	30.3	0.4832
8	30.6	66.8	58.2	-16.3	0.3981
9	30.7	64.4	40.6	-7.8	0.5112
10	39.6	70.6	19.9	13.1	0.5971
11	33.7	68.5	10.0	4.6	0.4742
12	-1.5	24.6	3.0	-30.3	0.4609
13	-16.2	-5.6	13.9	-36.9	0.4383
14	18.7	25.1	42.8	4.3	0.2850
15	122.6	126.2	115.3	121.3	0.7577

註：1.全部航跡45條，包括貨櫃船A 20 條，貨櫃船B 6 條，散裝船 19 條。

2.正值代表平均船位在基線右側，負值代表平均船位在基線左側。

表5-10-8　進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

(外海部份：貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析)

門線編號	退潮頂流（17）	漲潮順流（22）	順流與頂流相同性之可能機率	風向ＮＥ（20）	風向ＮＮＥ（17）	ＮＥ與ＮＮＥ相同性之可能機率
1	-7.9	16.0	0.1132	15.7	-6.1	0.1705
2	-1.6	60.8	0.0013	55.1	77.7	0.0241
3	13.2	106.7	0.0007	100.3	24.5	0.0107
4	13.6	142.3	0.0003	133.9	27.8	0.0057
5	3.4	165.1	0.0001	154.0	20.0	0.0033
6	-0.8	162.4	0.0002	151.1	14.8	0.0044
7	-25.2	133.5	0.0025	116.2	-6.9	0.0289
8	-55.5	89.5	0.0188	73.5	-43.0	0.0738
9	-60.9	98.8	0.0062	83.5	-45.4	0.0375
10	-58.0	120.3	0.0005	97.9	-31.7	0.0202
11	-64.5	116.1	0.0001	88.9	-34.4	0.1777
12	-58.9	41.7	0.0126	21.5	-42.5	0.1300
13	-31.3	-12.8	0.5368	-24.9	-25.4	0.9862
14	20.5	10.7	0.5703	5.7	22.8	0.3345
15	118.6	127.7	0.3477	124.5	121.8	0.7894

註：1.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有頂流之航跡17條，順流之航跡22條。

2.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有ＮＥ風向之航跡20條，ＮＮＥ風向之航跡17條，另有ＳＷ風向航跡2條。

3.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-9　進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

(主航道部份：依船舶類型之差異作分析)

門線編號	全部航跡		貨櫃船A		貨櫃船B		散裝船		貨櫃船A與散裝船相同性之可能機率
1	1104.0	(45)	1142.0	(20)	1096.8	(6)	1066.3	(19)	0.6928
2	757.9	(45)	812.4	(20)	776.0	(6)	694.8	(19)	0.3245
3	387.4	(45)	403.6	(20)	440.5	(6)	353.7	(19)	0.2402
4	161.9	(45)	169.9	(20)	176.7	(6)	148.8	(19)	0.3098
5	25.8	(45)	21.2	(20)	3.8	(6)	37.7	(19)	0.3773
6	-21.9	(44)	-20.5	(19)	-102.9	(6)	2.2	(19)	0.0019
7	-22.3	(43)	-20.6	(19)	-111.3	(5)	-0.2	(19)	0.0009
8	-0.2	(43)	8.3	(19)	-106.7	(5)	19.3	(19)	0.0000
9	19.0	(43)	33.0	(19)	-67.7	(5)	27.9	(19)	0.0001
10	36.1	(41)	55.1	(19)	-9.1	(5)	28.2	(17)	0.1461
11	63.7	(28)	98.2	(12)	12.1	(4)	46.4	(12)	0.1599
12	150.9	(7)	243.9	(3)	66.8	(1)	85.9	(3)	0.1384

註：1.全部航跡45條，包括貨櫃船A 20條，貨櫃船B 6條，散裝船19條。

2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-10　進港航向60度之航跡與基準線之平均距離(公尺)

(主航道部份：貨櫃船B除外之所有航跡依水流與風向之差異作分析)

門線編號	退潮頂流	漲潮順流	順流與頂流相同性之可能機率	風向ＮＥ	風向ＮＮＥ	ＮＥ與ＮＮＥ相同性之可能機率
1	950.0 (17)	1224.9 (22)	0.0004	1197.6 (20)	984.5 (17)	0.0114
2	631.2 (17)	851.0 (22)	0.0038	819.5 (20)	661.6 (17)	0.0517
3	365.9 (17)	389.5 (22)	0.5508	364.9 (20)	383.2 (17)	0.6450
4	167.4 (17)	153.6 (22)	0.3471	149.1 (20)	170.4 (17)	0.1610
5	11.8 (17)	42.7 (22)	0.0857	41.2 (20)	13.8 (17)	0.1493
6	-26.7 (16)	3.6 (22)	0.0918	2.2 (20)	-24.5 (16)	0.1578
7	-25.1 (16)	0.3 (22)	0.1583	-1.2 (20)	-22.8 (16)	0.2539
8	3.3 (16)	21.5 (22)	0.2167	21.3 (20)	5.0 (16)	0.2924
9	8.5 (16)	46.4 (22)	0.0023	46.0 (20)	10.8 (16)	0.0077
10	-13.3 (16)	87.0 (20)	0.0000	78.2 (18)	-3.9 (16)	0.0001
11	29.2 (15)	144.1 (9)	0.0011	92.0 (8)	32.2 (14)	0.0474
12	163.1 (4)	168.4 (2)	0.9640	168.4 (2)	163.1 (4)	0.9640

註：1.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有頂流之航跡17條，順流之航跡22條。

2.貨櫃船Ｂ之航跡除外，計有ＮＥ風向之航跡20條，ＮＮＥ風向之航跡17條，另有ＳＷ風向航跡2條。

3.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-11　進港船舶之航跡與基準線之平均距離

（外海部份：依起始航向之差異作分析）

船位至主航道口之距離（公尺）	起始航向90度（41）	起始航向60度（45）	航向90度與60度相關性之可能機率
4200	-51.1	5.9	0.0000
3900	-12.1	33.8	0.0045
3600	24.1	66.0	0.0500
3300	52.0	87.1	0.1903
3000	83.4	95.7	0.6950
2700	108.3	91.9	0.6347
2400	131.1	66.4	0.0849
2100	139.3	30.6	0.0067
1800	152.4	30.7	0.0023
1500	168.3	39.6	0.0010
1200	176.4	33.7	0.0003
900	172.7	-1.5	0.0000
600	141.9	-16.2	0.0000
300	101.3	18.7	0.0000
0	66.5	122.6	0.0000

註：1.起始航向90度之航跡41條，起始航向60度之航跡45條。

2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-12　進港船舶之航跡與基準線之平均距離

（外海部份：各類型船舶依起始航向之差異作分析）

船位至主航道口之距離（公尺）	貨櫃船A			散裝船		
	起始航向90度（18）	起始航向60度（20）	航向90度與60度相關性之可能機率	起始航向90度（19）	起始航向60度（19）	航向90度與60度相關性之可能機率
4200	-59.5	9.3	0.0000	-63.5	1.7	0.0000
3900	-9.6	49.5	0.0013	-32.6	16.8	0.0025
3600	31.7	89.2	0.0354	1.2	41.4	0.0331
3300	62.6	119.2	0.1694	29.0	51.4	0.0996
3000	95.6	133.6	0.5553	64.1	53.6	0.2838
2700	121.2	123.0	0.9477	94.0	57.9	0.6376
2400	147.1	96.6	0.8537	120.1	30.3	0.4573
2100	176.8	66.8	0.2995	111.6	-16.3	0.2214
1800	216.5	64.4	0.0500	101.5	-7.8	0.3177
1500	244.0	70.6	0.0151	104.4	13.1	0.3850
1200	244.8	68.5	0.0230	118.1	4.6	0.2063
900	224.0	24.6	0.0020	133.1	-30.3	0.0107
600	173.6	-5.6	0.0001	117.7	-36.9	0.0003
300	120.6	25.1	0.0030	85.5	4.3	0.0058
0	83.2	126.2	0.0008	51.7	121.3	0.0000

註：1.貨櫃船A由起始航向90度之航跡18條，由航向60度之航跡20條，
散裝船由起始航向90度之航跡19條，由航向60度之航跡19條。
2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-13　進港船舶之航跡與基準線之平均距離

（外海部份：漲潮與退潮依起始航向之差異作分析）

船位至主航道口之距離（公尺）	漲潮（順流）			退潮（頂流）		
	起始航向90度（19）	起始航向60度（22）	航向90度與60度相關性之可能機率	起始航向90度（18）	起始航向60度（17）	航向90度與60度相關性之可能機率
4200	-49.8	16.0	0.0001	-73.9	-7.9	0.0000
3900	24.2	60.8	0.0015	-69.9	-1.6	0.0000
3600	88.1	106.7	0.0004	-60.0	13.2	0.0000
3300	139.3	142.3	0.0001	-53.8	13.6	0.0000
3000	192.5	165.1	0.0000	-39.7	3.4	0.0000
2700	238.2	162.4	0.0000	-31.0	-0.8	0.0000
2400	267.9	133.5	0.0000	-8.9	-25.2	0.0000
2100	258.2	89.5	0.0000	22.1	-55.5	0.0000
1800	259.2	98.8	0.0000	50.0	-60.9	0.0000
1500	278.2	120.3	0.0000	60.5	-58.0	0.0000
1200	296.3	116.1	0.0000	56.8	-64.5	0.0000
900	278.5	41.7	0.0000	70.6	-58.9	0.0000
600	212.9	-12.8	0.0000	73.0	-31.3	0.0000
300	133.6	10.7	0.0000	69.9	20.5	0.0001
0	66.6	127.7	0.0001	67.3	118.6	0.0001

註：1.不含貨櫃船Ｂ漲潮由起始航向90度之航跡19條，由航向60度之航跡22條，
退潮由起始航向90度之航跡18條，由航向60度之航跡17條。
2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

表5-10-14　進港船舶之航跡與基準線之平均距離

（主航道部份：依起始航向之差異作分析）

門線編號	起始航向90度	起始航向60度	航向90度與60度相關性之可能機率
1	435.7 (41)	1104.0 (45)	0.0000
2	339.9 (41)	757.9 (45)	0.0000
3	214.5 (41)	387.4 (45)	0.0000
4	96.4 (41)	161.9 (45)	0.0000
5	-9.0 (41)	25.8 (45)	0.0145
6	-52.7 (41)	-21.9 (44)	0.0613
7	-47.7 (41)	-22.3 (43)	0.1095
8	-20.0 (41)	-0.2 (43)	0.1653
9	10.4 (41)	19.0 (43)	0.4916
10	45.9 (36)	36.1 (41)	0.5522
11	94.1 (19)	63.7 (28)	0.3262
12	203.2 (5)	150.9 (7)	0.5592

註：1.起始航向90度之航跡41條，起始航向60度之航跡45條。

2.正值代表平均船位在基準線右側，負值代表平均船位在基準線左側。

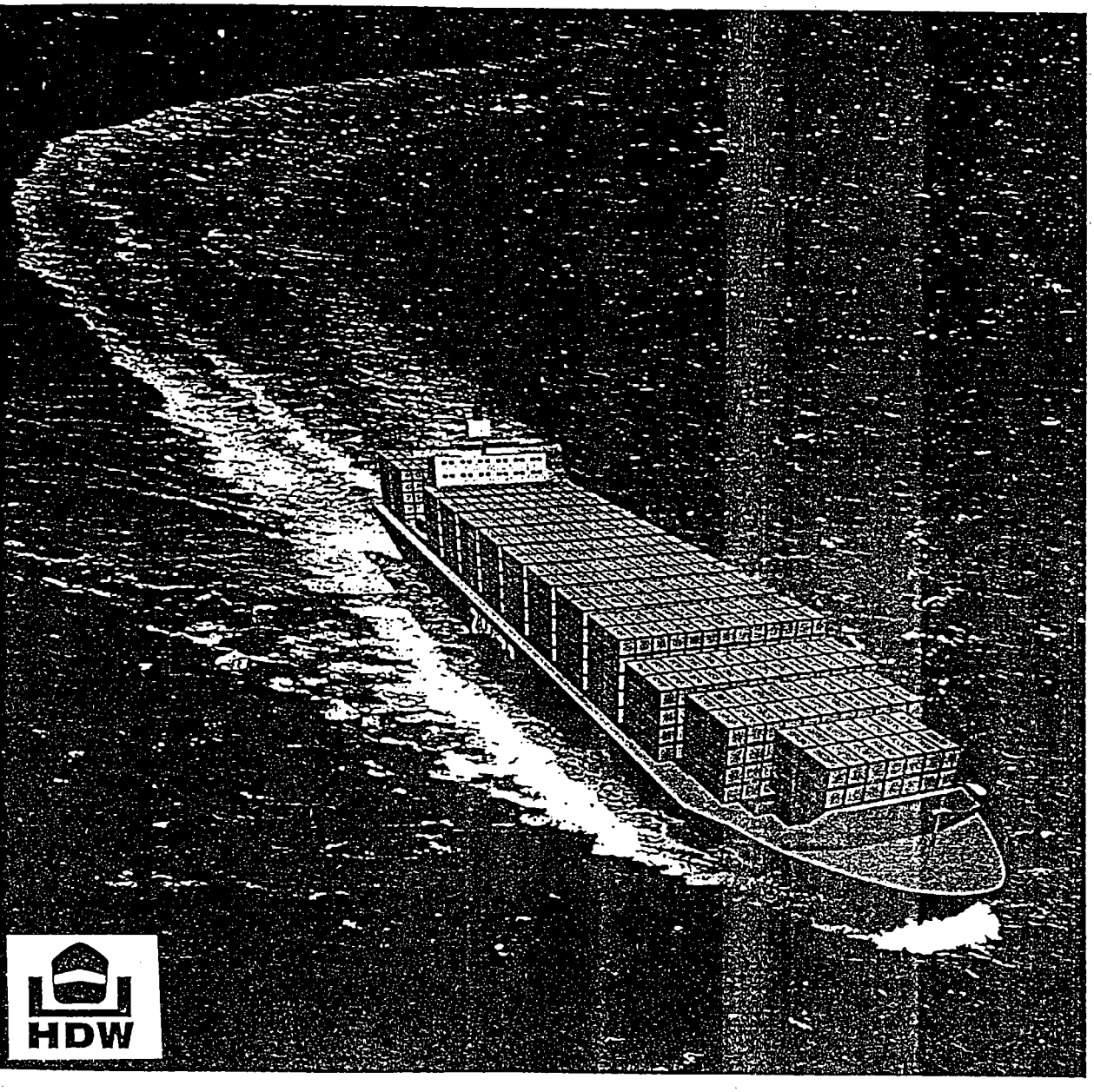


圖5-2-1　4,000TEU級巴拿馬極限型貨櫃輪

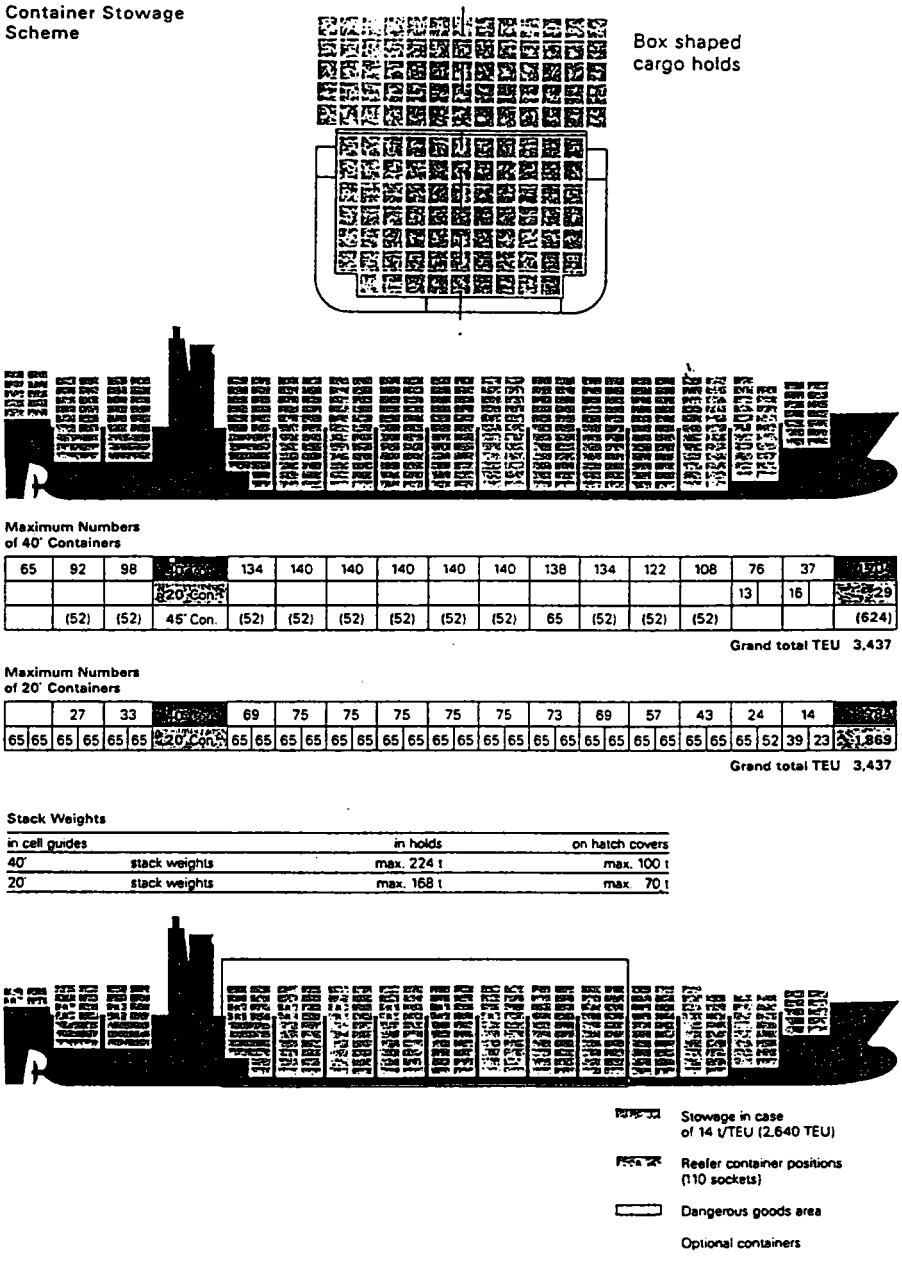


圖5-2-2　大型貨櫃輪之貨櫃裝載

3494 TEU CONTAINER SHIP

PRINCIPAL DIMENSIONS	
LENGTH O.A.	275.70 M
LENGTH B.P	259.20 M
BREADTH	32.20 M
DEPTH	21.20 M
DRAFT (DESIGN)	11.20 M
DRAFT (SCANT.)	12.00 M

06-02-1992

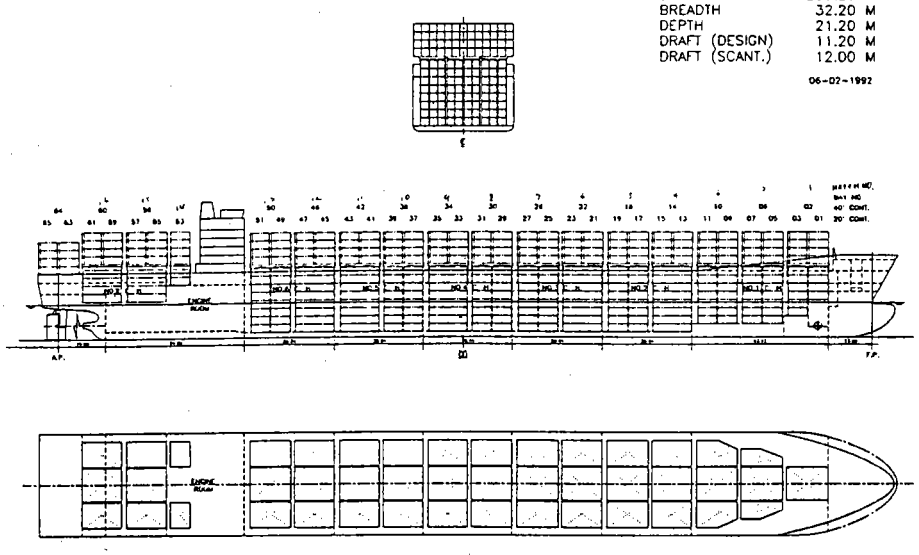


圖5-2-3 陽明海運公司之大型貨櫃輪

BV 2700 / BV 3000

Length b. p.	206.16/206.16 m	Deadweight	45,600/45,400 t
Breadth	32.20/32.20 m	Container Capacity	2,680/3,025 TEU
Depth	19.40/19.40 m	Main Engine	20,500/20,500 kW
Draught	12.50/12.50 m	Service Speed	21.0/21.0 kn

BV 3100 C

Length betw. perp.	193.50 m	Deadweight	36,600 t
Breadth	32.20 m	Container Capacity	3,100 TEU
Depth	21.20 m	Main Engine	28,350 kW
Draught	12.80 m	Service Speed	22.8 kn

BV 3700 C

Length betw. perp.	221.38 m	Deadweight	47,260 t
Breadth	32.20 m	Container Capacity	3,732 TEU
Depth	21.20 m	Main Engine	32,350 kW
Draught	12.80 m	Service Speed	23.3 kn

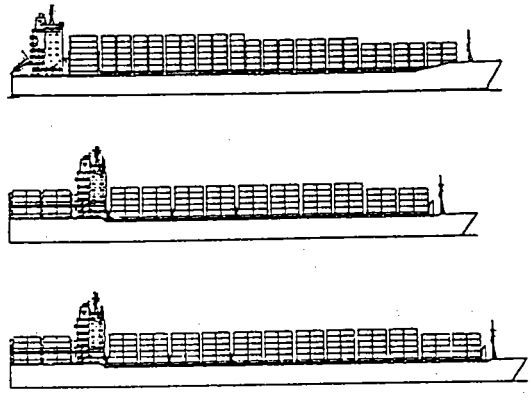
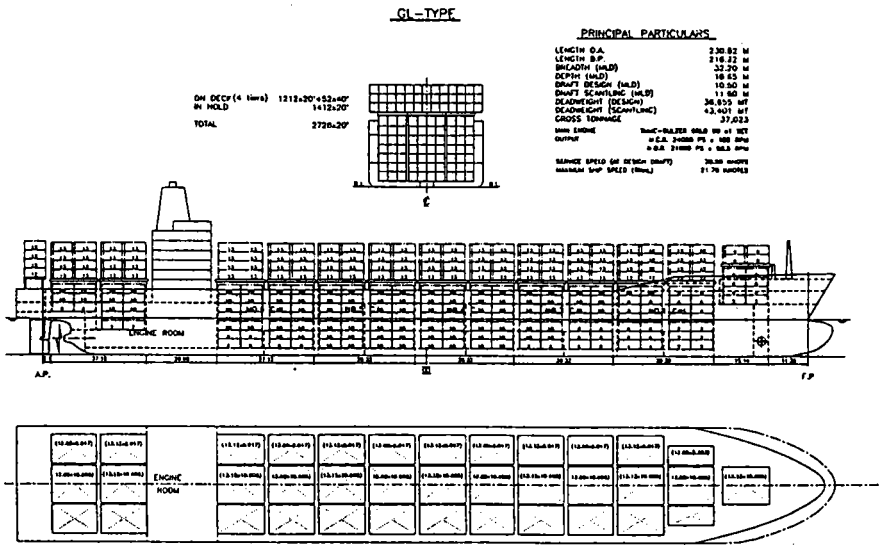
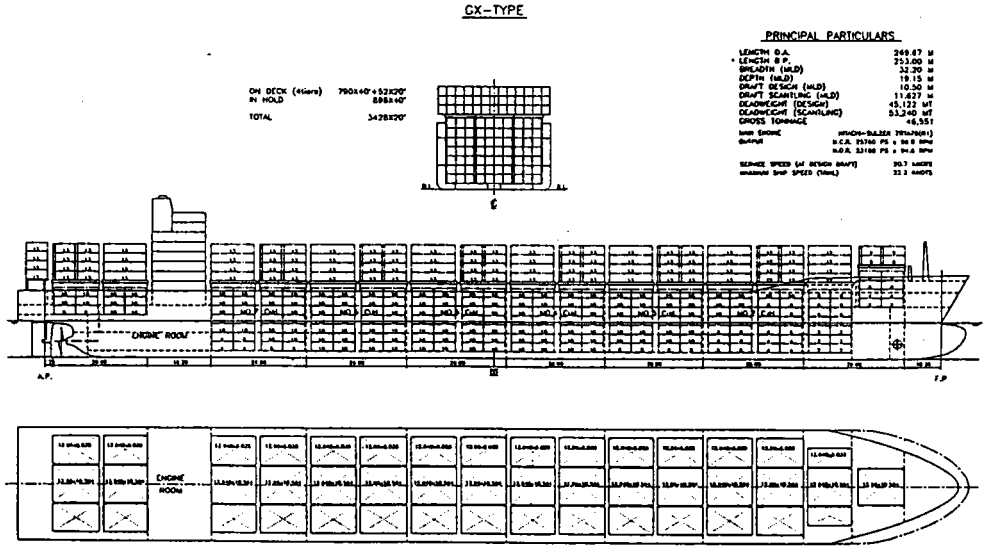


圖5-2-4 德國Bremer Vulkan船廠製造之大型貨櫃輪



(a)



(b)

圖5-2-5　長榮海運公司(a)GL型(b)GX型之大型貨櫃輪

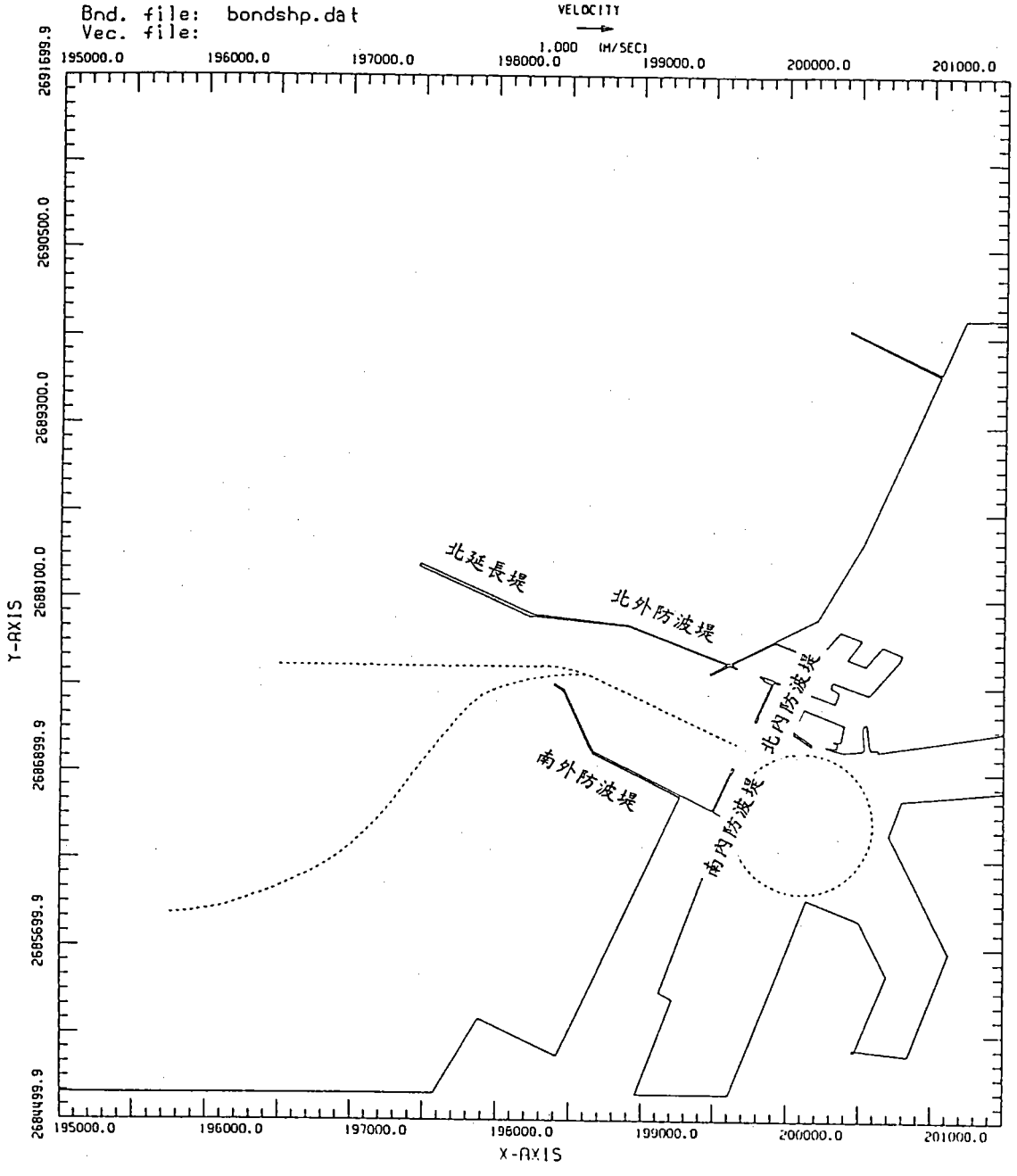


圖5-4-1　台中港位置及配置圖

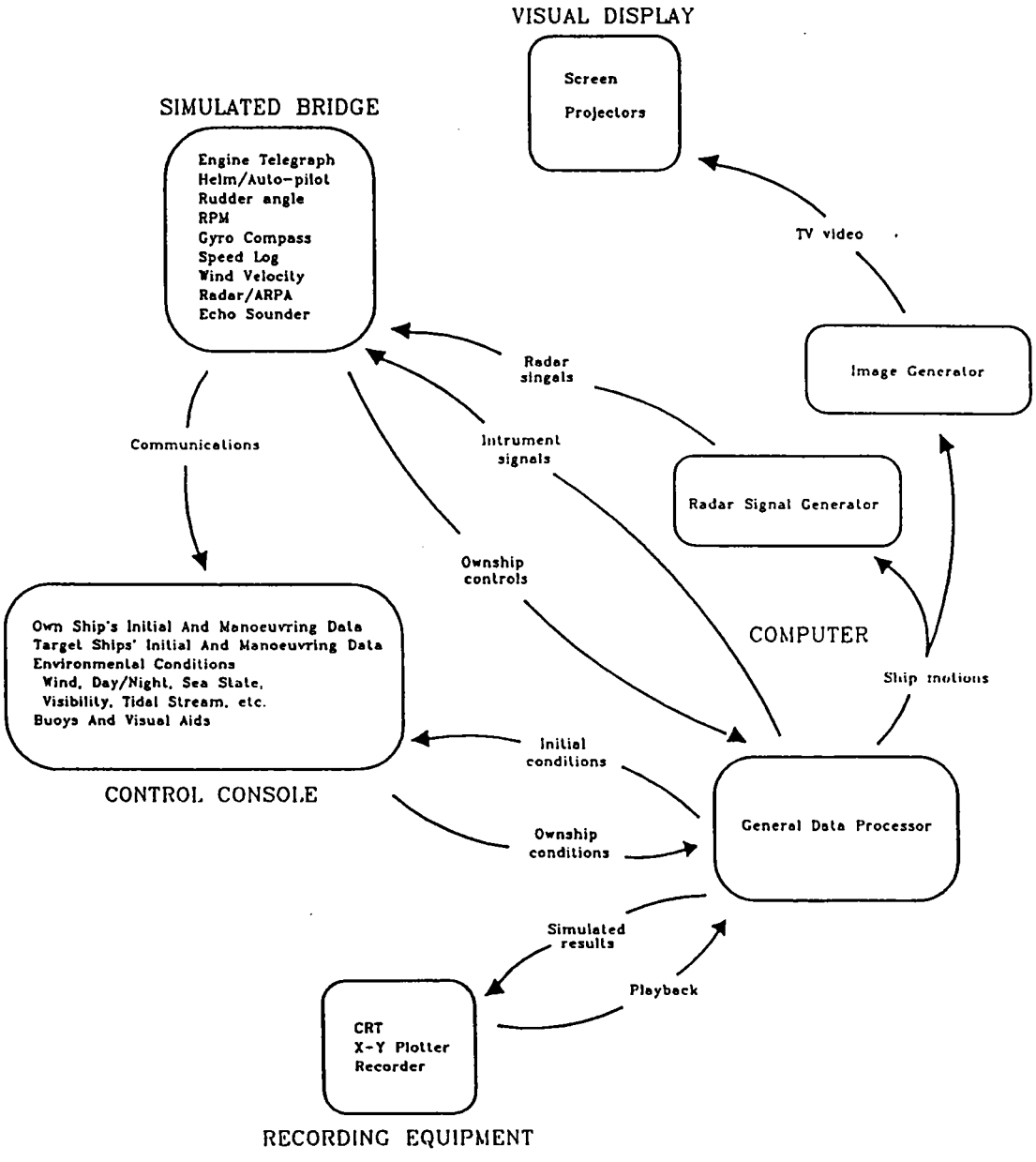
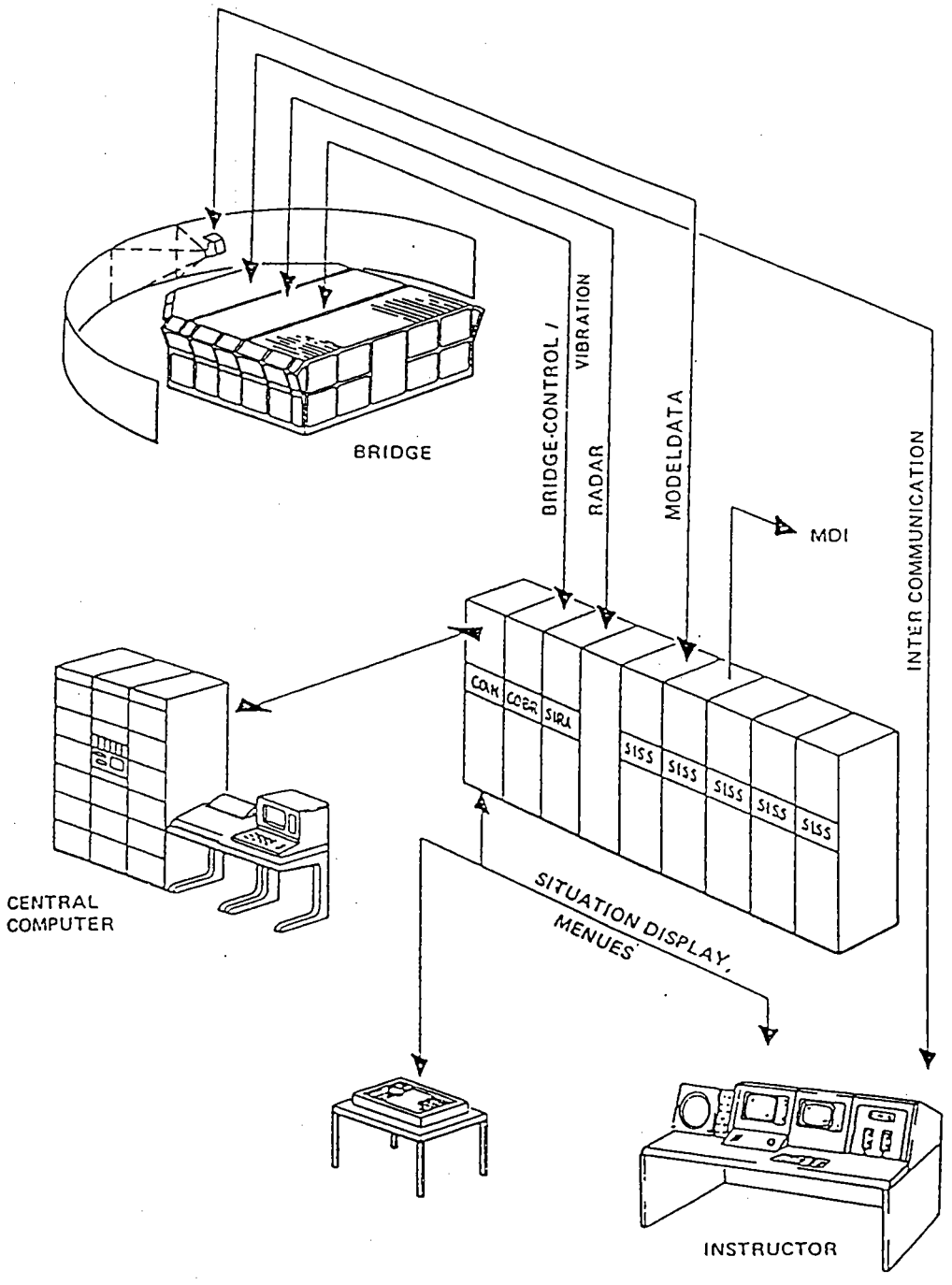


圖5-5-1　模擬機各系統之主要設備



Shiphandling Simulator Components

圖5-5-2　操船模擬機之主要構件

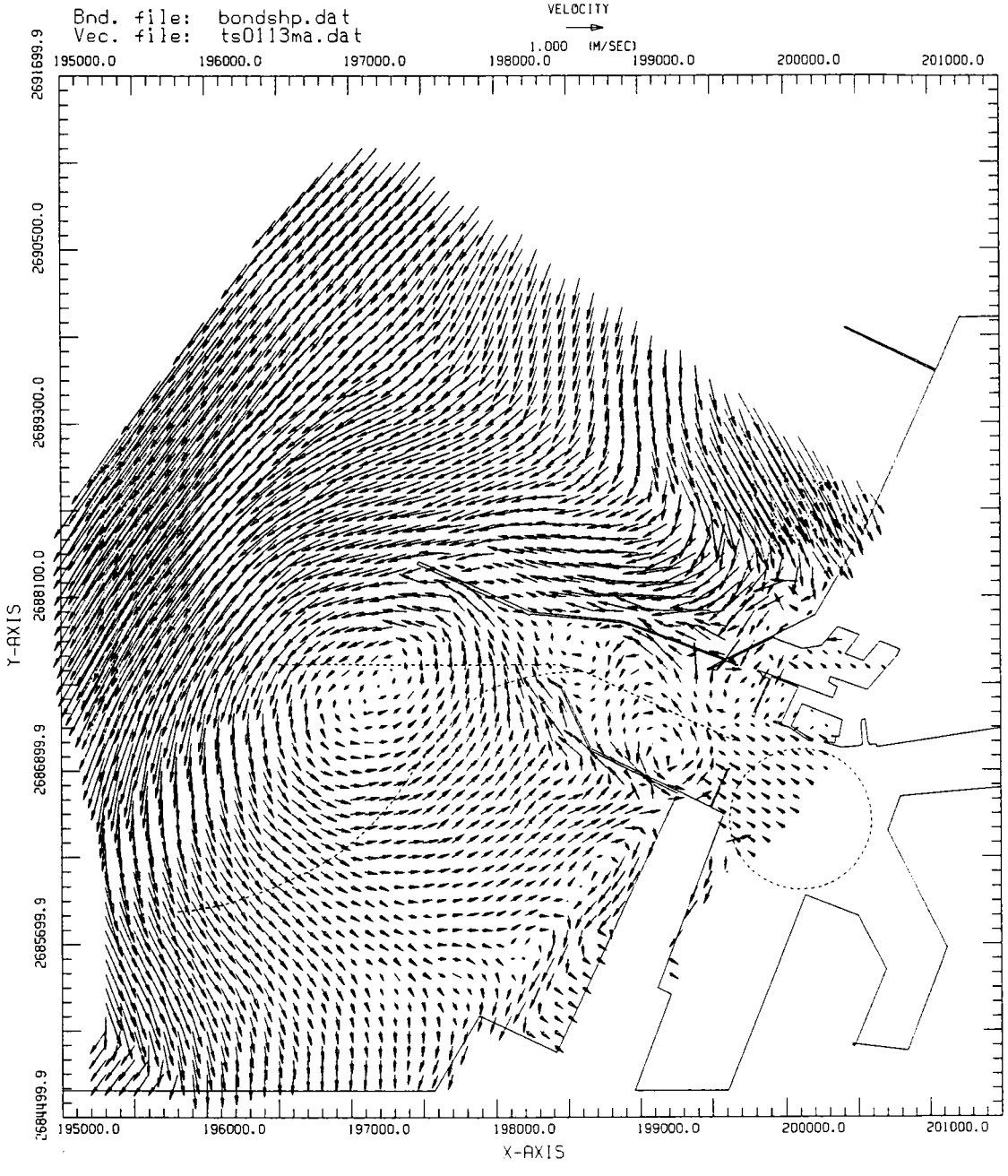


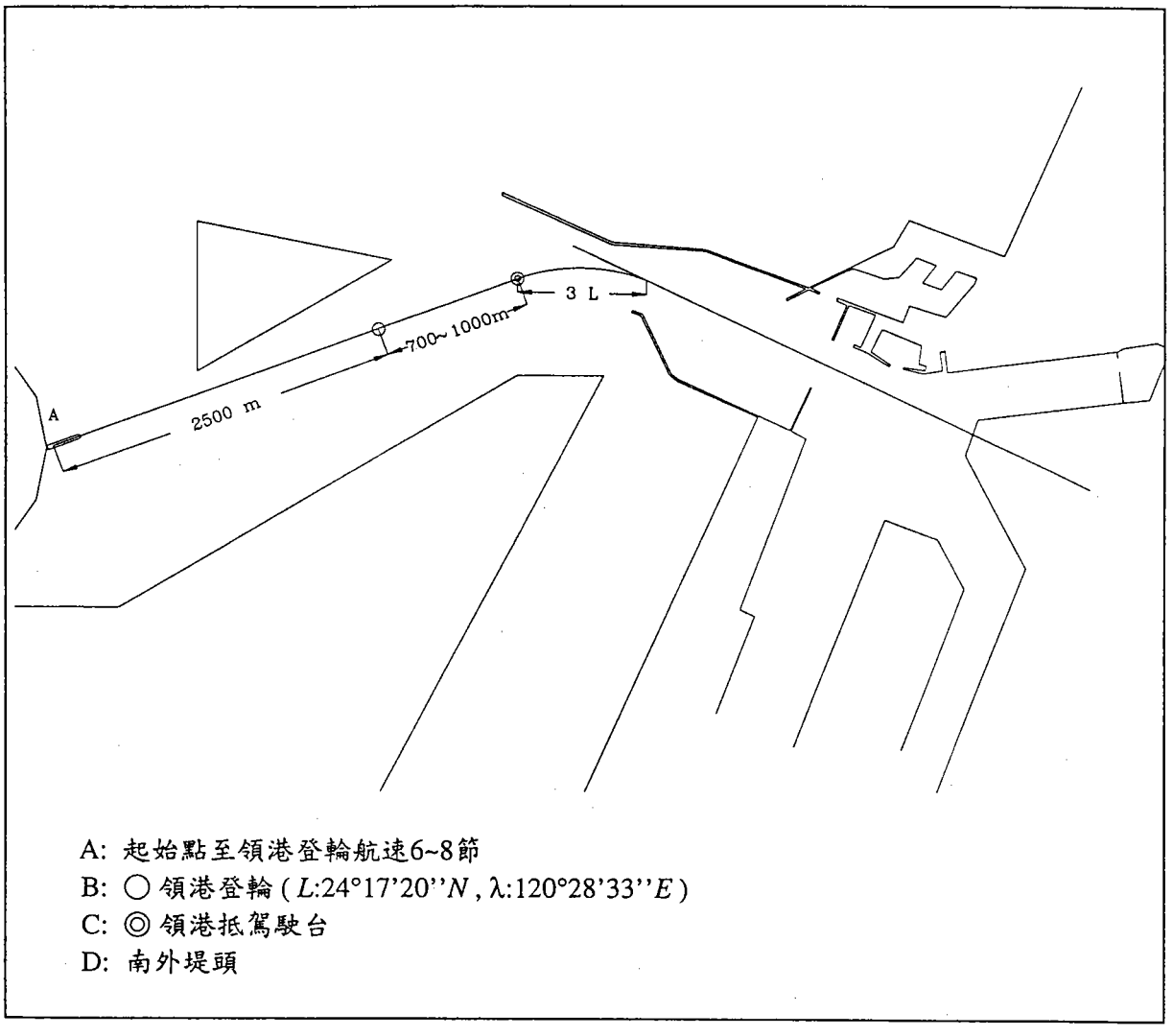
圖5-7-1　領港登輪操船模擬之流況環境



圖5-7-2　直接進出港漲潮順流之操船水流環境

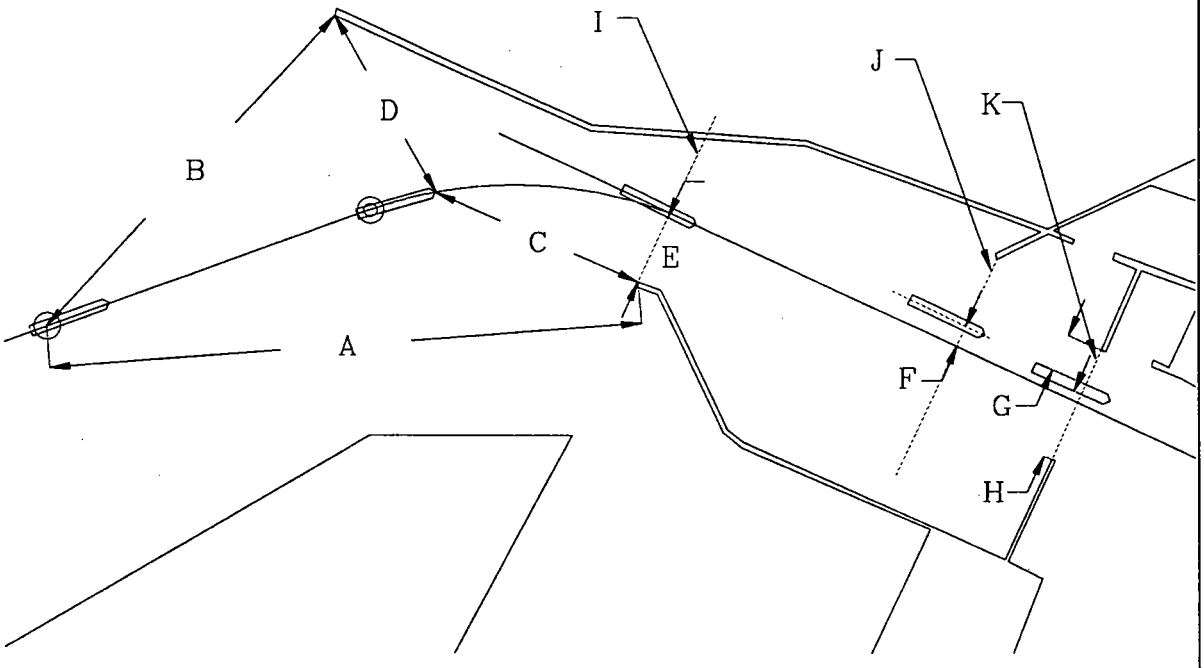


圖5-7-3　直接進出港退潮頂流之操船水流環境



A: 起始點至領港登輪航速6~8節
B: ○ 領港登輪 (*L*:24°17'20''*N* , λ:120°28'33''*E*)
C: ◎ 領港抵駕駛台
D: 南外堤頭

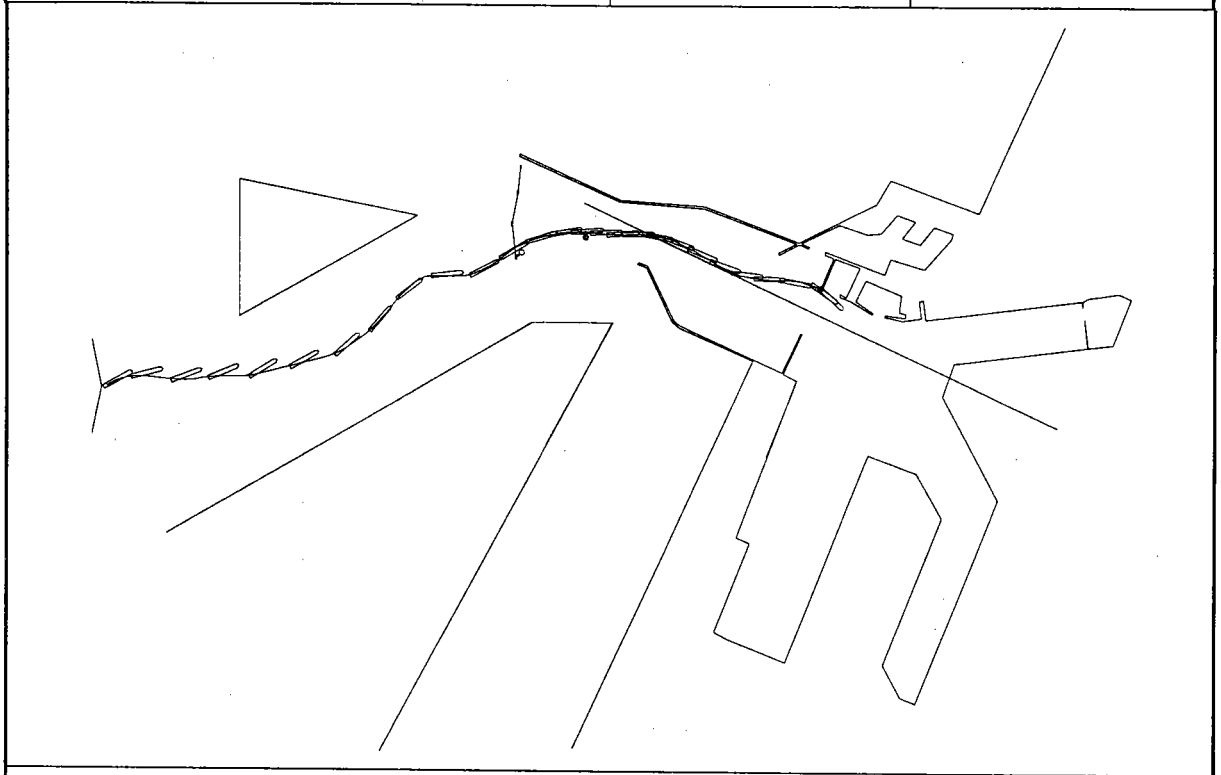
圖5-9-1　港口佈置與操船計劃

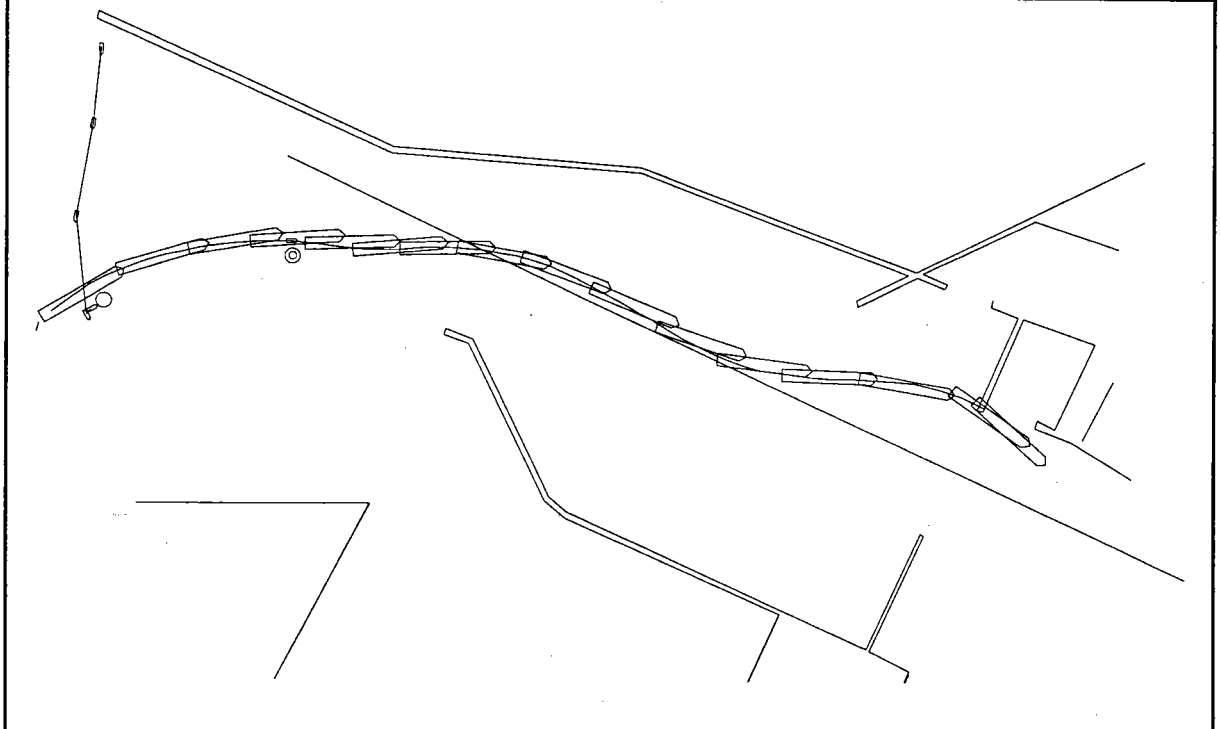


◯ 領港登輪
◎ 領港抵駕駛台
A 領港登輪至南堤頭距離
B 領港登輪至北堤頭距離
C 領港抵駕駛台時船頭至南堤頭距離
D 領港抵駕駛台時船頭至北堤頭距離
E 船舷至南堤頭之最短距離
F 船舶中心線至門線二中心偏移量
G 船舷至門線三北端點最短距離
H 船舷至門線三南端點最短距離
I 門線一
J 門線二
K 門線三

圖5-9-2 操船模擬結果分析定義圖

台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 1

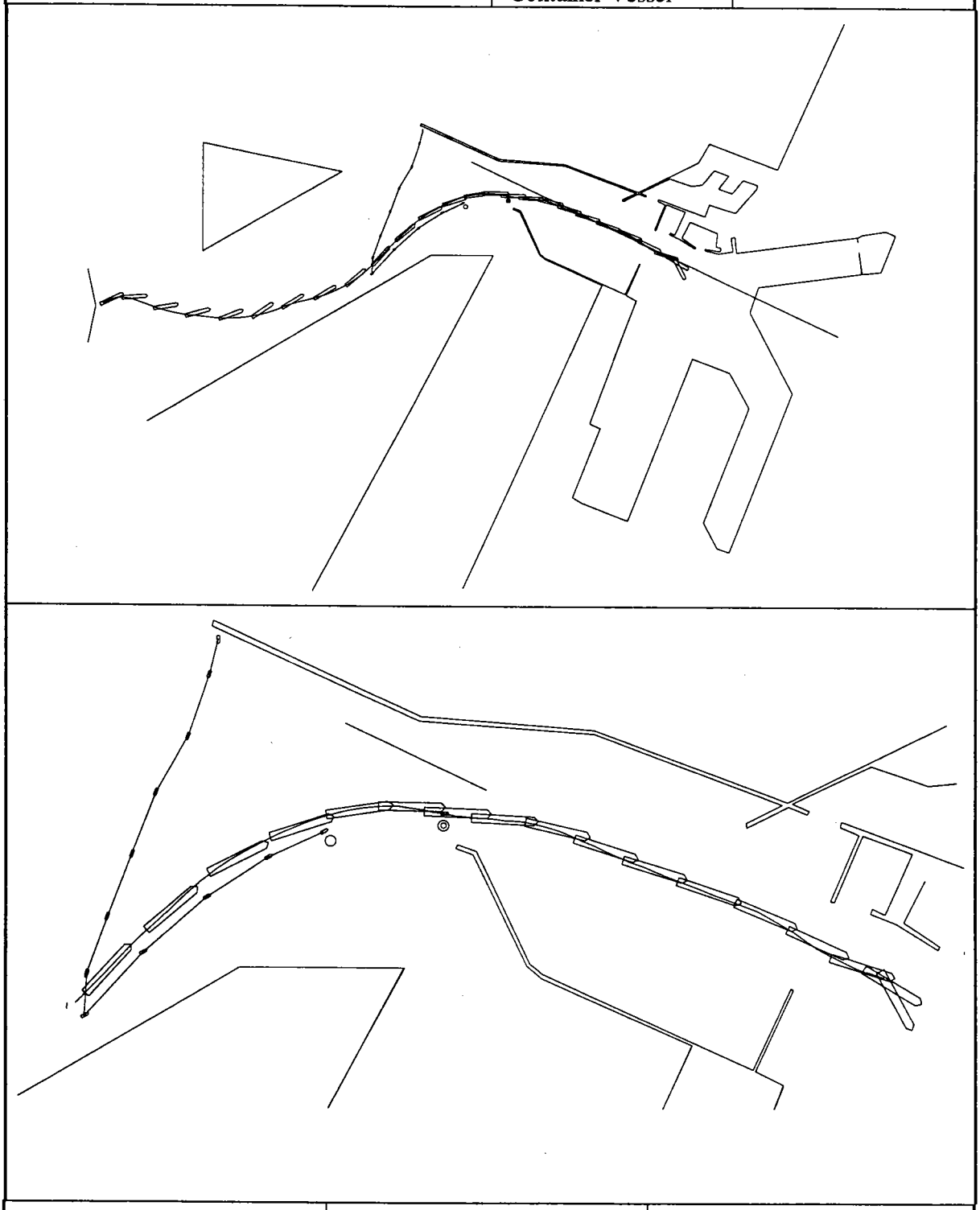




MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 356.7 m
登輪○時間：08:10:50	抵駕駛台◎時間：08:14:10	◎與北堤頭距離： 854 m

圖5-10-1a 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之眞實模擬結果

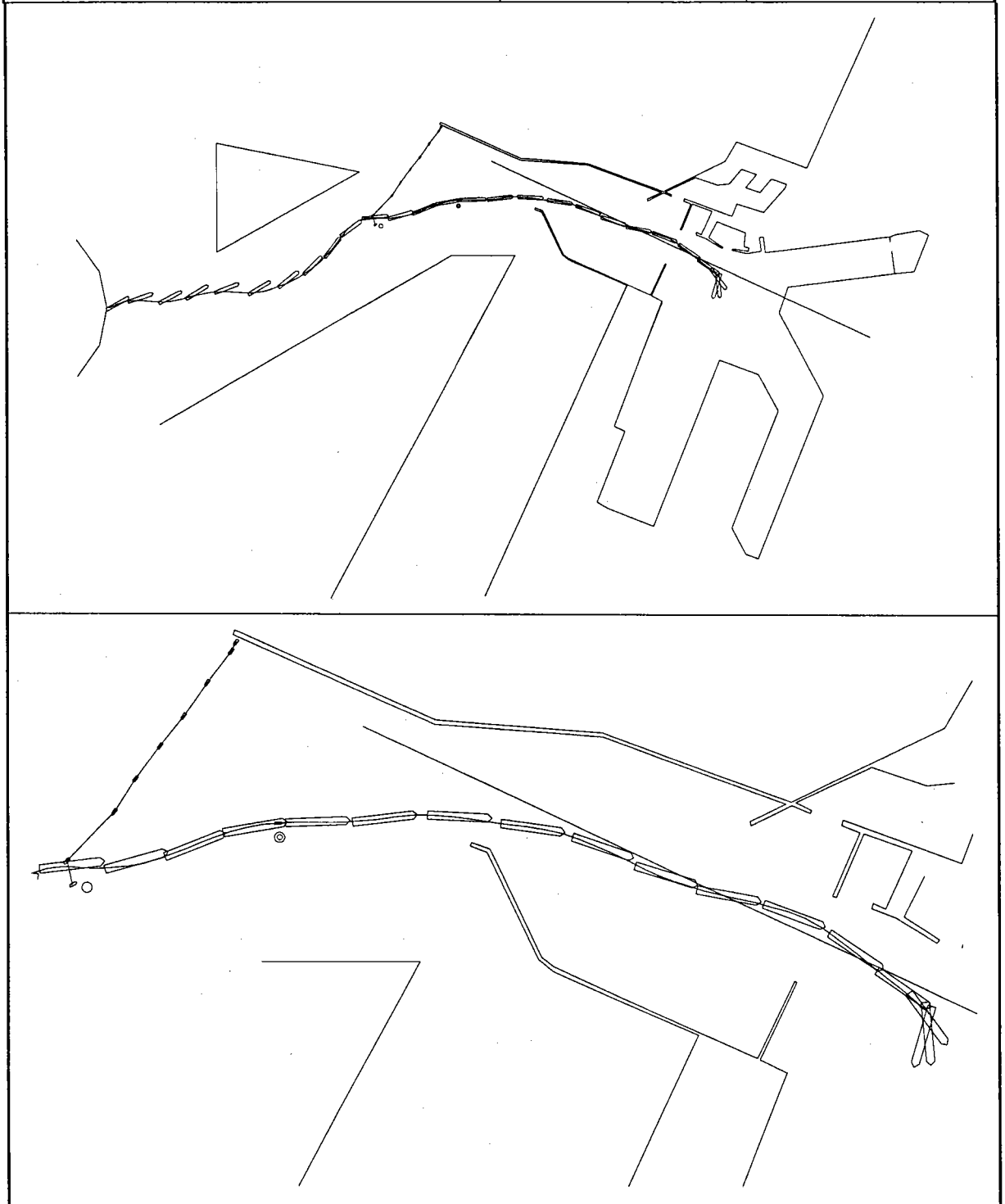
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 3



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 195 m
登輪○時間：09:03:15	抵駕駛台◎時間：09:06:35	◎與北堤頭距離： 1285.5 m

圖5-10-1b　3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果

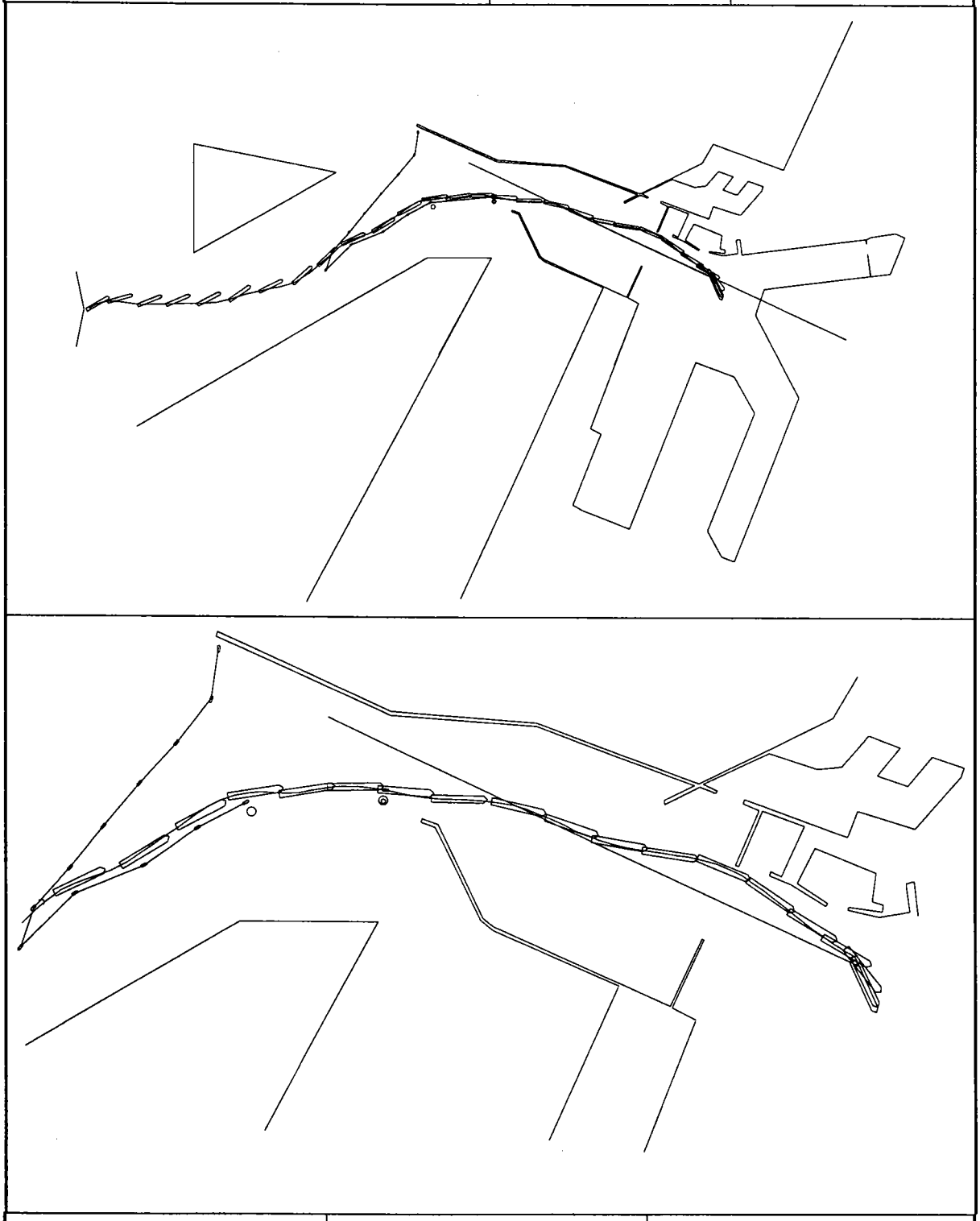
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 26



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 539.9 m
登輪○時間：08:10:10	抵駕駛台◎時間：08:13:30	◎與北堤頭距離： 828.4 m

圖5-10-1c　3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果

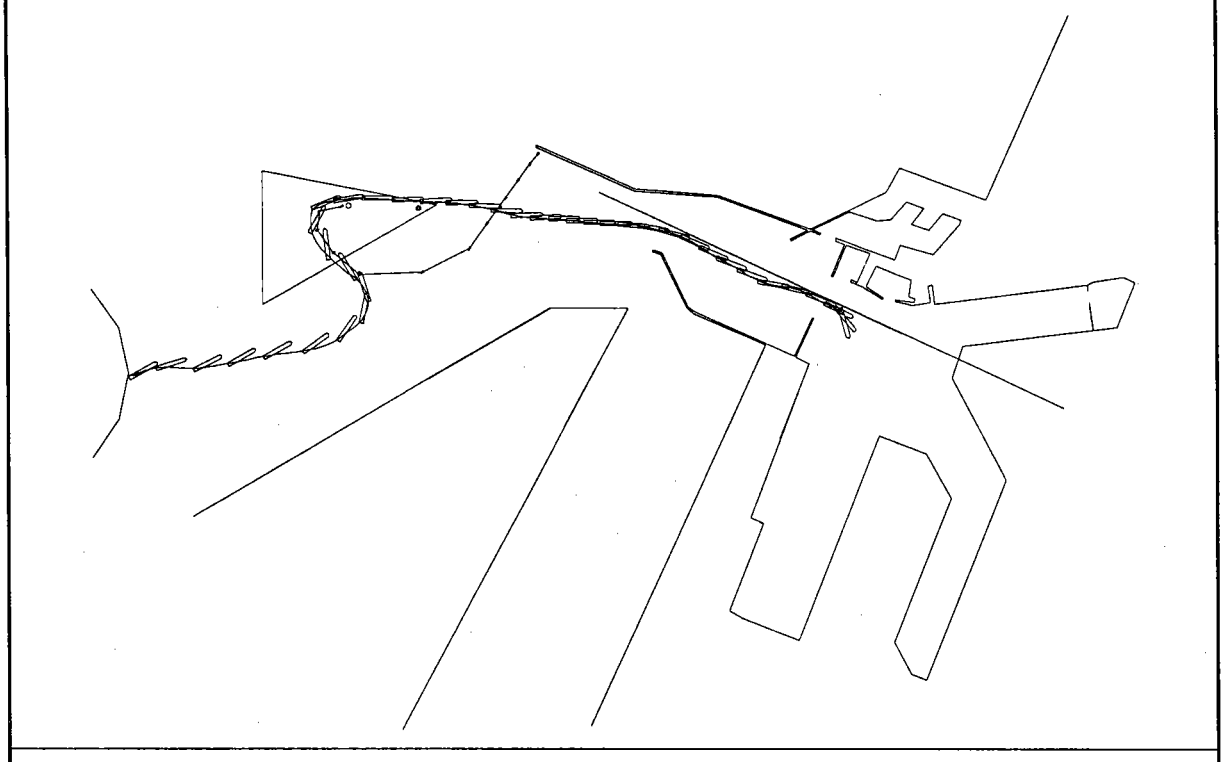
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 2

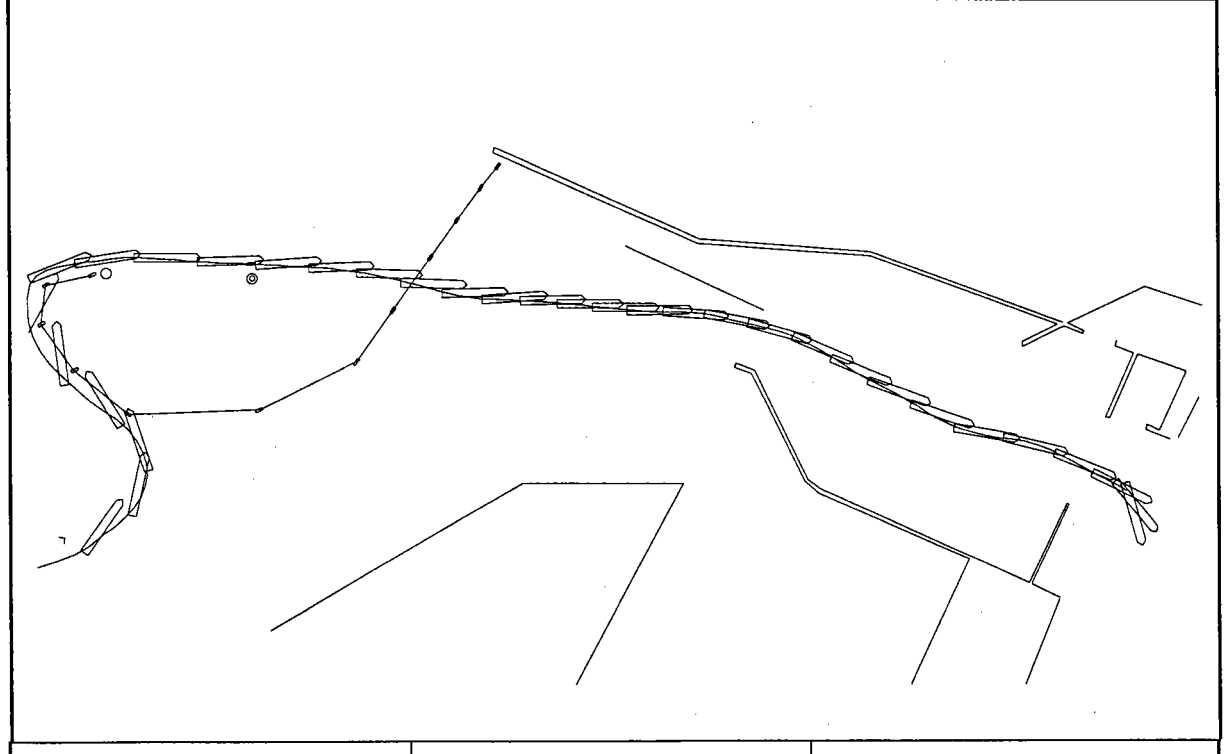


MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 110.8 m
登輪○時間：08:36:38	抵駕駛台◎時間：08:39:58	◎與北堤頭距離： 1190 m

圖5-10-1d 3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之眞實模擬結果

台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 14

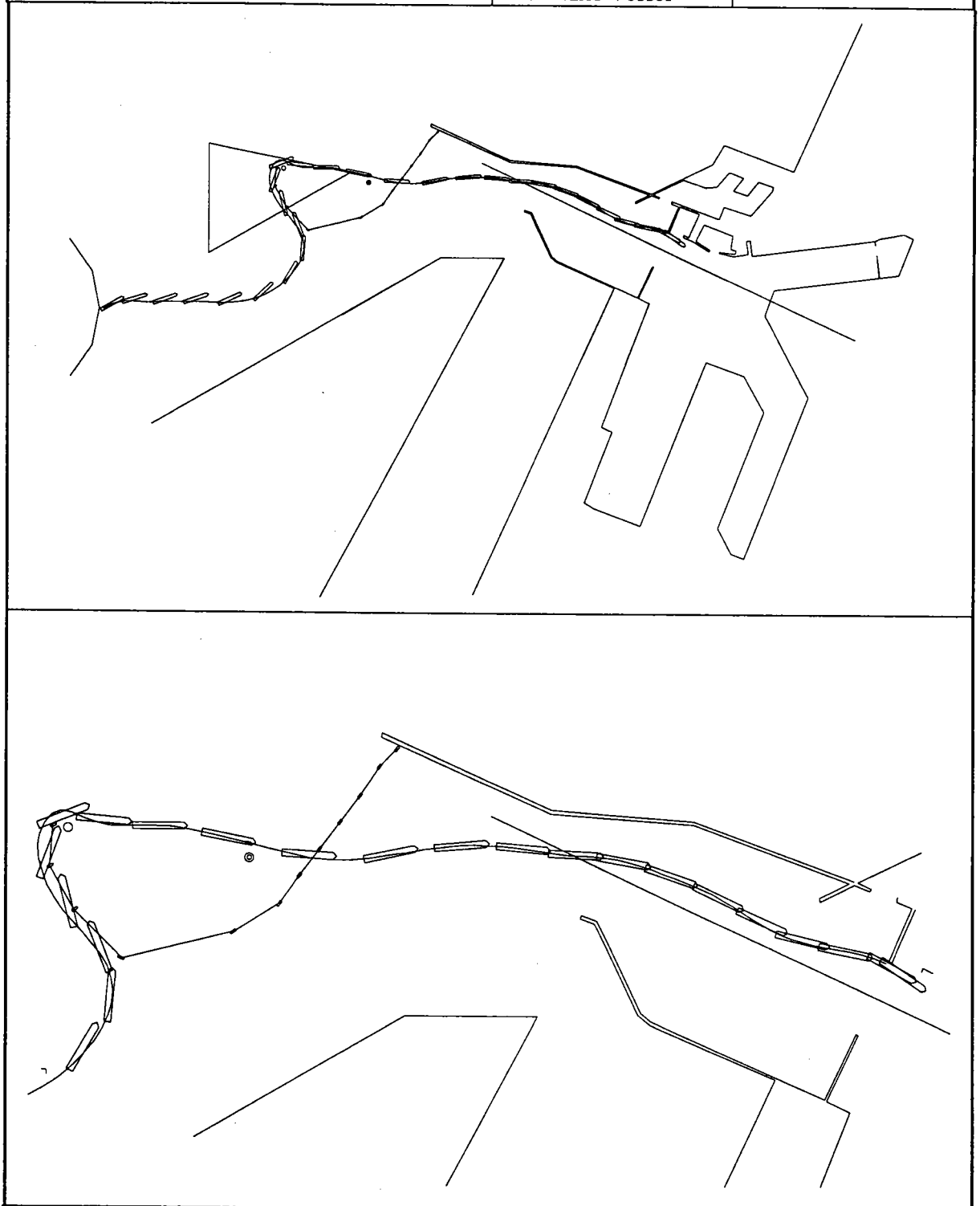




MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 1664 m
登輪◯時間：09:33:10	抵駕駛台◎時間：09:36:30	◎與北堤頭距離： 812.5 m

圖5-10-1e　3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之眞實模擬結果

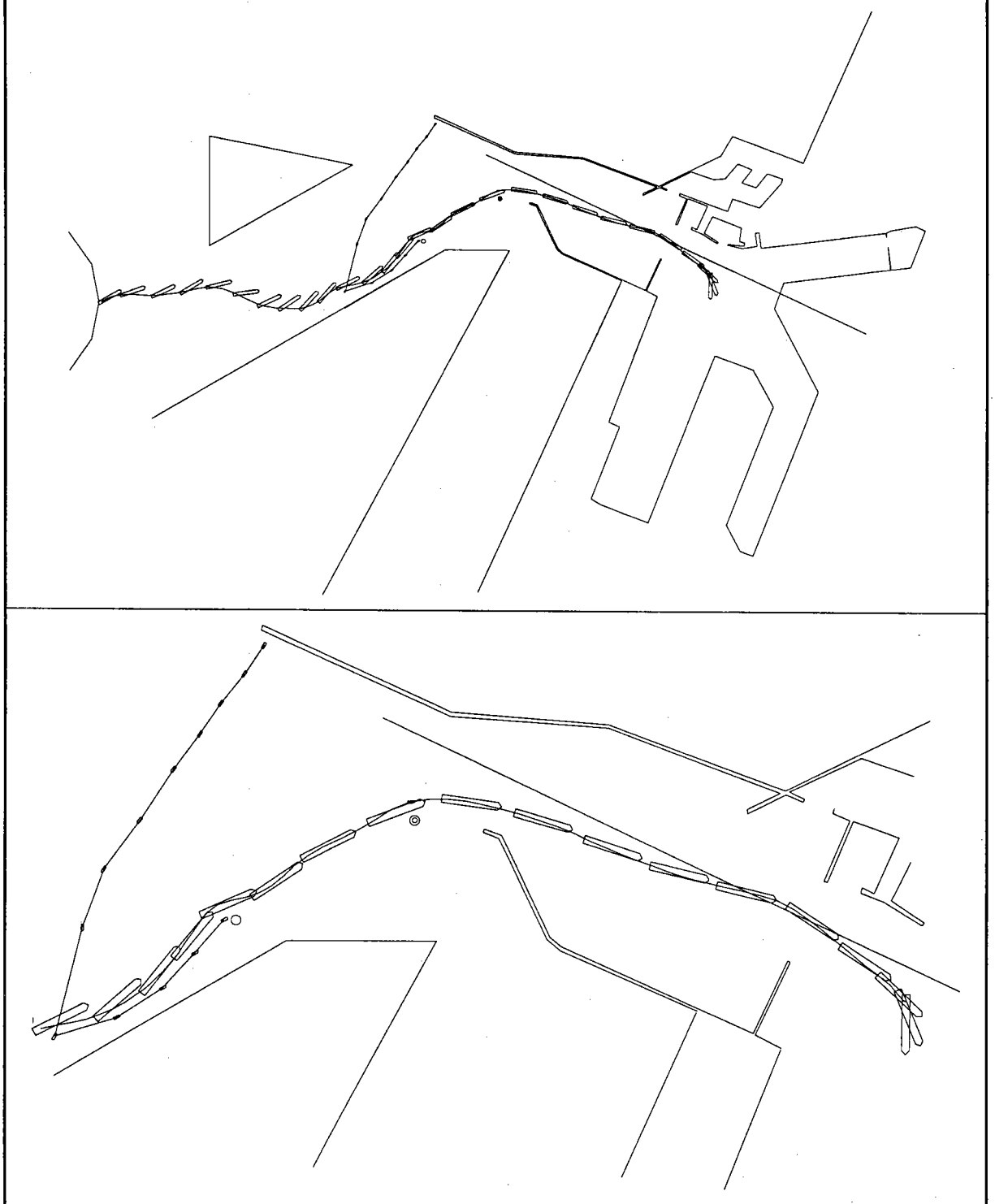
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 16



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 1340 m
登輪○時間：10:36:55	抵駕駛台◎時間：10:40:15	◎與北堤頭距離： 665.6 m

圖5-10-1f　3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之眞實模擬結果

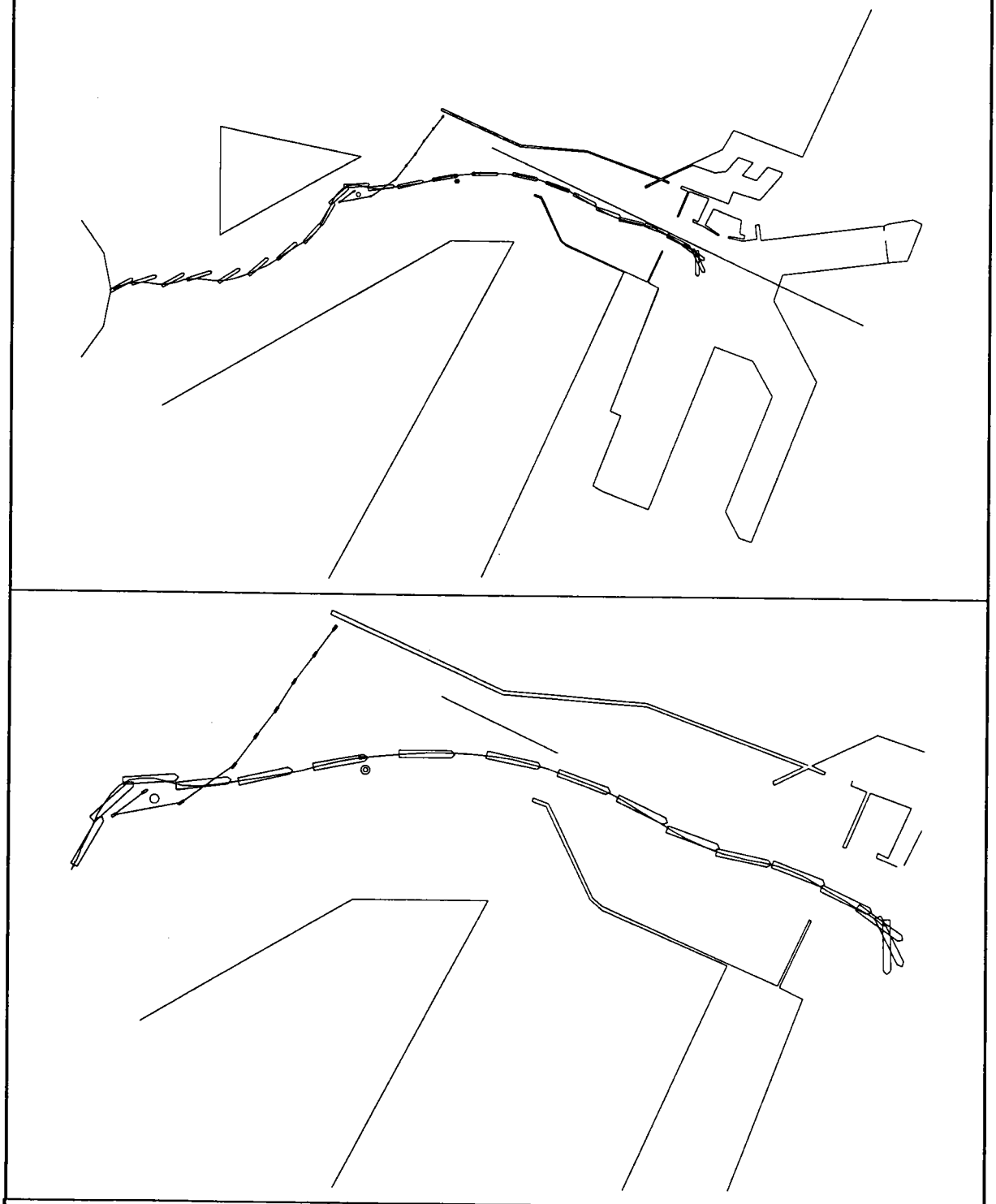
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 27



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 130.8 m
登輪◯時間：09:03:05	抵駕駛台◎時間：09:06:25	◎與北堤頭距離： 1096 m

圖5-10-1g　3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之真實模擬結果

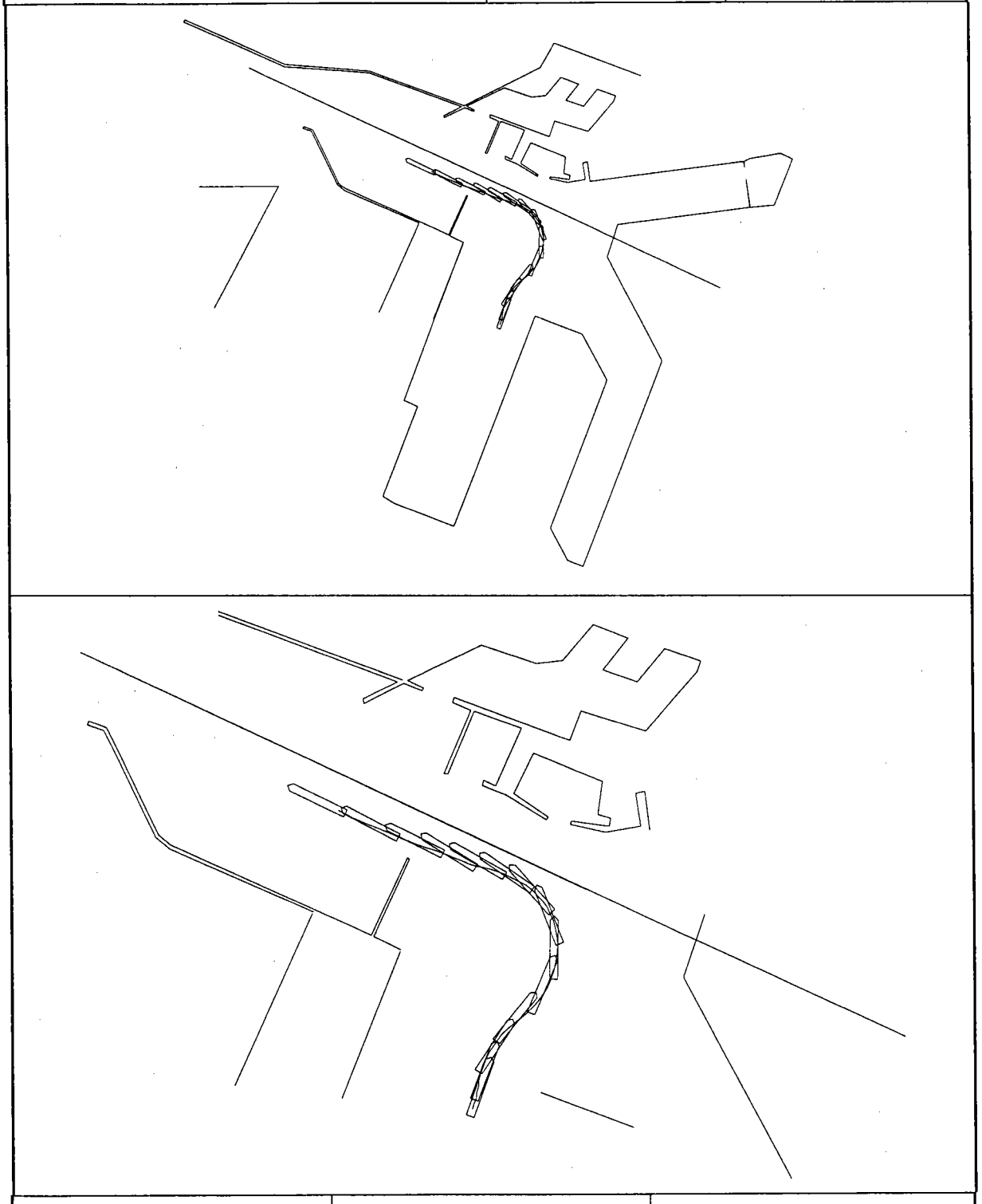
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 30



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離： 588.2 m
登輪○時間：10:22:00	抵駕駛台◎時間：10:25:20	◎與北堤頭距離： 712.6 m

圖5-10-1h　3,000TEU級貨櫃輪接領港後直接進港之眞實模擬結果

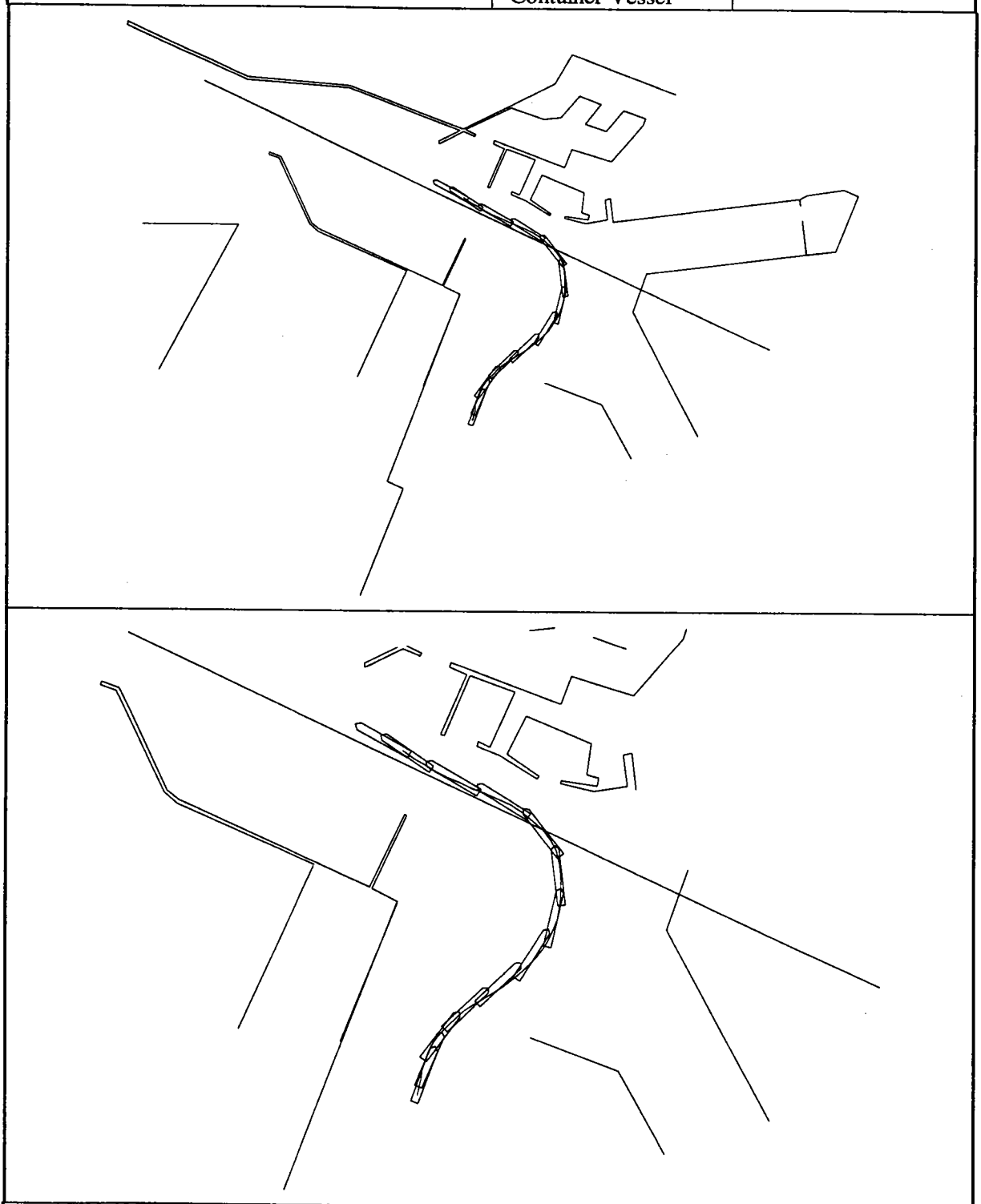
台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 32



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離：
登輪○時間：	抵駕駛台◎時間：	◎與北堤頭距離：

圖5-10-2a　3,000TEU級貨櫃輪出港之真實模擬結果

台中港大型船舶進出港操船安全評估-眞時模擬	SHIP : 258 M Container Vessel	FIGURE： 34



MANEUVER：	風速: 023/045	◎與南堤頭距離：
登輪○時間：	抵駕駛台◎時間：	◎與北堤頭距離：

圖5-10-2b　3,000TEU級貨櫃輪出港之眞實模擬結果

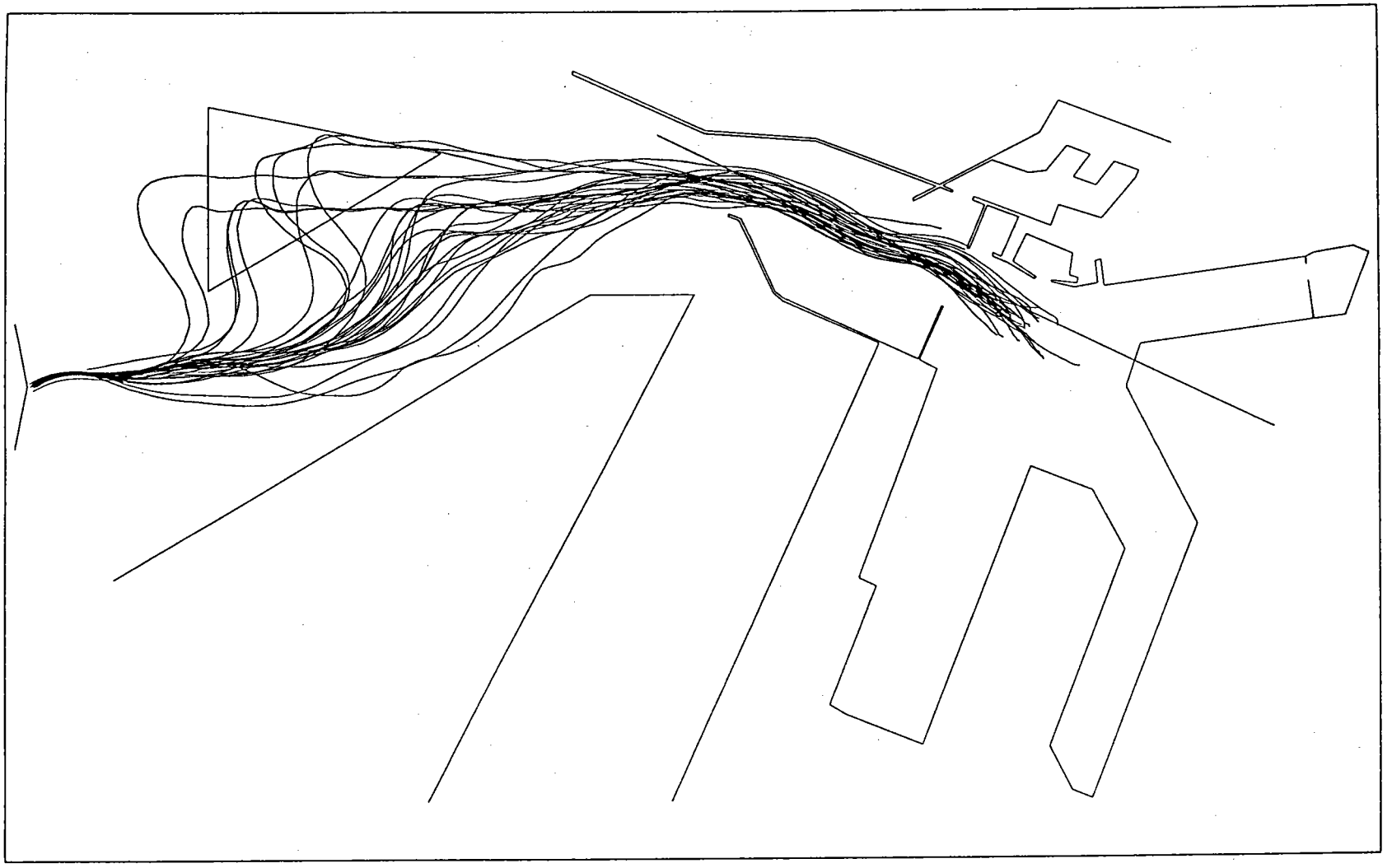


圖5-10-3　3,000TEU級貨櫃輪60度航向之真實操航模擬總航跡

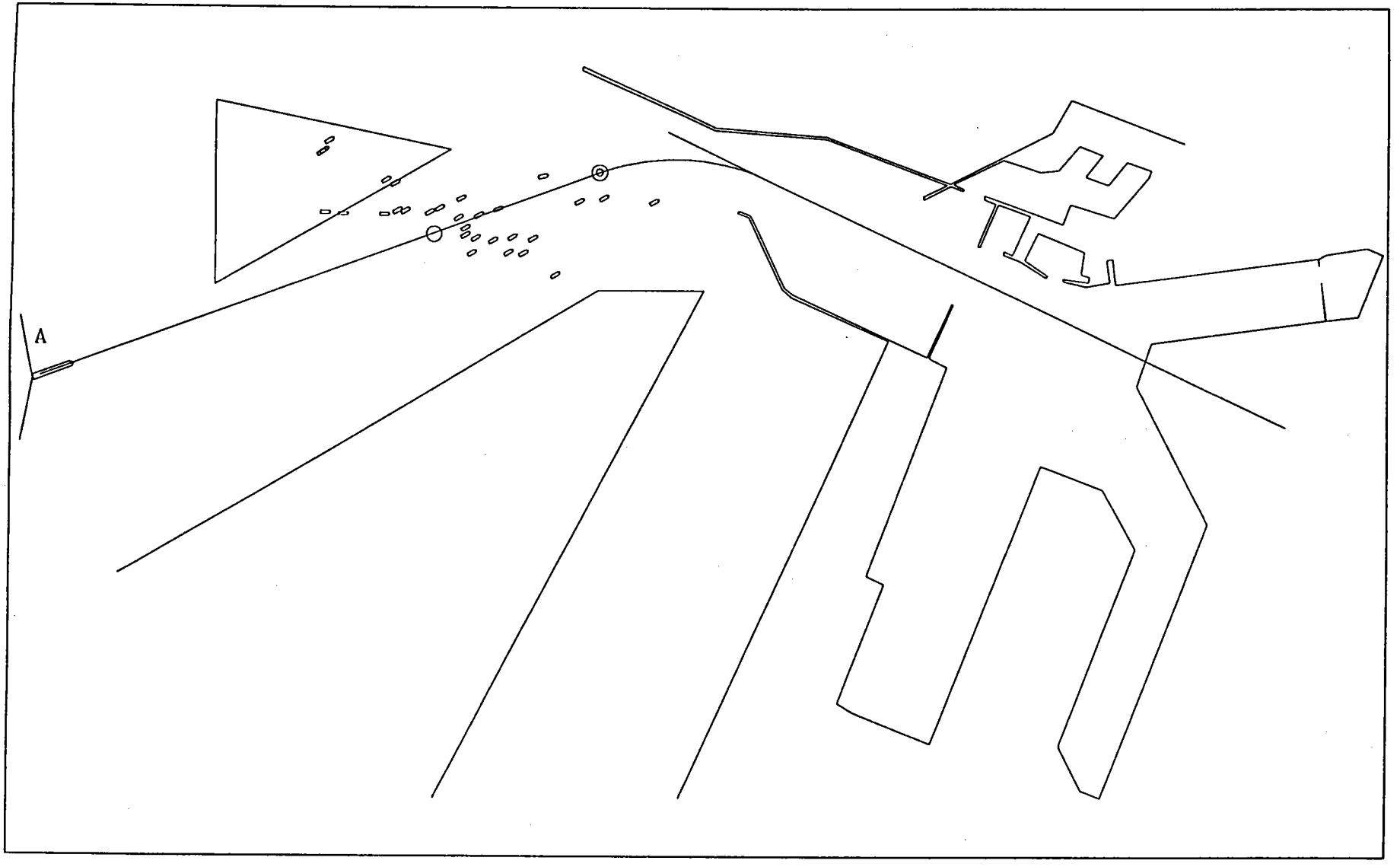


圖5-10-4　領港登輪位置真實操船模擬結果之分佈圖

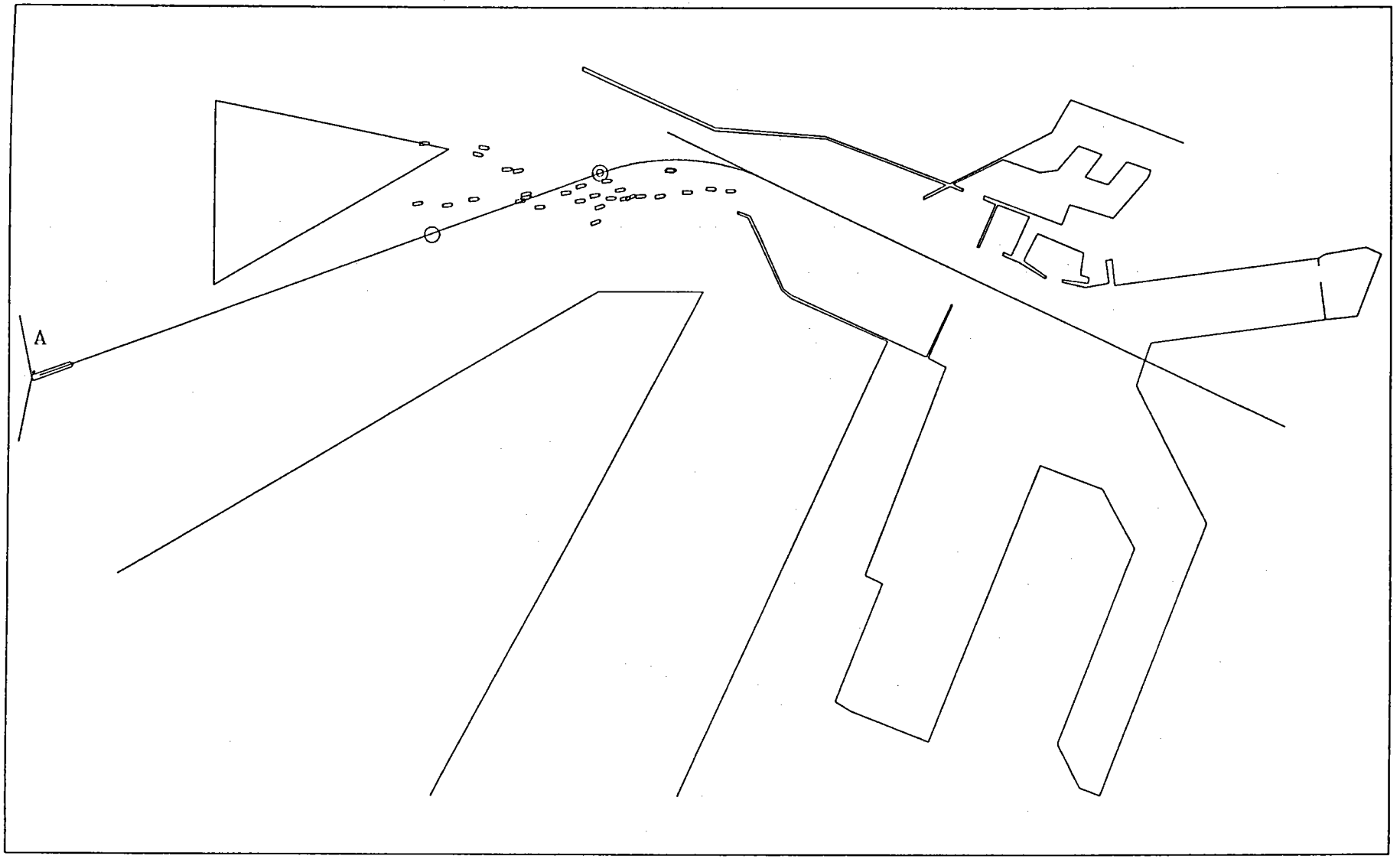
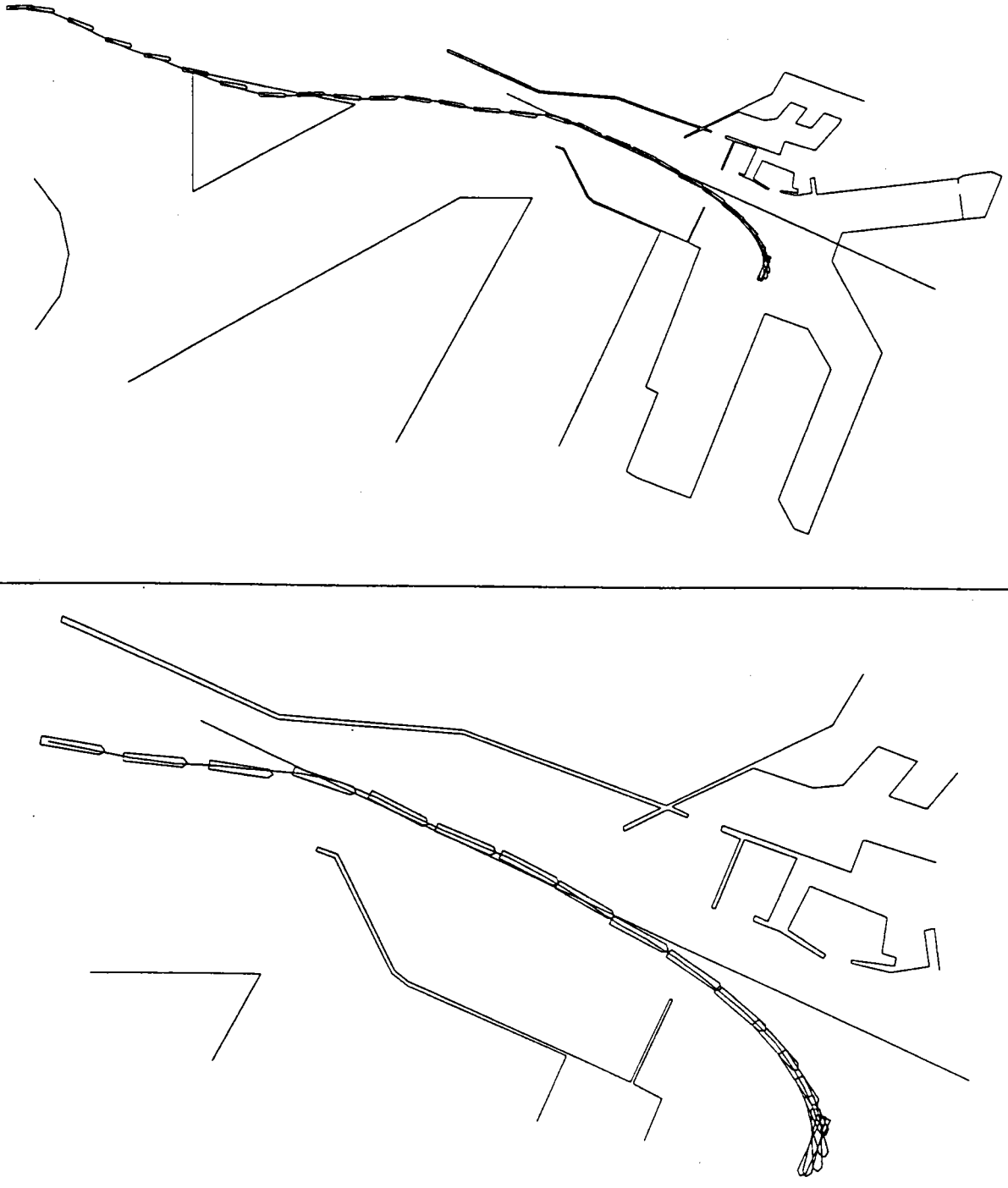


圖5-10-5　領港抵達駕駛台位置真實操船模擬結果之分佈圖

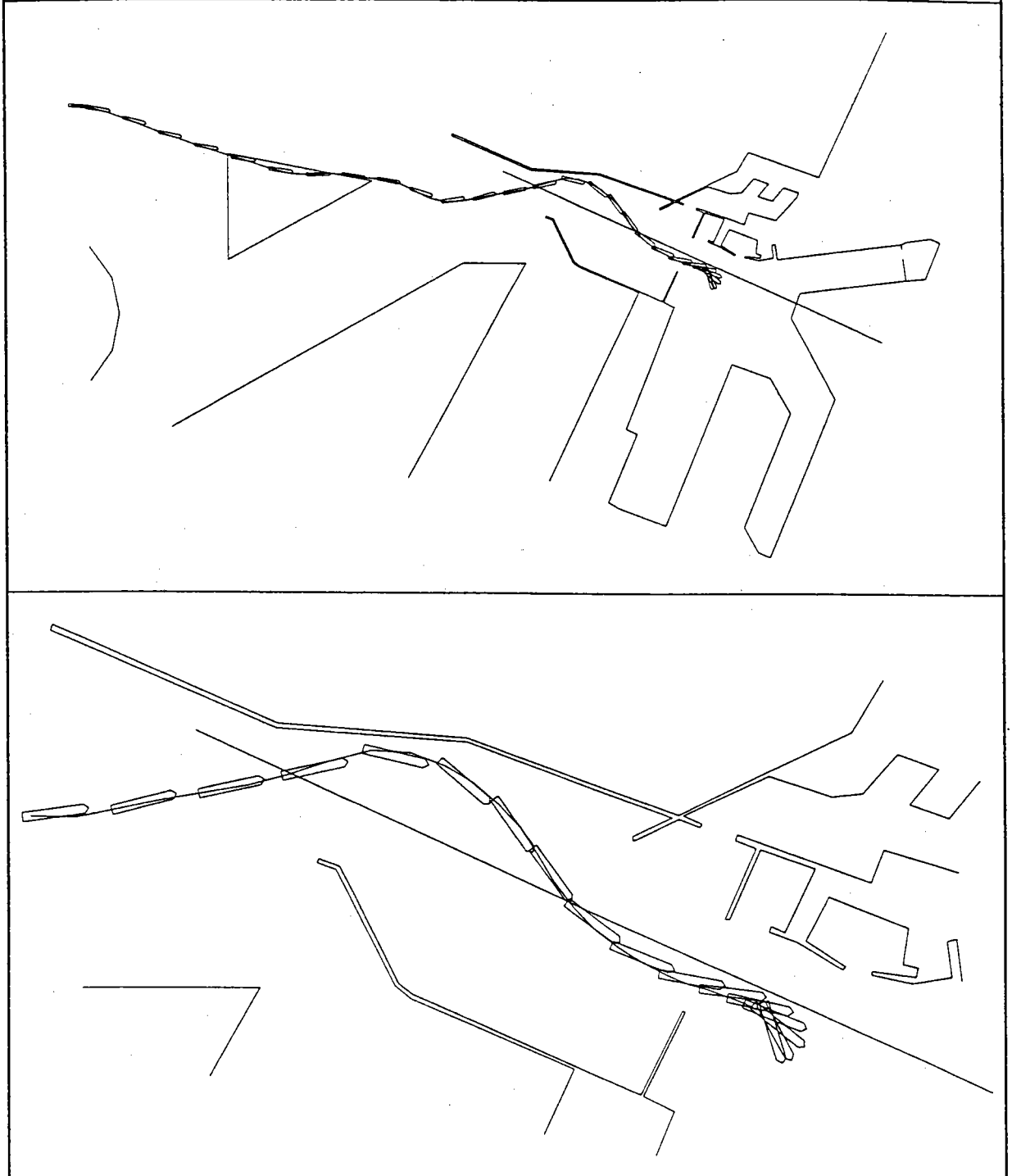
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No：A-17	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西進港
備註：		

圖5-10-6a 大型散裝貨輪90度航向順流模擬操航航跡

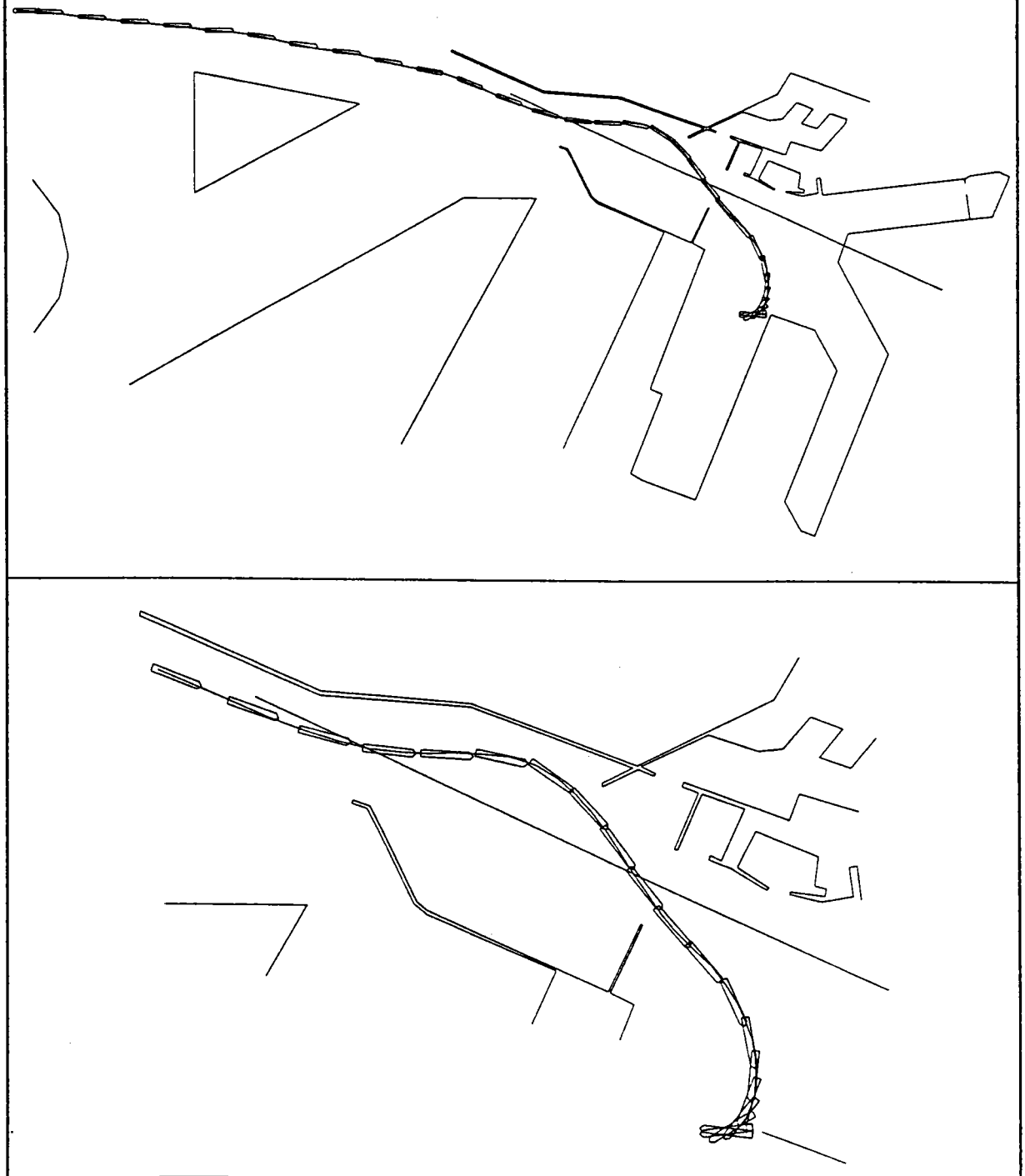
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No：A-10	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西進港
備註：		

圖5-10-6b　大型散裝貨輪90度航向順流模擬操航航跡

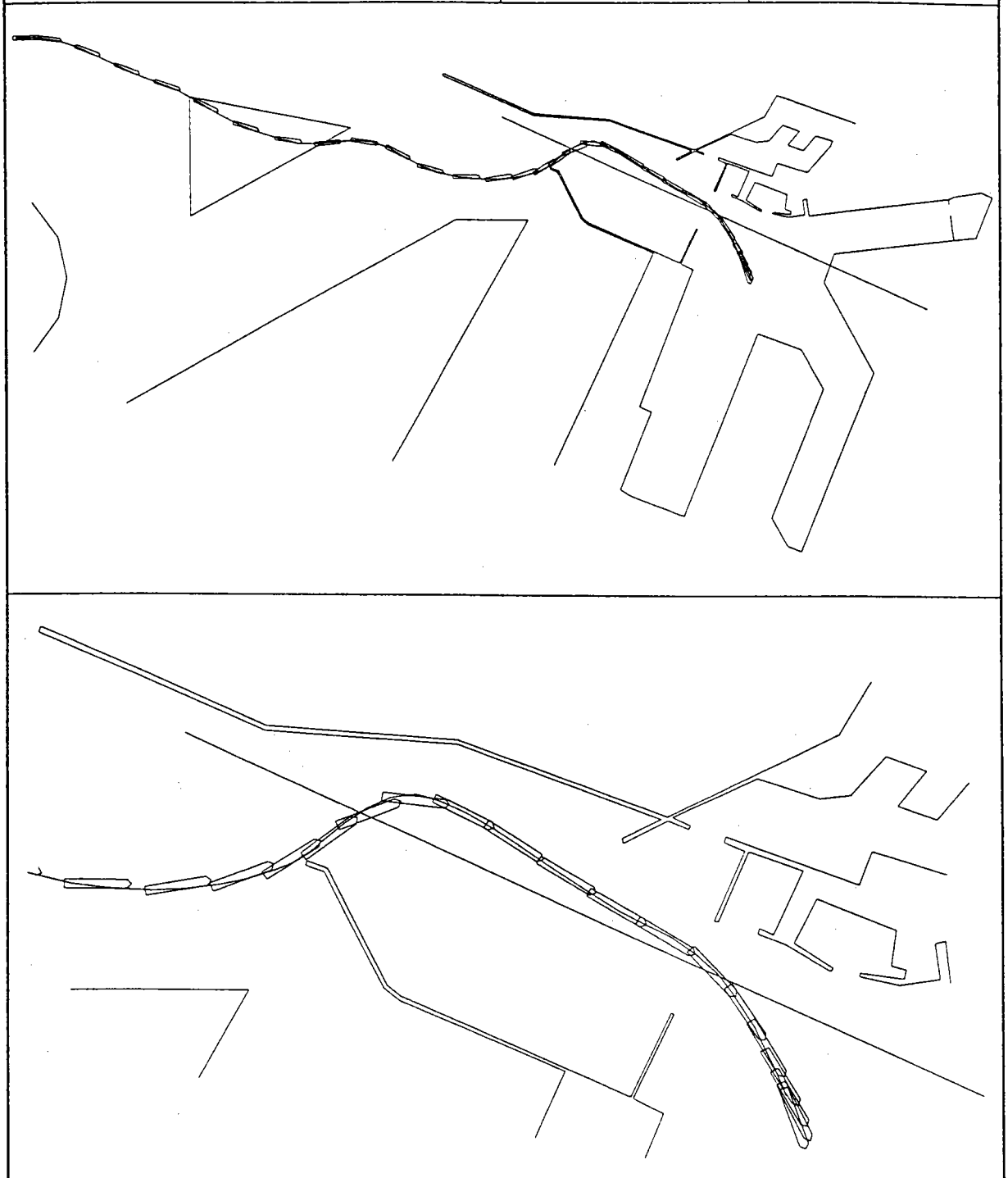
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:D-18	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西進港
備註：		

圖5-10-6c　大型散裝貨輪90度航向頂流模擬操航航跡

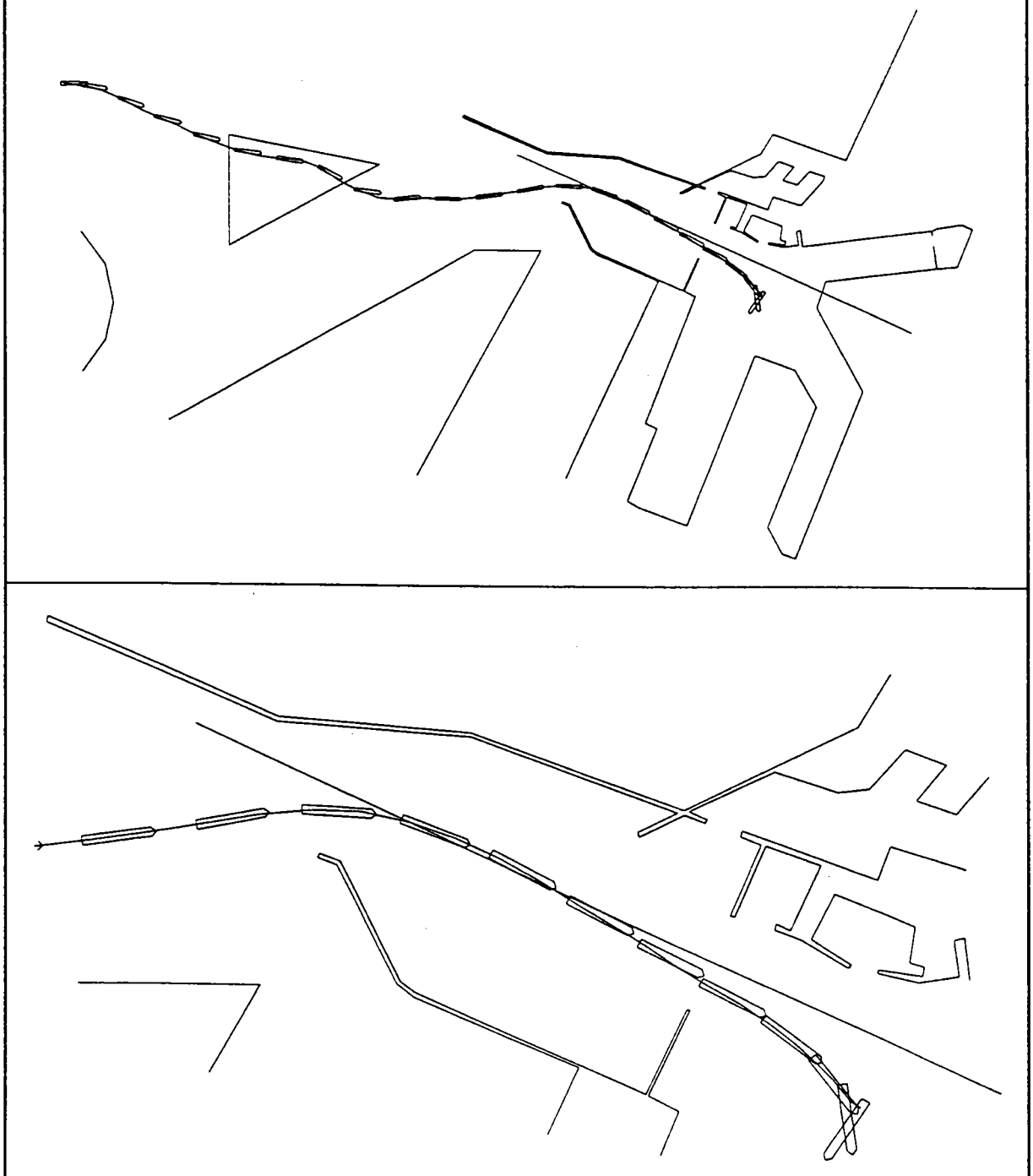
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:D-15	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西進港
備註：		

圖5-10-6d　大型散裝貨輪90度航向頂流模擬操航航跡

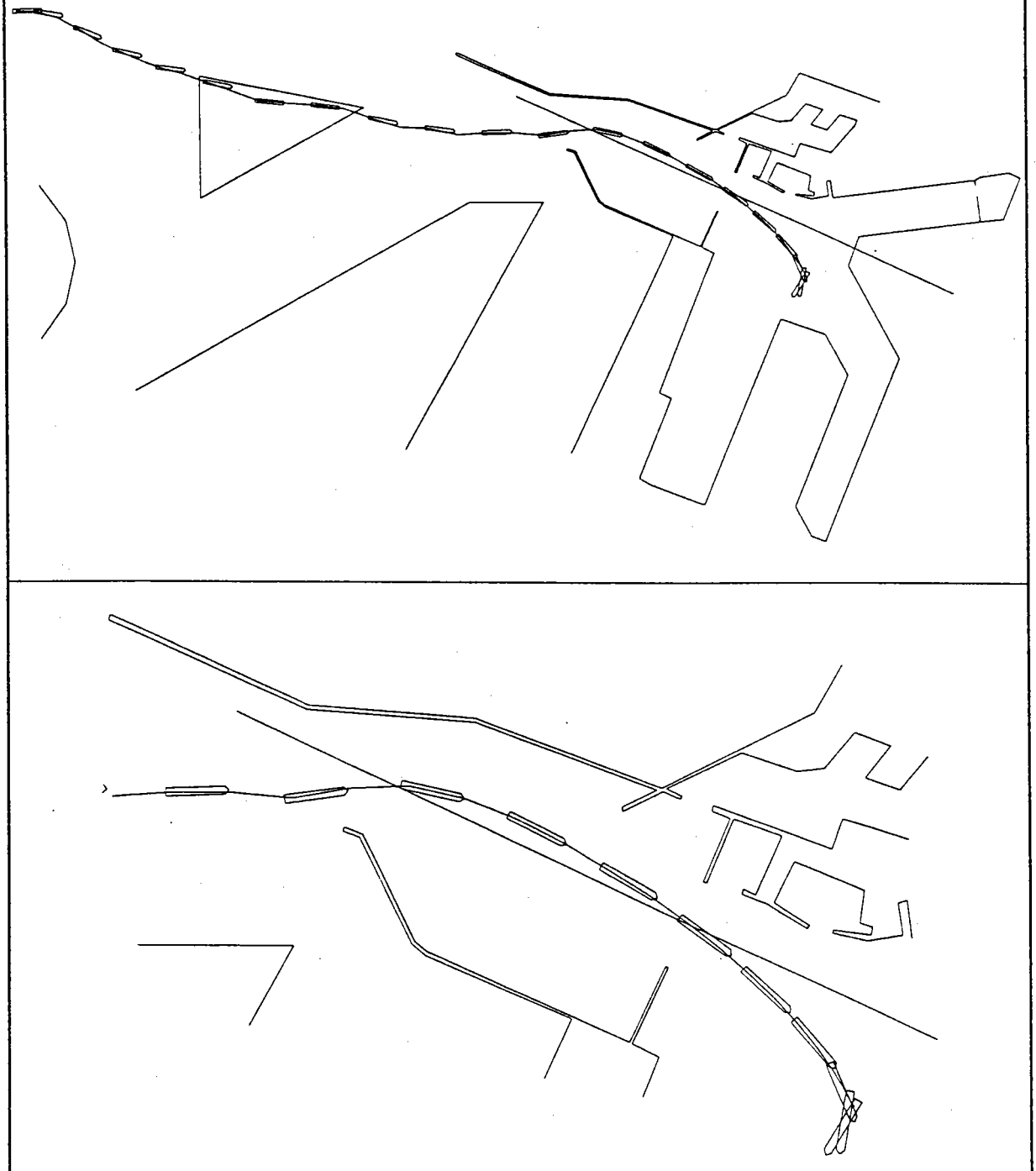
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No：A-2	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西進港
備註：		

圖5-10-7a 大型貨櫃輪90度航向順流模擬操航航跡

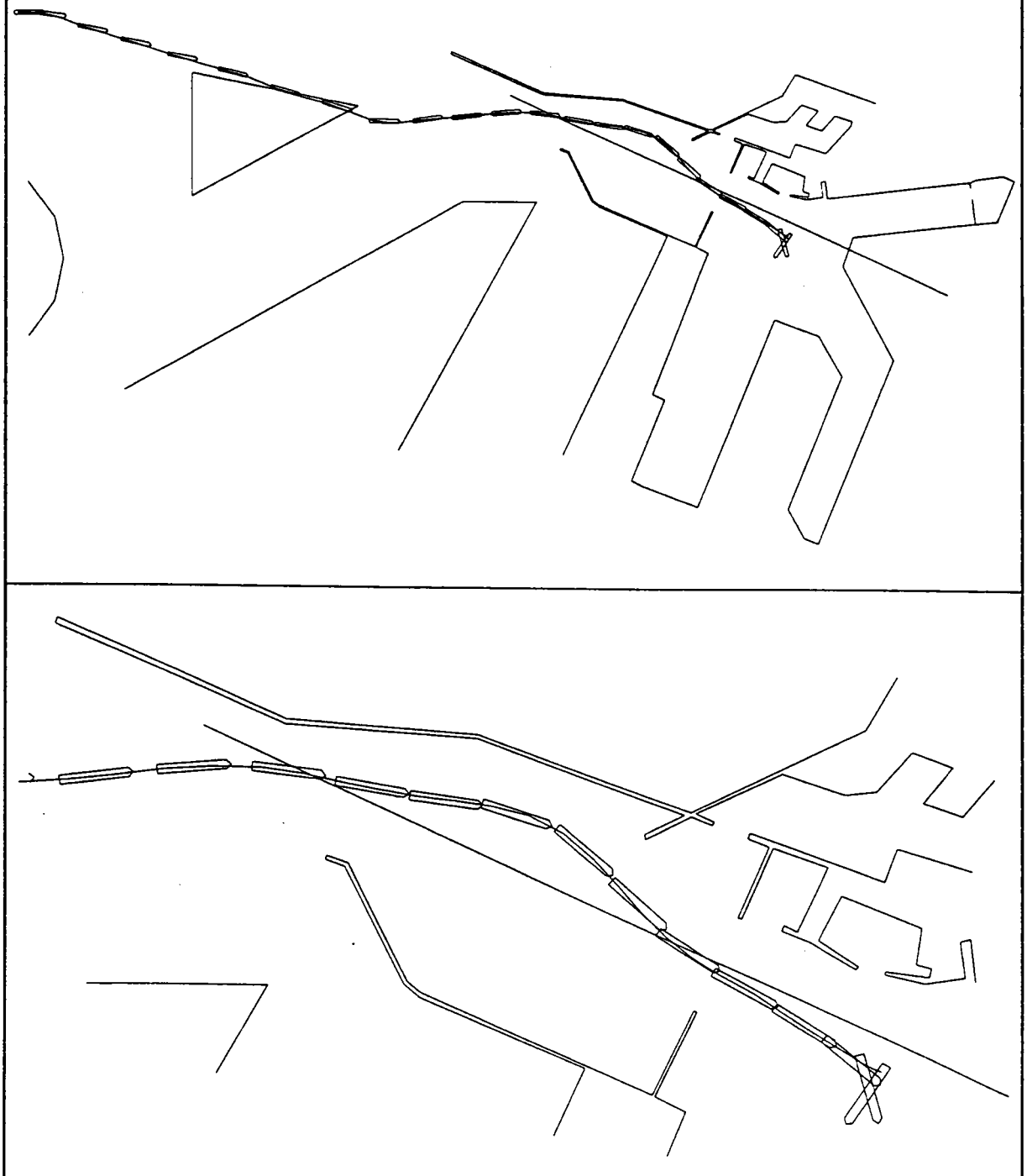
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No：A-7	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西進港
備註：		

圖5-10-7b 大型貨櫃輪90度航向順流模擬操航航跡

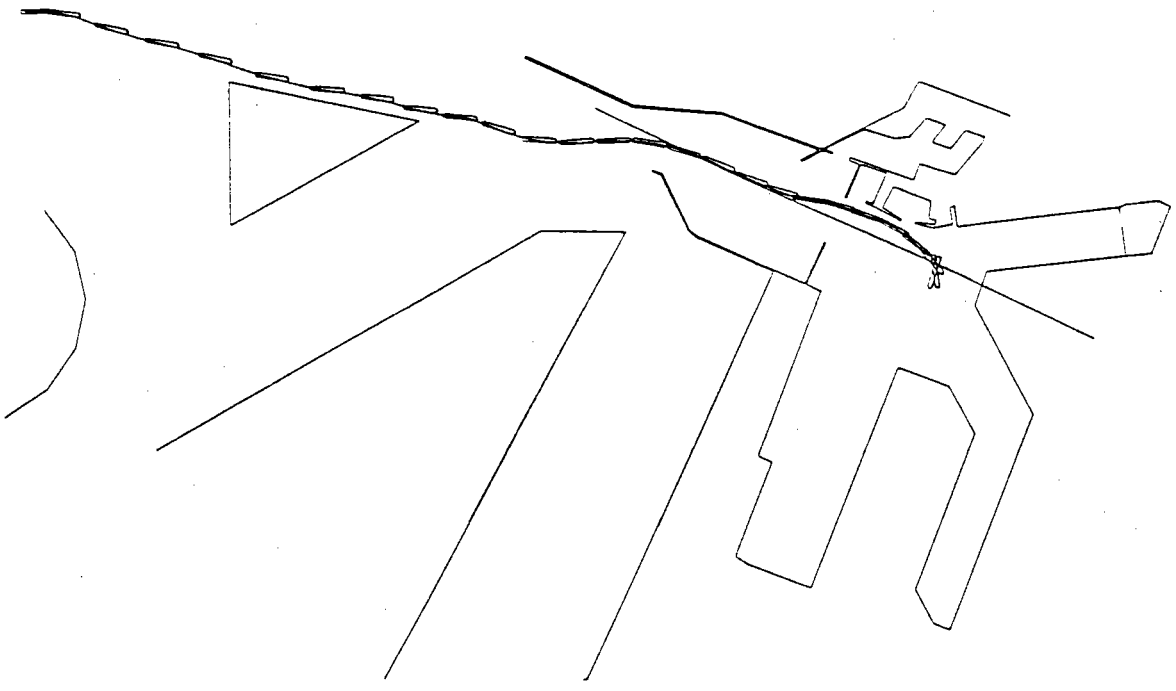
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:D-9	FIGURE：

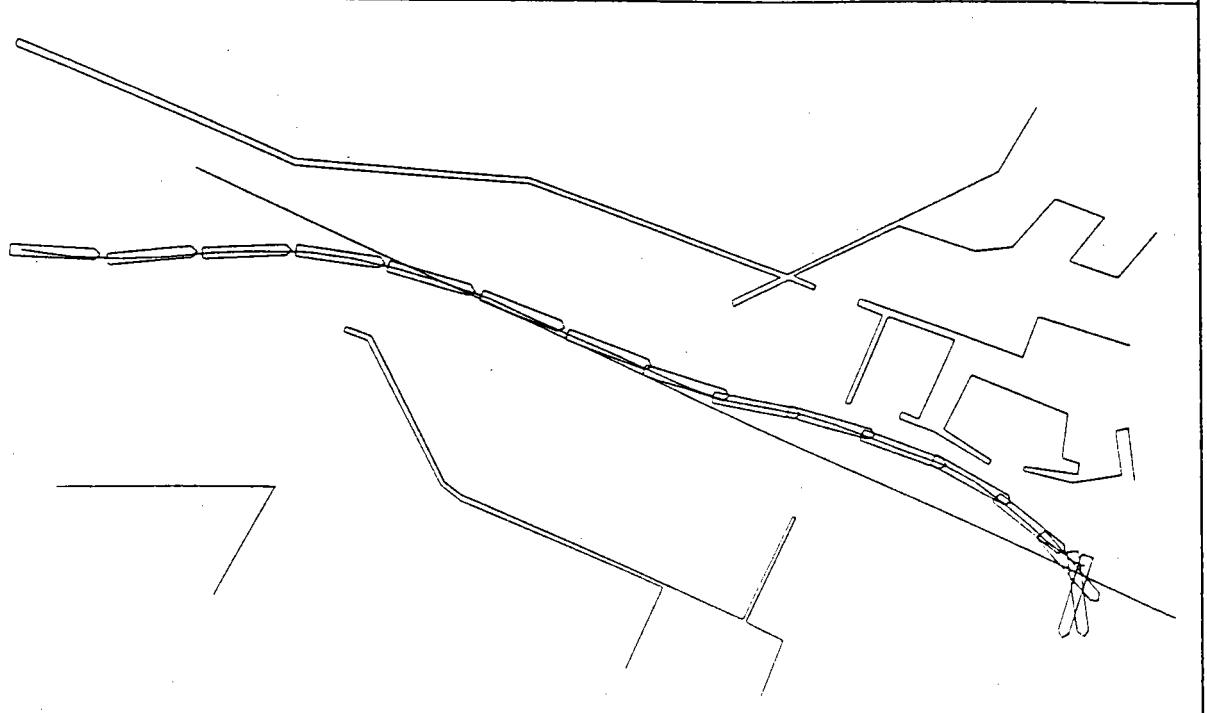


台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西進港
備註：		

圖5-10-7c　大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡

N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:D-6	FIGURE：

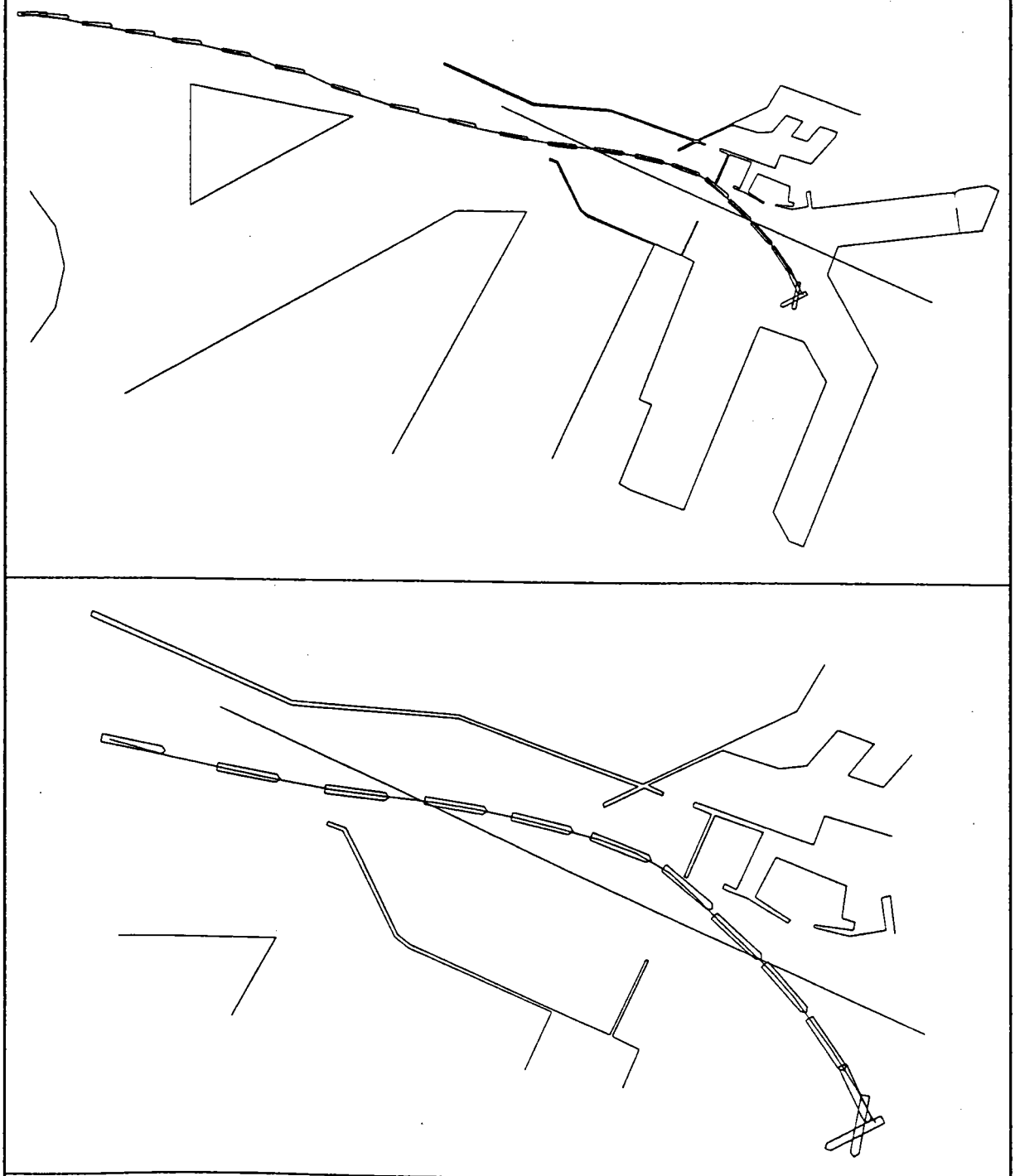




台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西進港
備註：		

圖5-10-7d　大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡

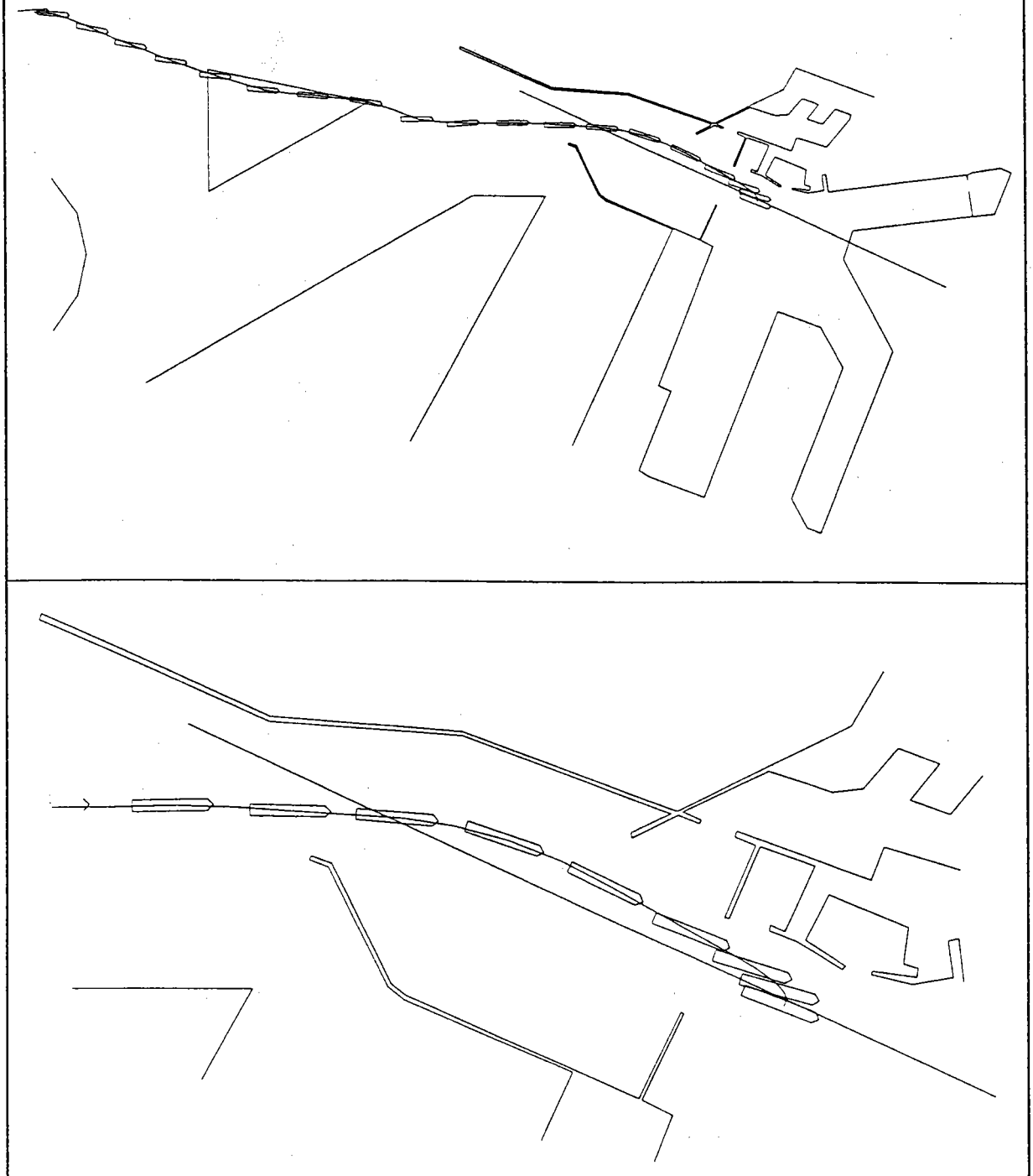
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:D-7	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西進港
備註：		

圖5-10-7e　大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡

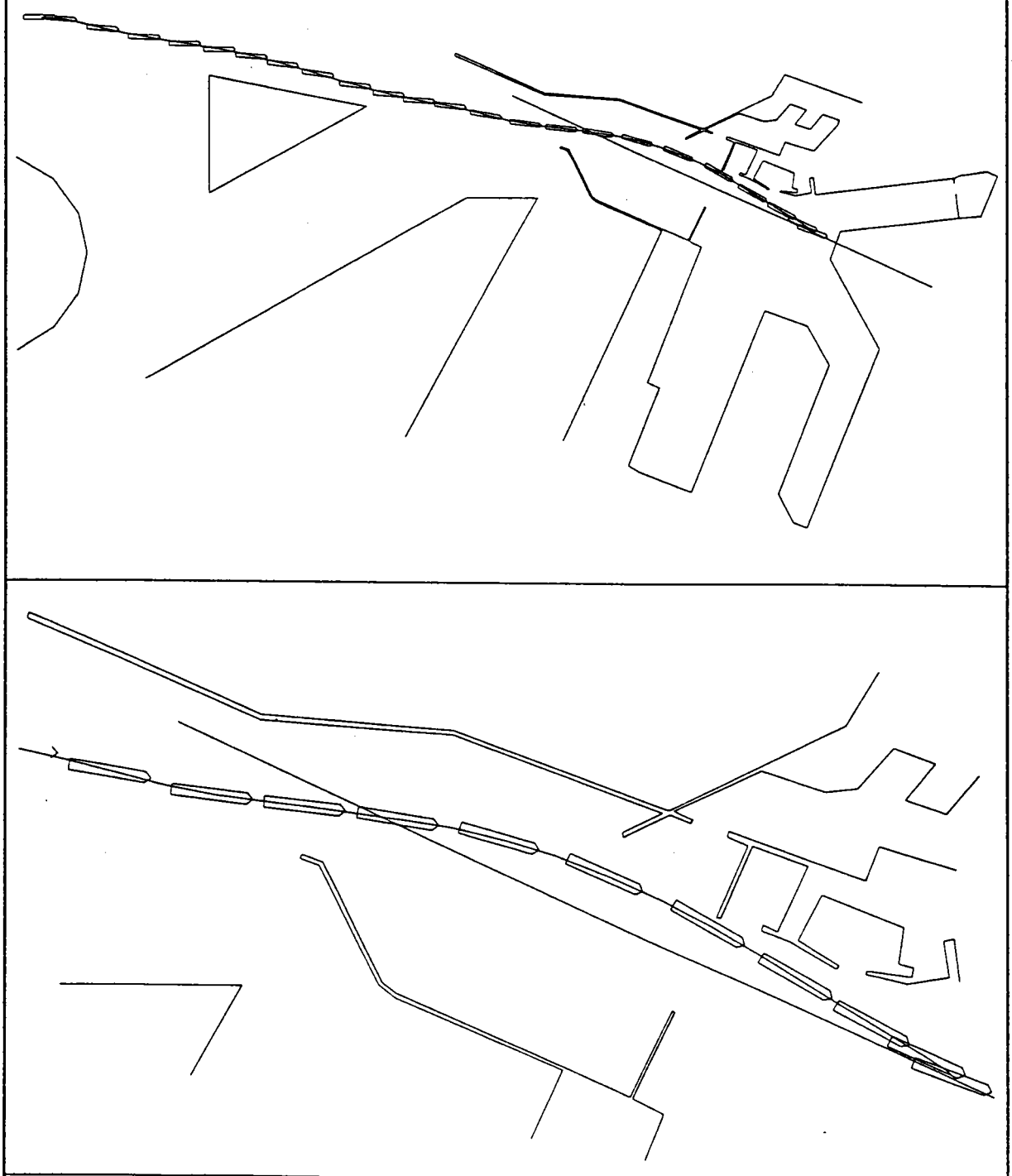
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No：A-21	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CONT
風速：045/ 50 Kn	海況：045/ 6	順流 西進港
備註：		

圖5-10-8a　大型貨櫃輪90度航向順流模擬操航航跡

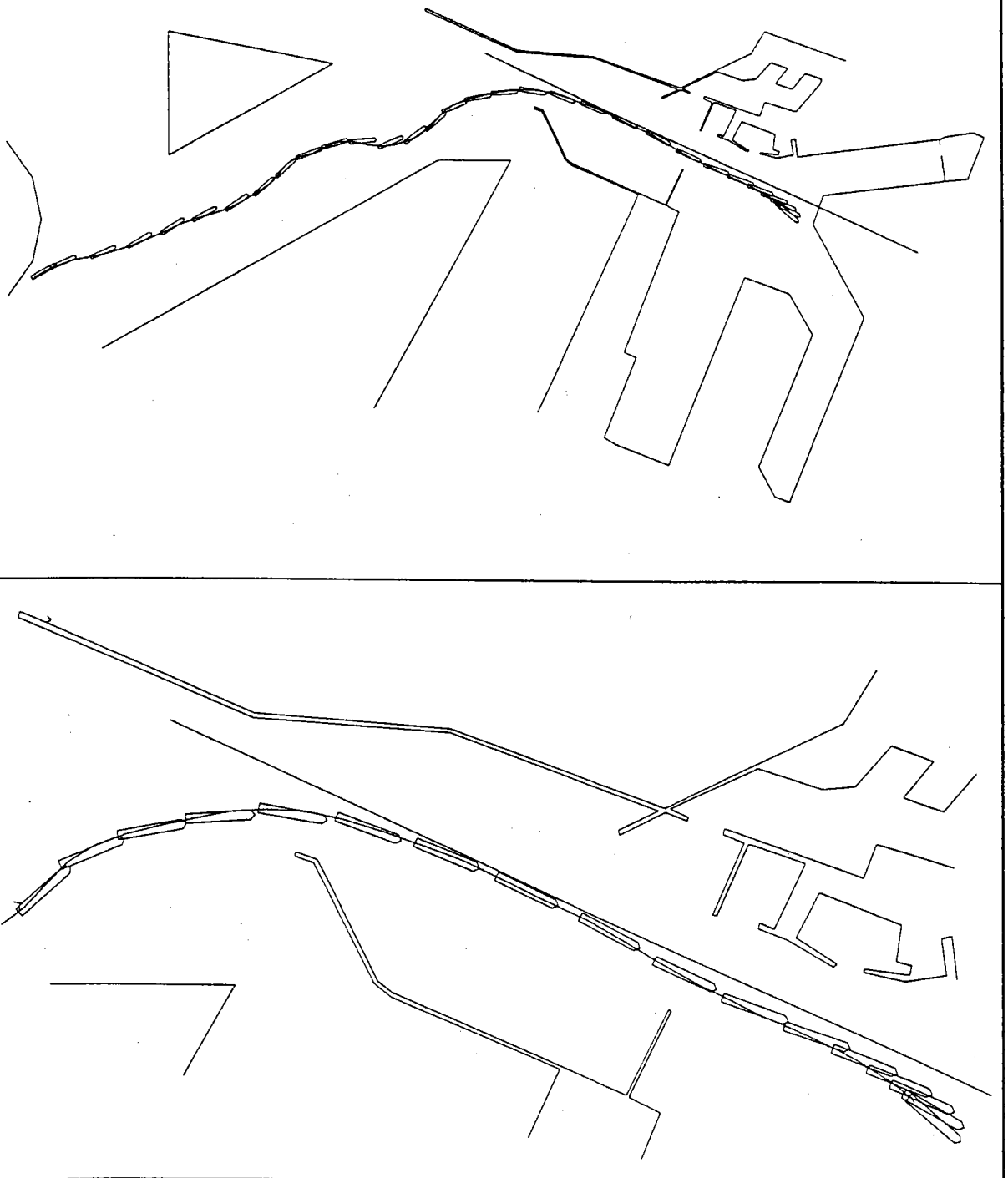
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:D-19	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CONT
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西進港
備註：		

圖5-10-8b　大型貨櫃輪90度航向頂流模擬操航航跡

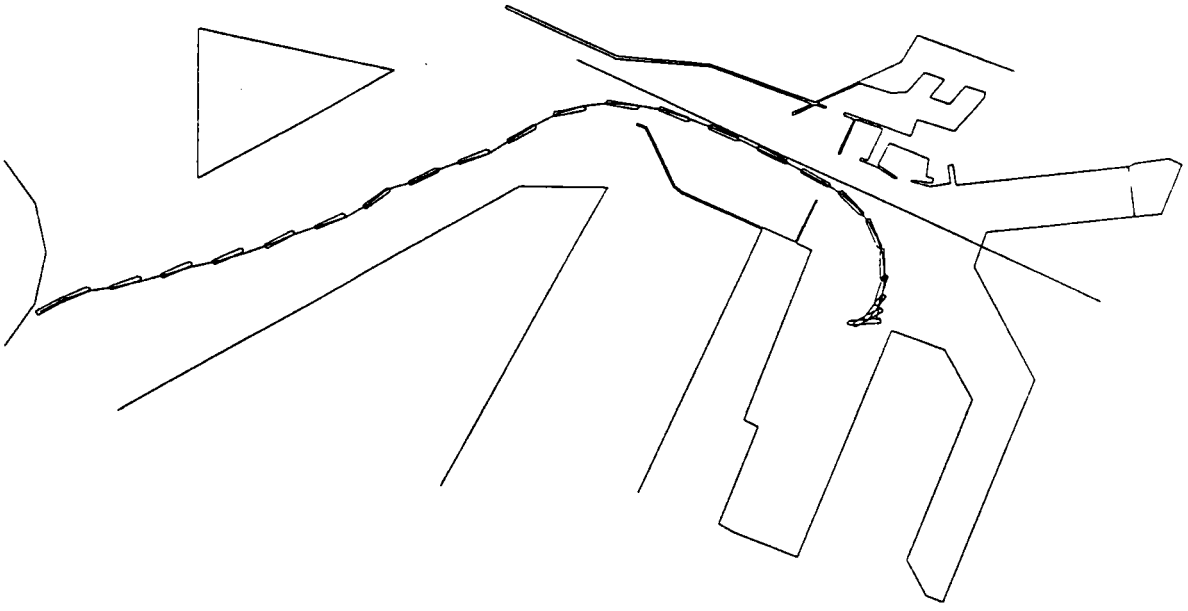
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:B-18	FIGURE：

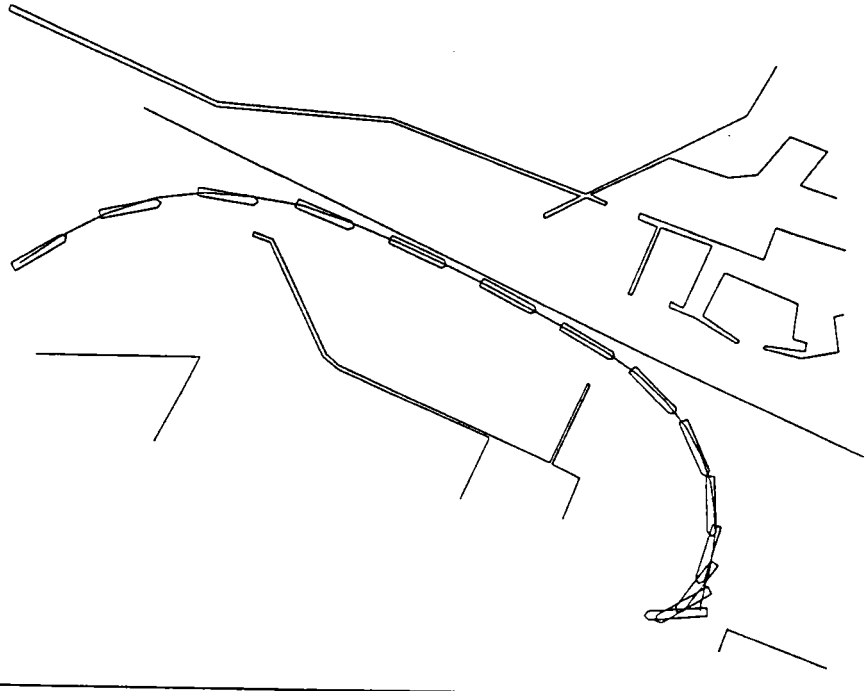


台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西南進港
備註：		

圖5-10-9a　大型散裝貨輪60度航向順流模擬操航航跡

N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:B-21	FIGURE：

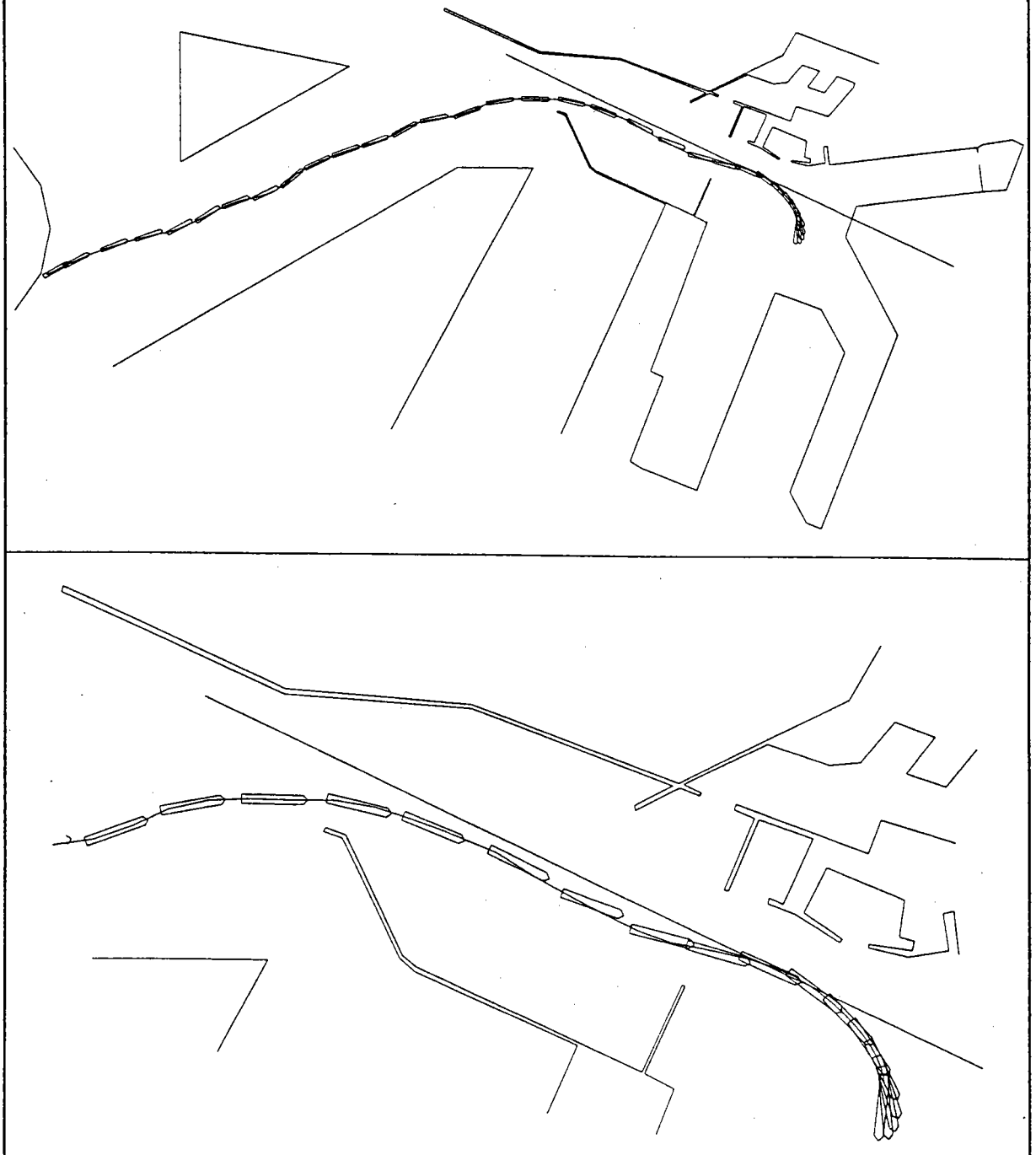




台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：225/ 33 Kn	海況：225/ 4	順流 西南進港
備註：		

圖5-10-9b　大型散裝貨輪60度順流模擬操航航跡

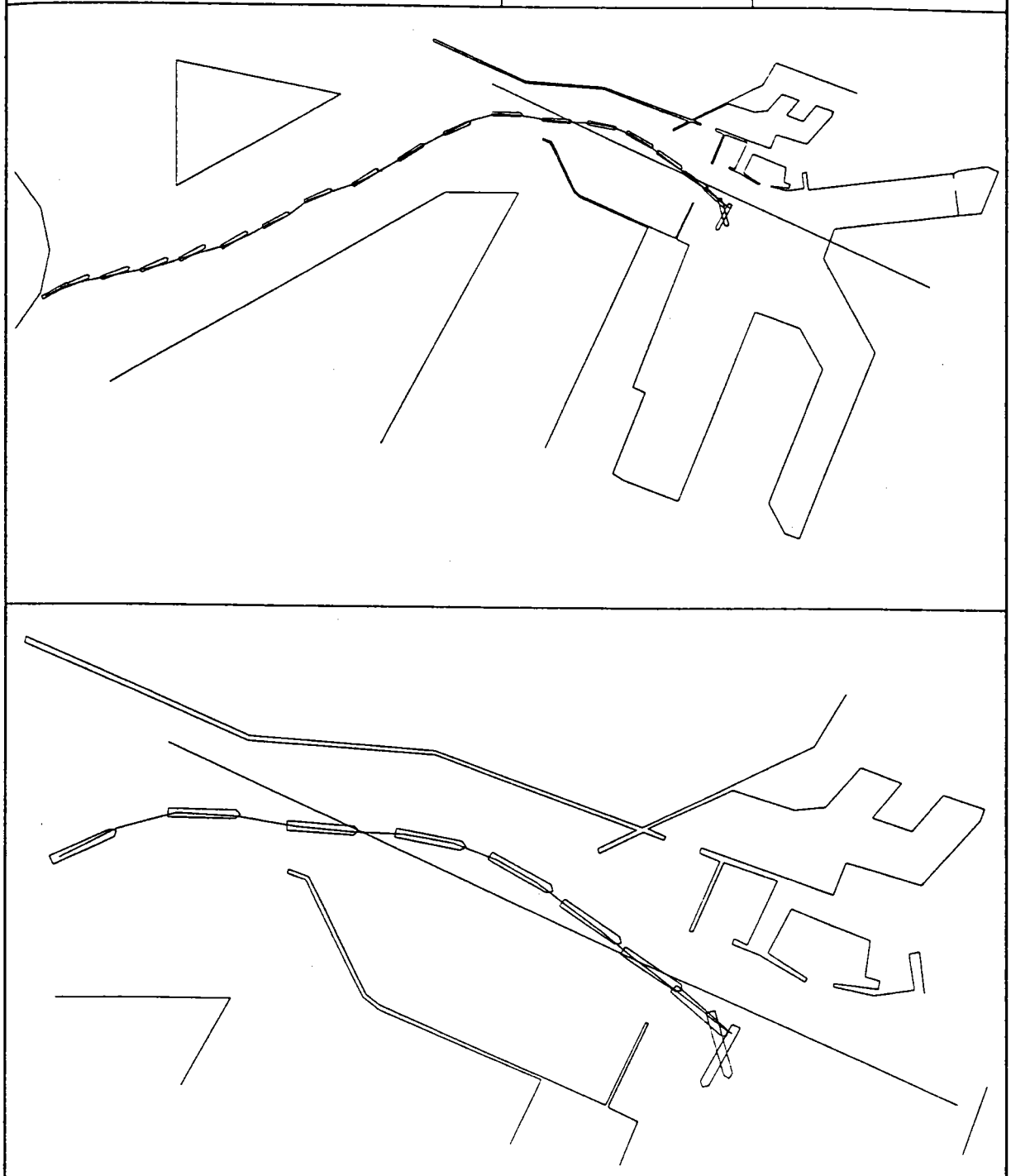
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-13	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		散裝貨輪 BULK
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-9c　大型散裝貨輪60度頂流模擬操航航跡

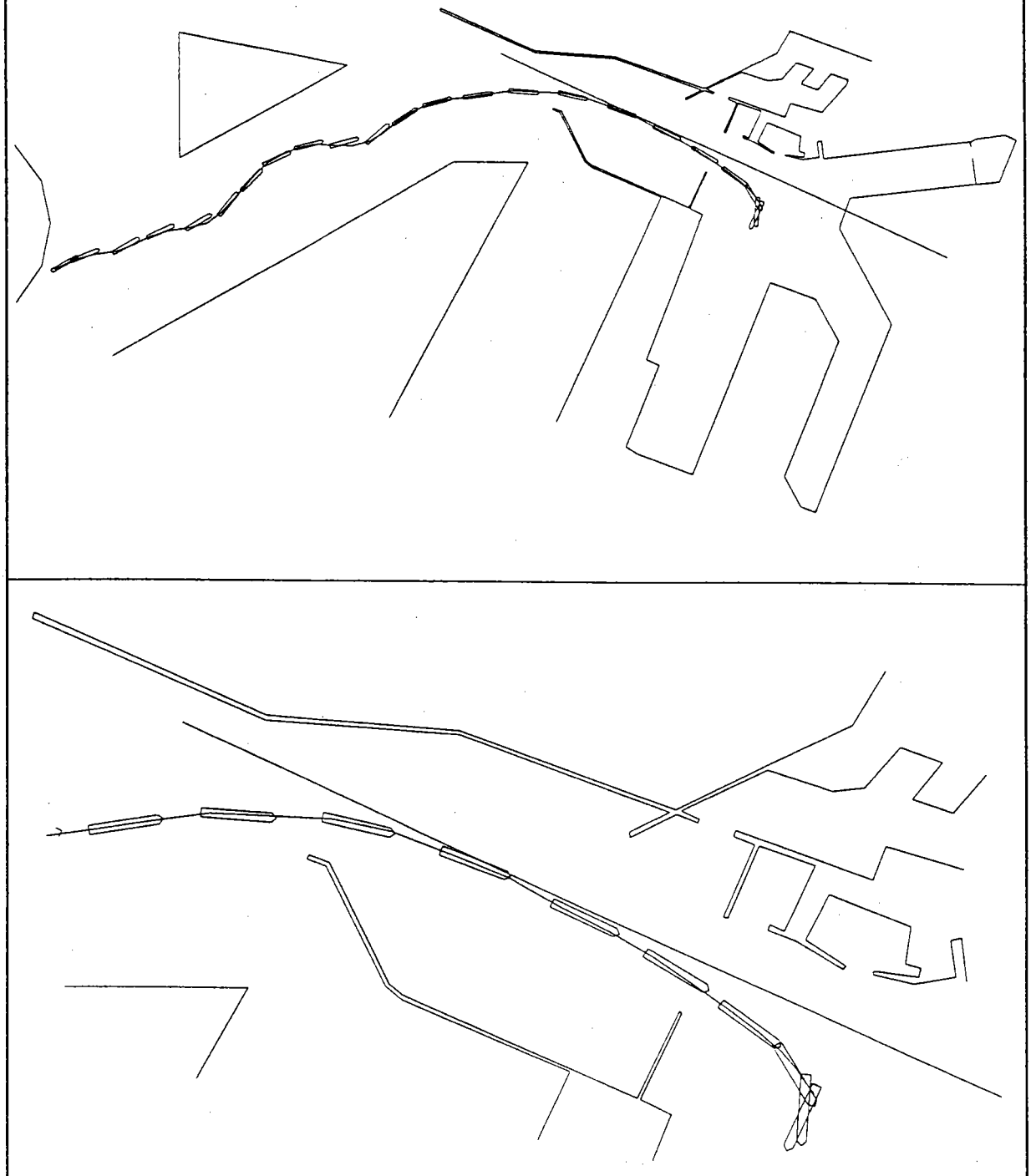
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:B-4	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西南進港
備註：		

圖5-10-10a　大型貨櫃輪60度航向順流模擬操航航跡

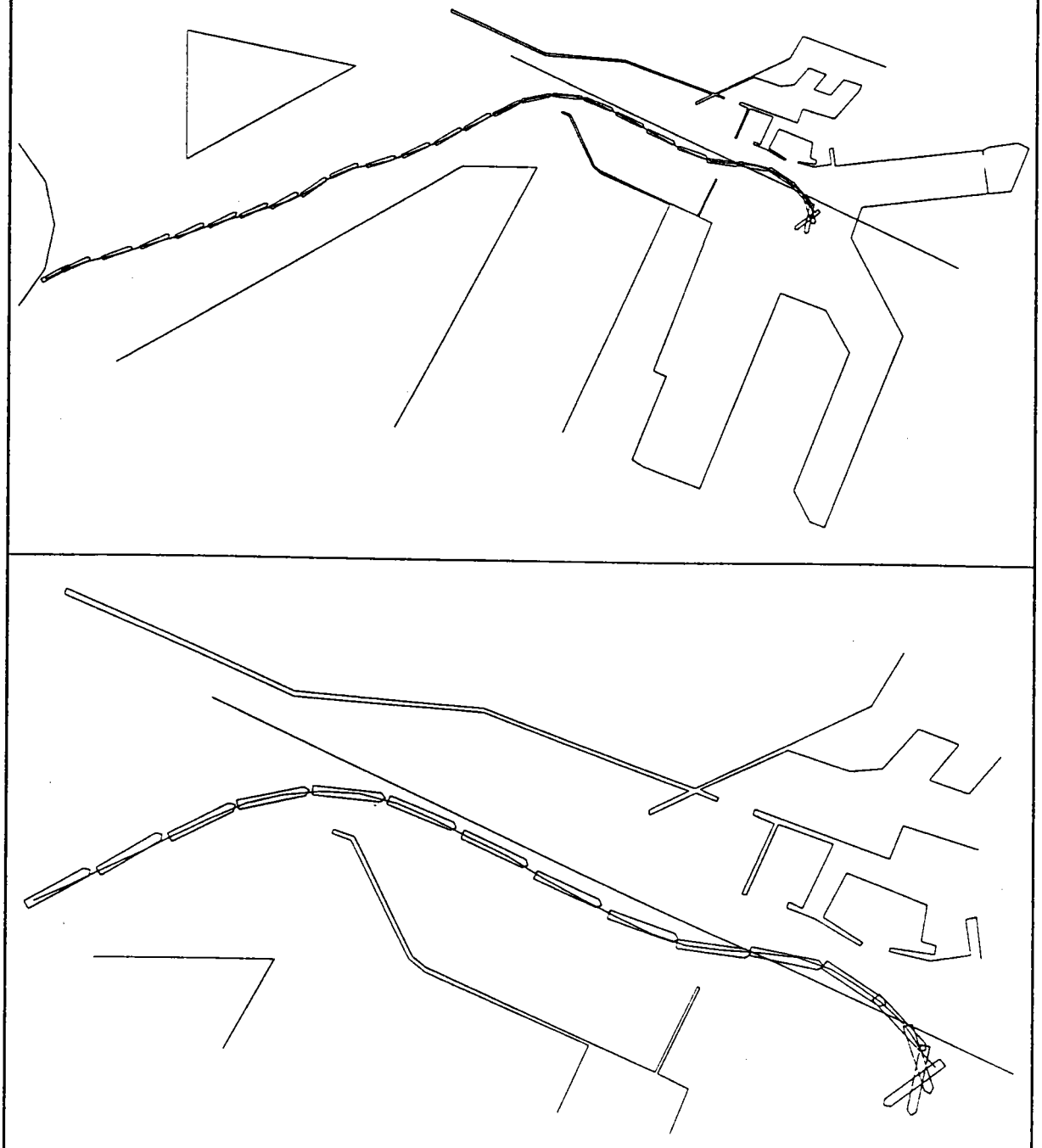
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:B-3	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：045/ 40 Kn	海況：045/ 6	順流 西南進港
備註：		

圖5-10-10b　大型貨櫃輪60度航向順流模擬操航航跡

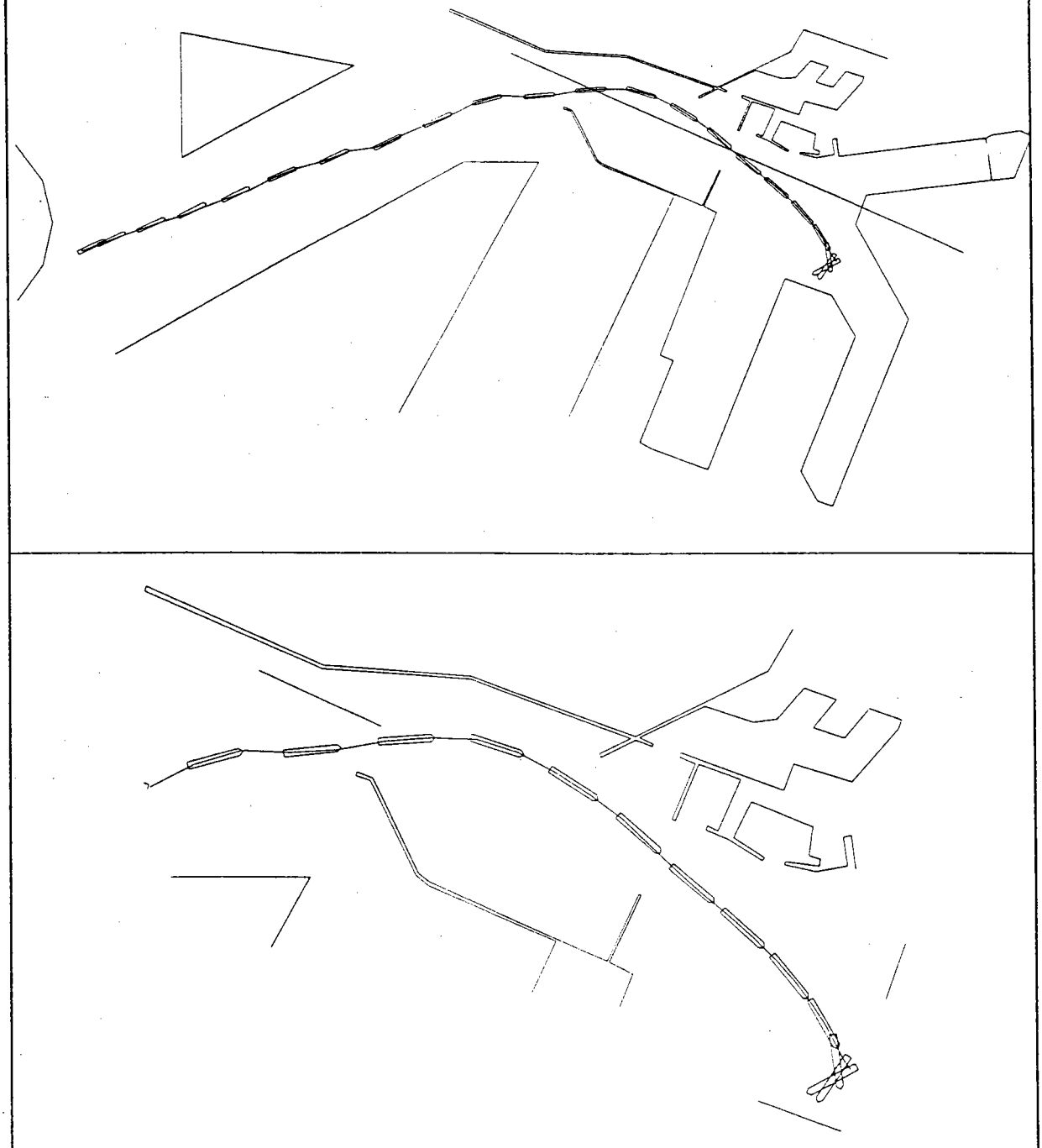
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-4	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-10c 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡

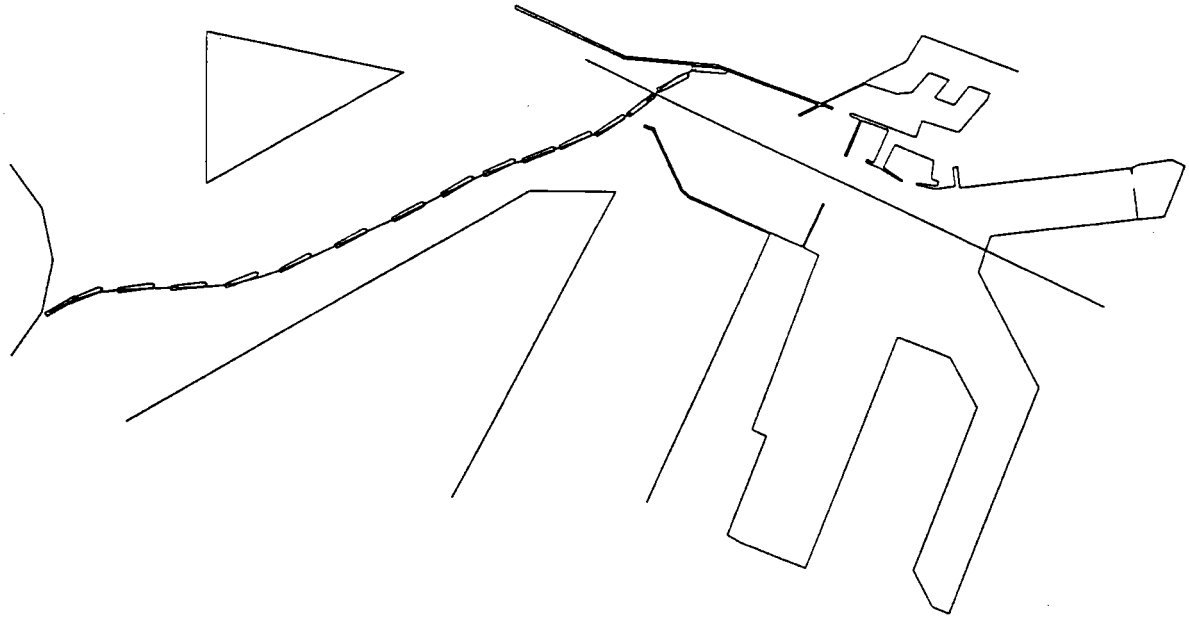
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-8	FIGURE：

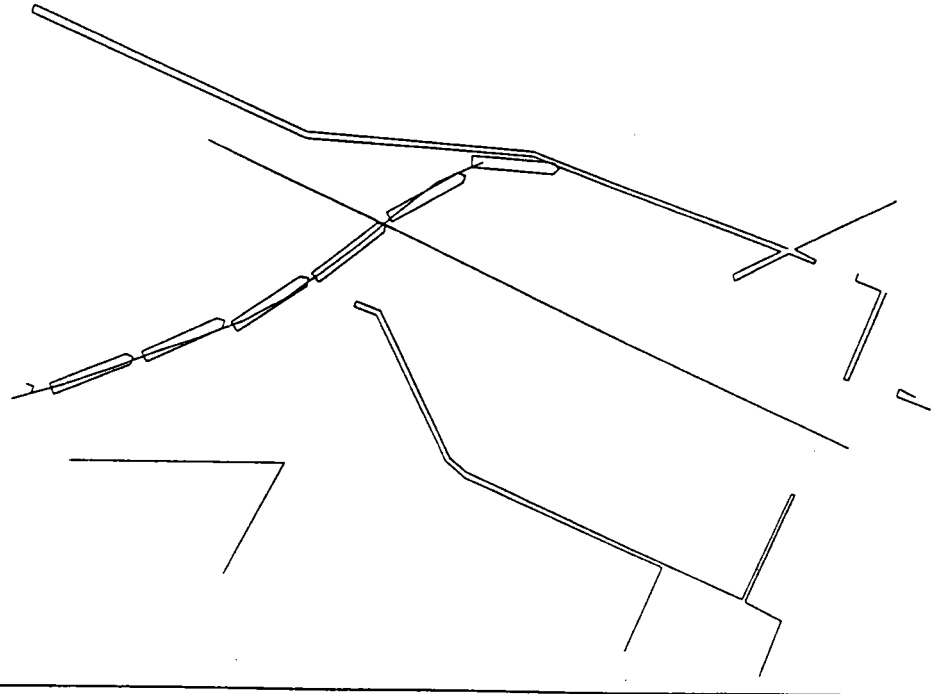


台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-10d　大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡

N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-7	FIGURE：

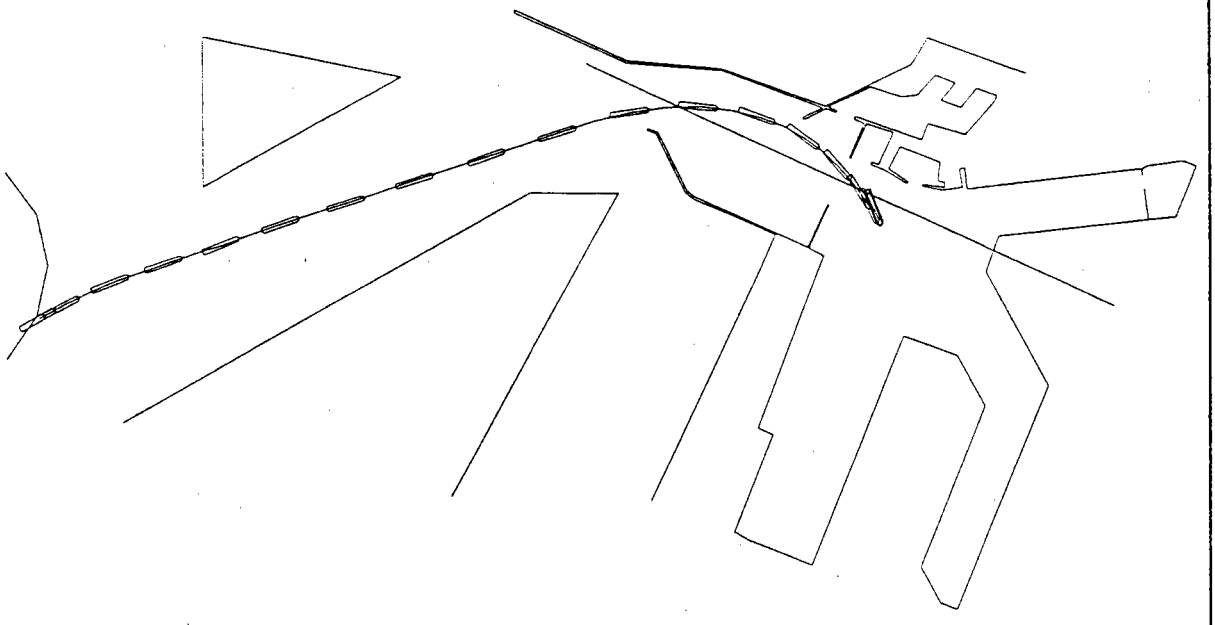


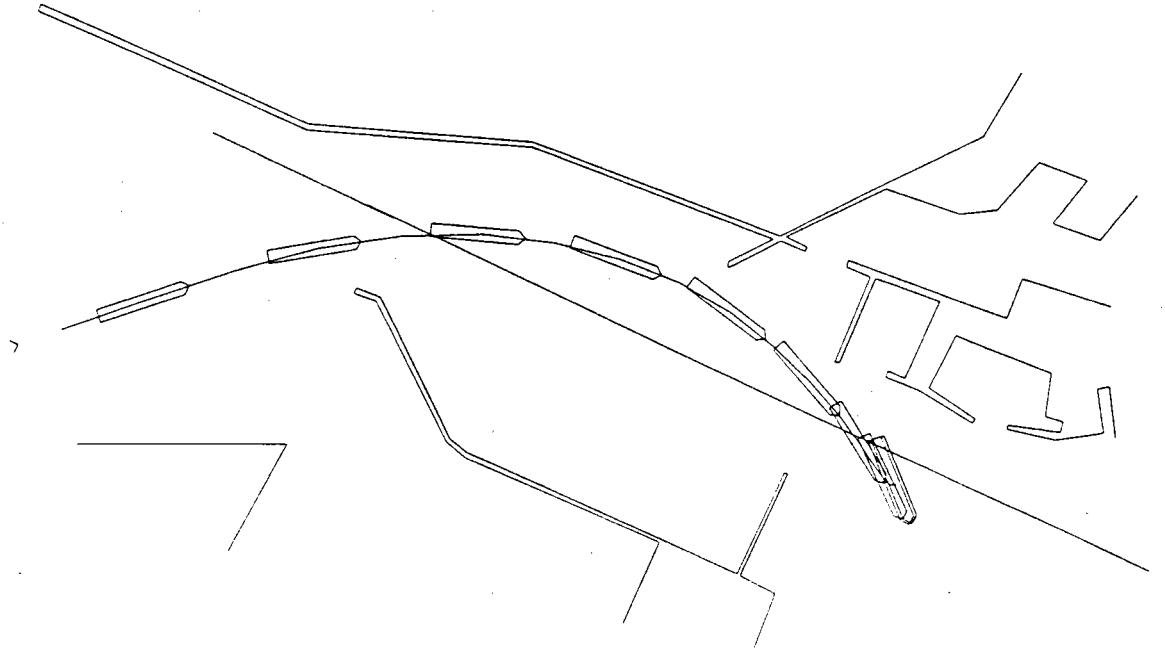


台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CON4
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-10e 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡

N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:B-24	FIGURE：

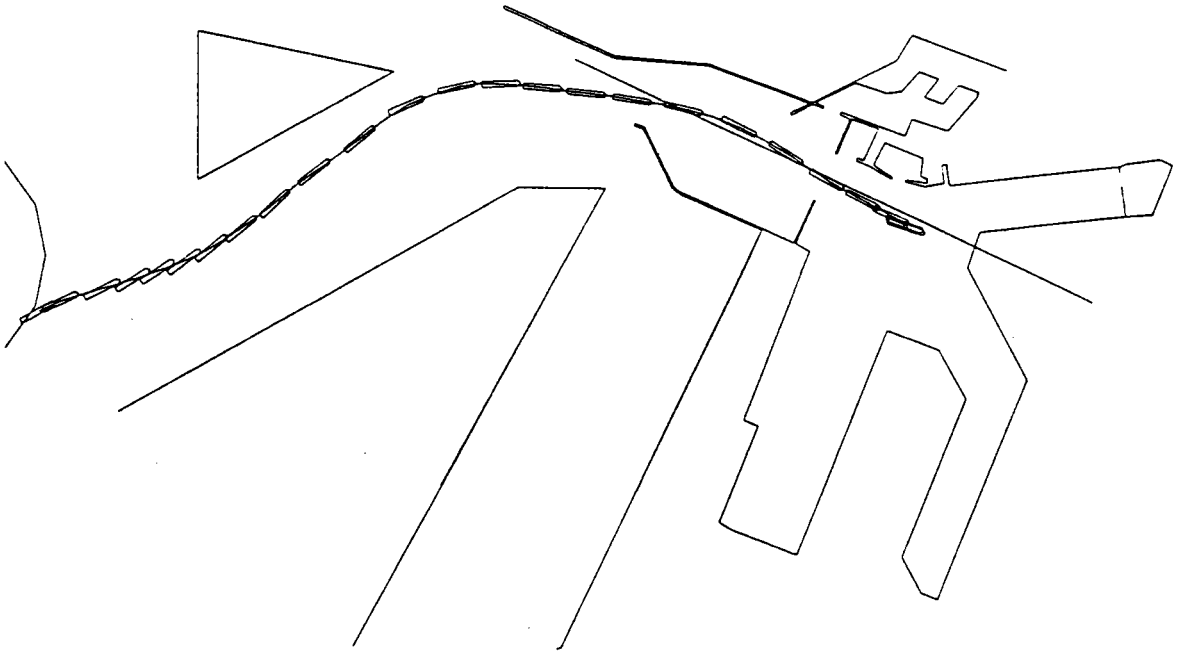


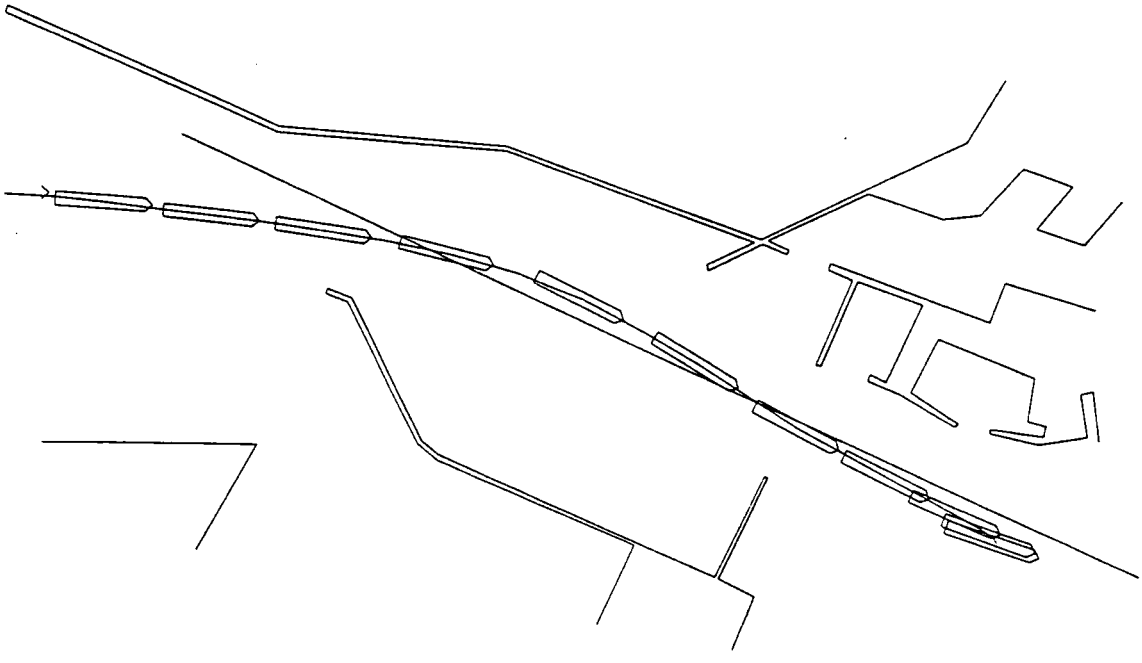


台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CONT
風速：225/ 33 Kn	海況：225/ 4	順流 西南進港
備註：		

圖5-10-11a　大型貨櫃輪60度航向順流模擬操航航跡

N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-19	FIGURE：

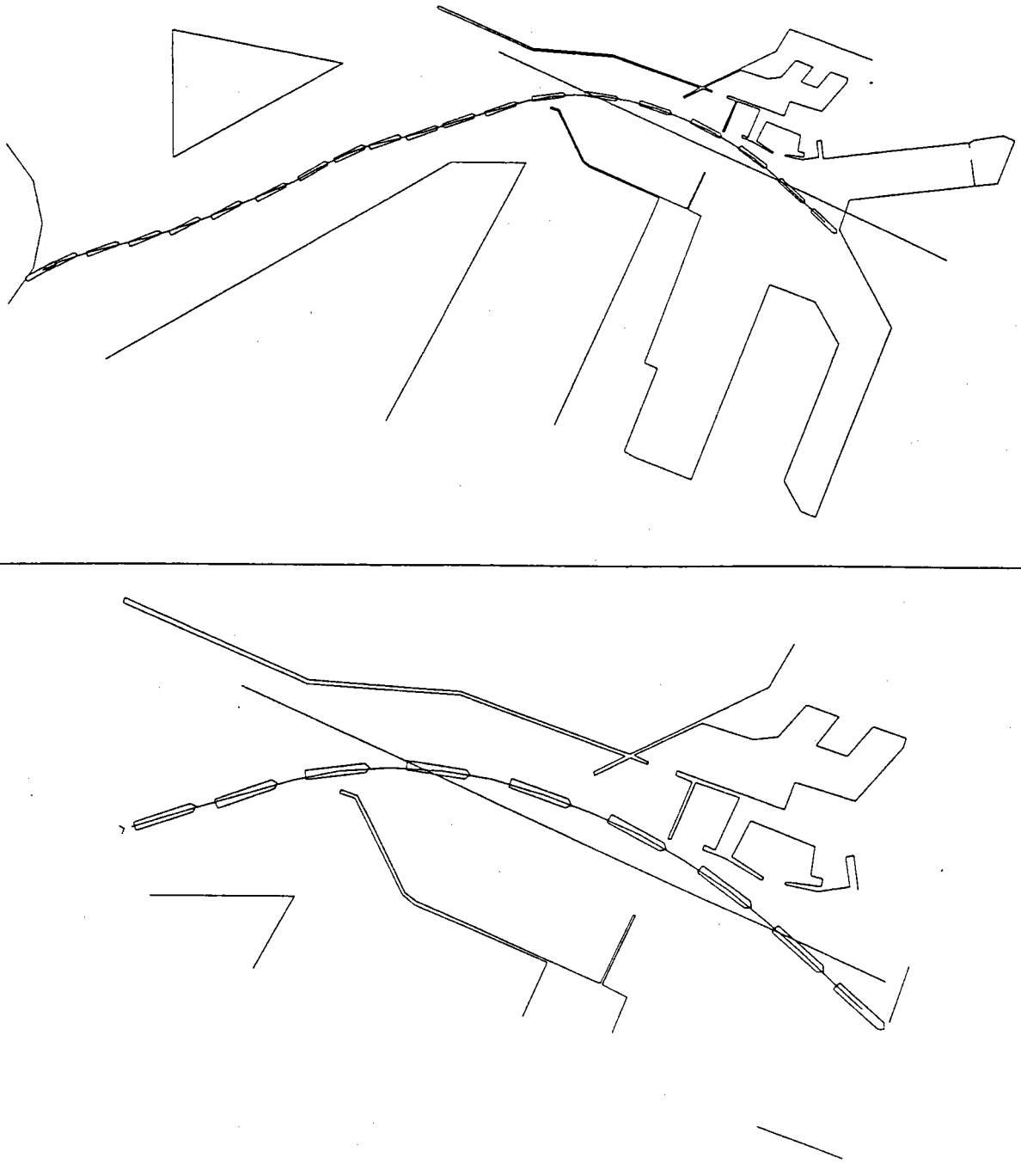




台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CONT
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-11b 大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡

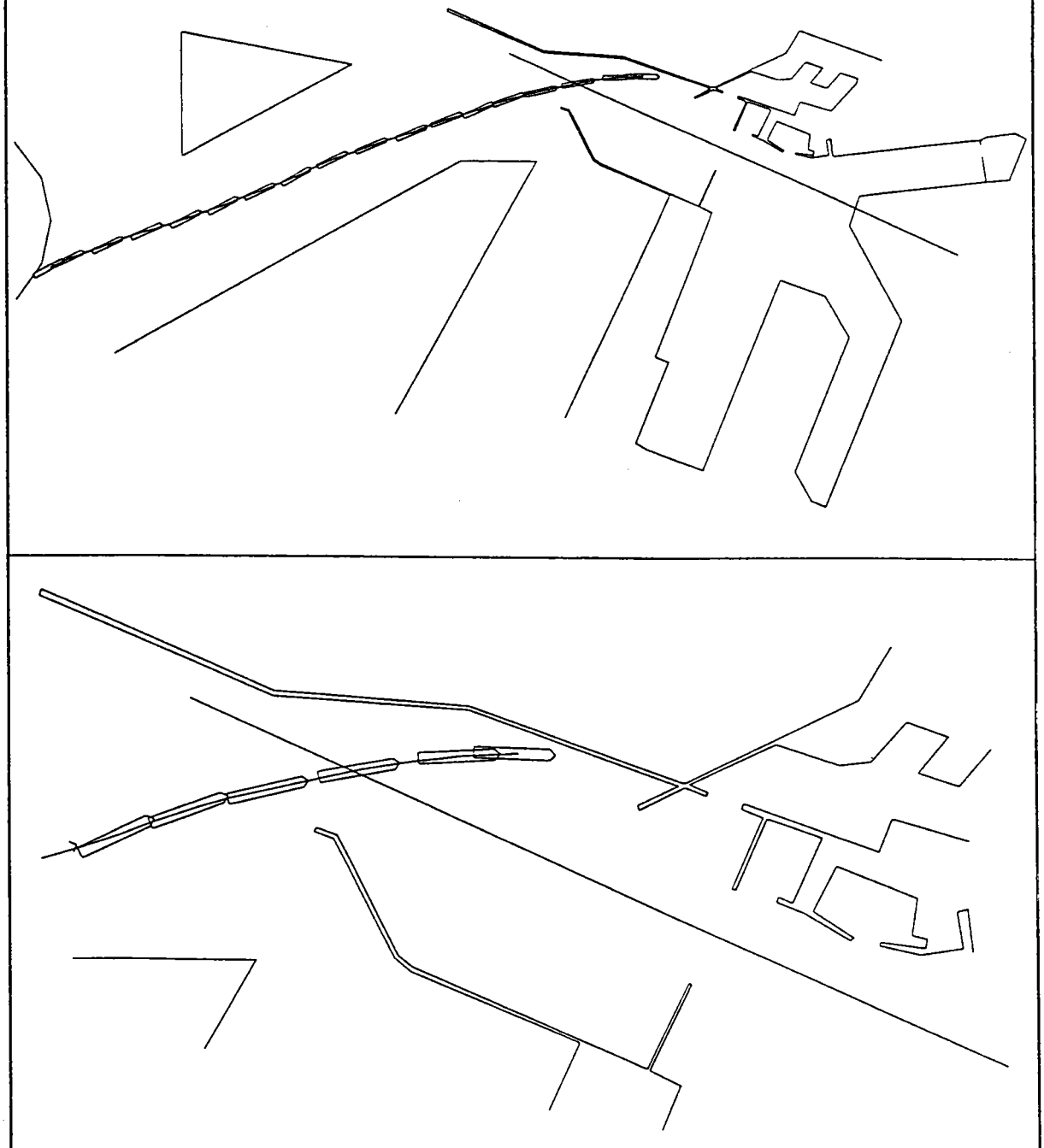
N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-20	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CONT
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-11c　大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡

N.T.O.U. SHIP HANDLING SIMULATOR	RUN No:E-18	FIGURE：



台中港大型船舶進出港操船安全評估		貨櫃輪 CONT
風速：023/ 40 Kn	海況：023/ 6	頂流 西南進港
備註：		

圖5-10-11d　大型貨櫃輪60度航向頂流模擬操航航跡

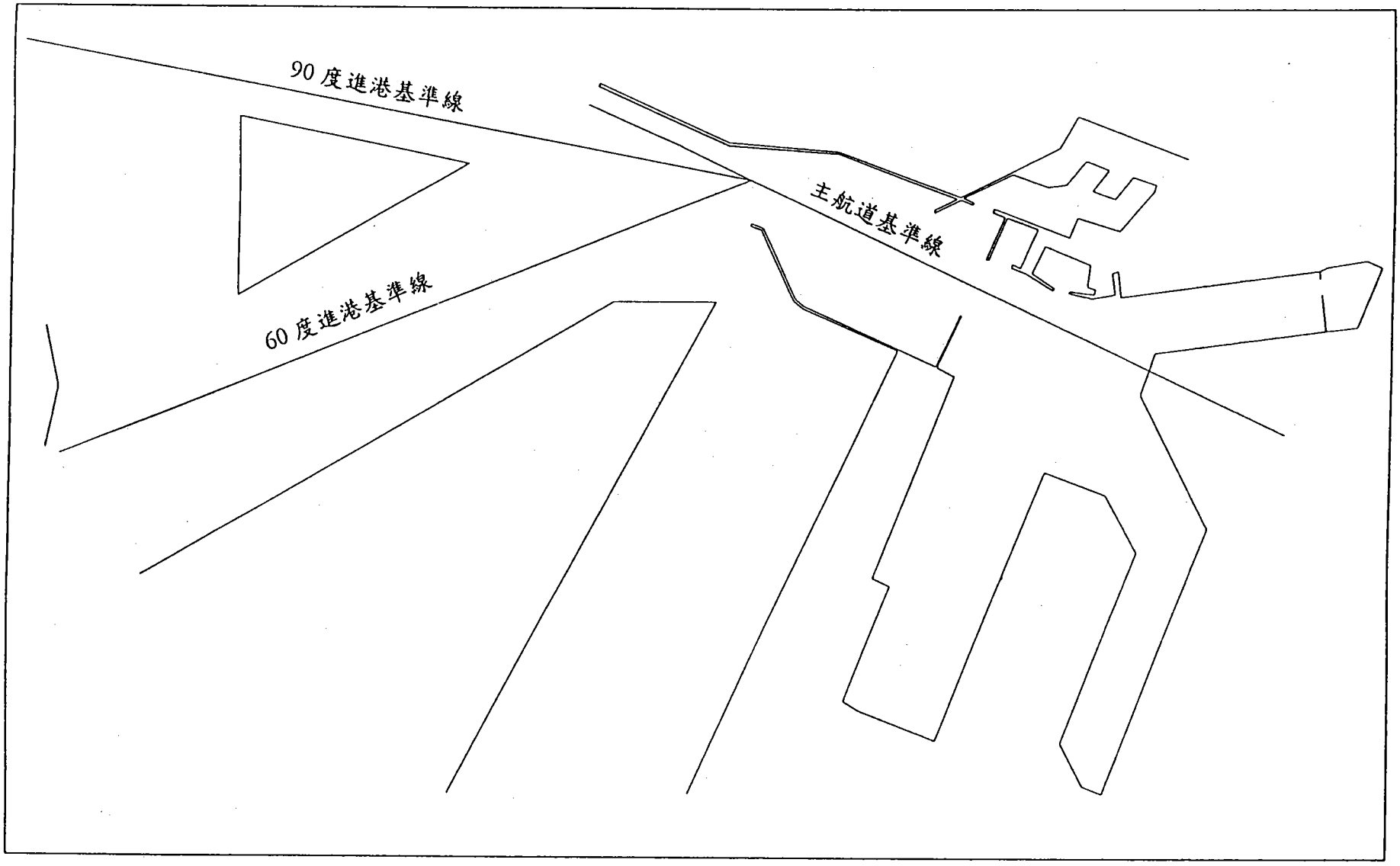


圖5-10-12a 船舶直接進出港操船資料分析之基準線設定

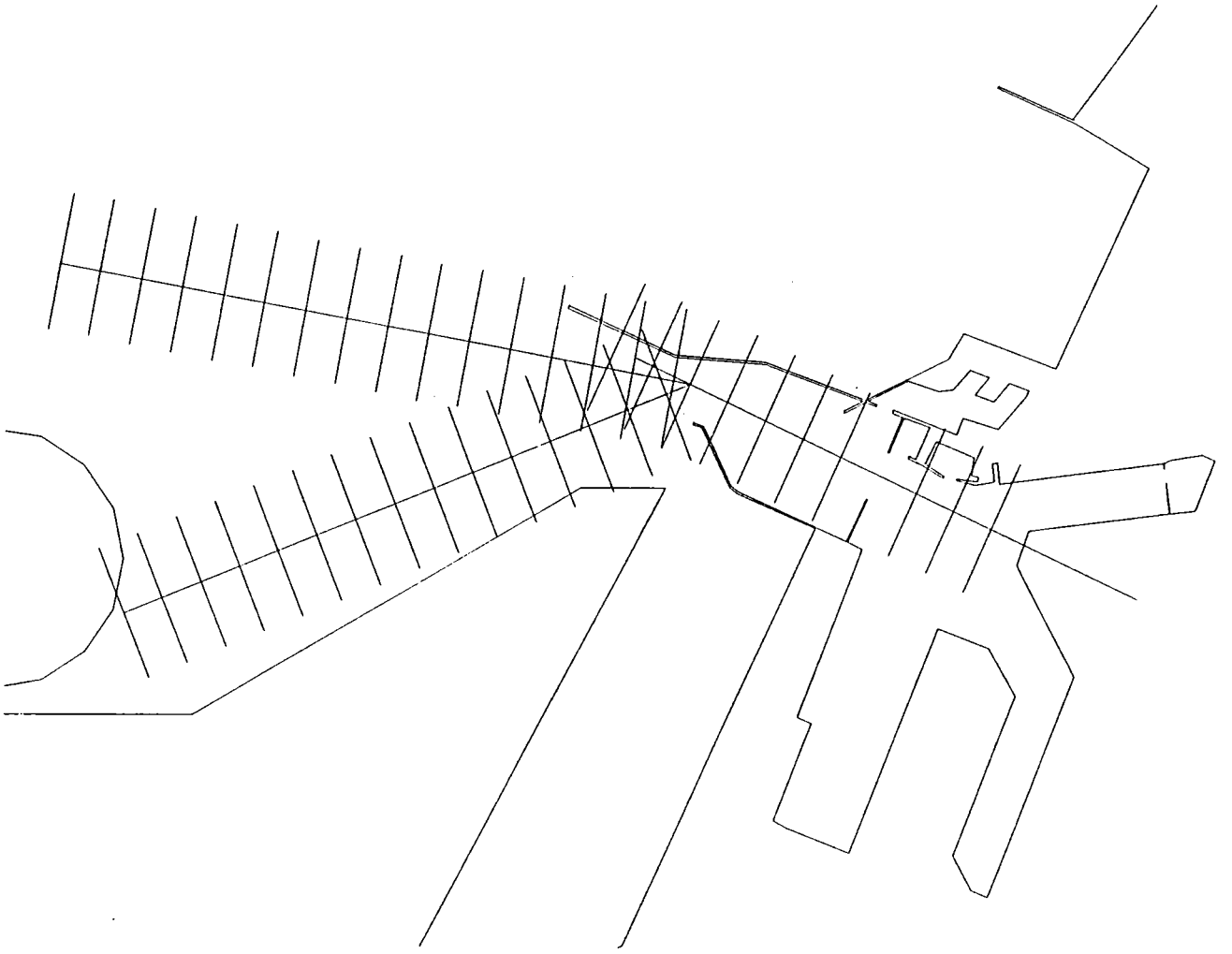


圖5-10-12b 船舶直接進出港操船資料分析之門線設定

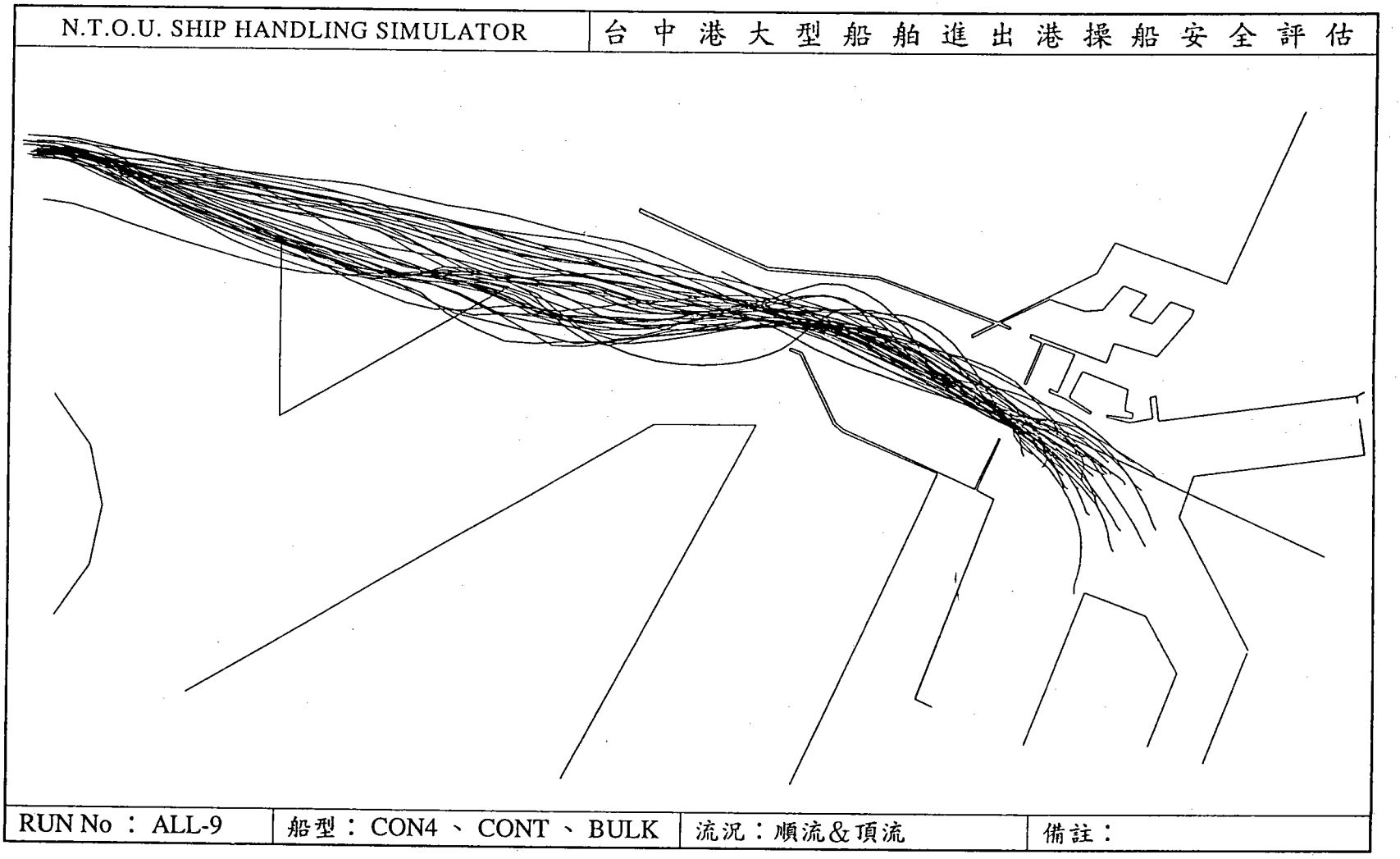


圖5-10-13　90度進港模擬操船之總航跡

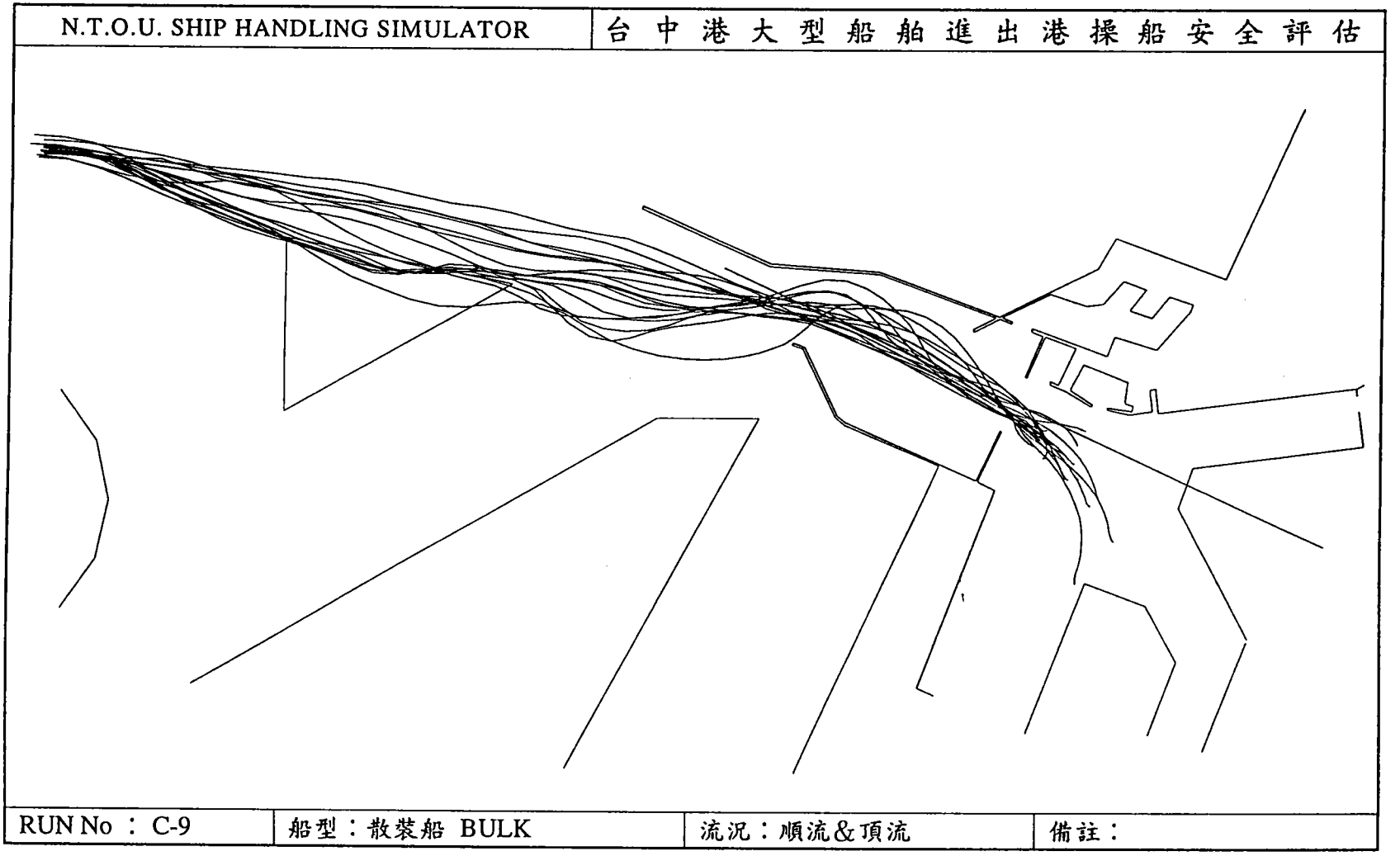


圖5-10-14　90度進港之巴拿馬極限型散裝船航跡

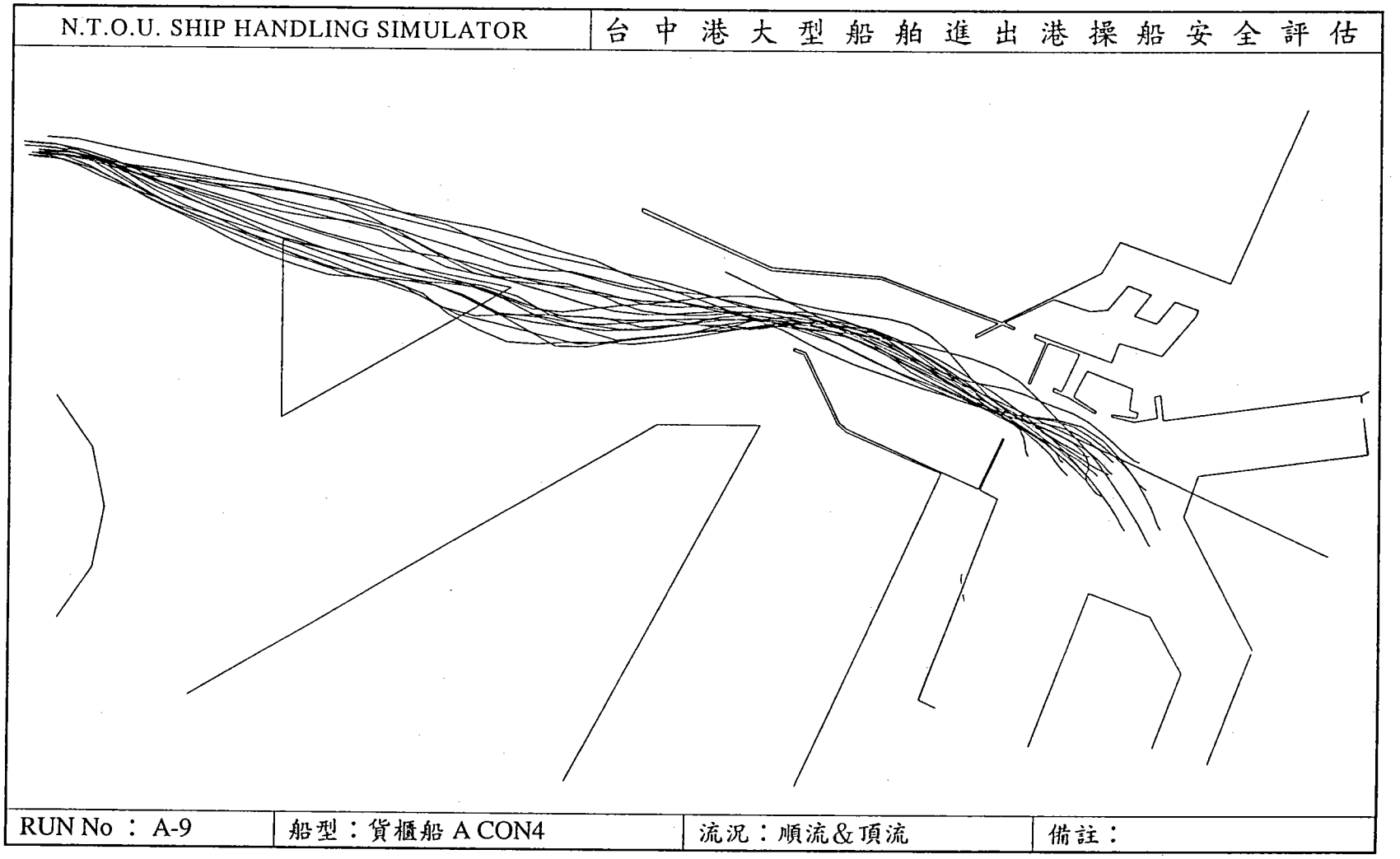


圖5-10-15　90度進港之3,000TEU貨櫃船航跡

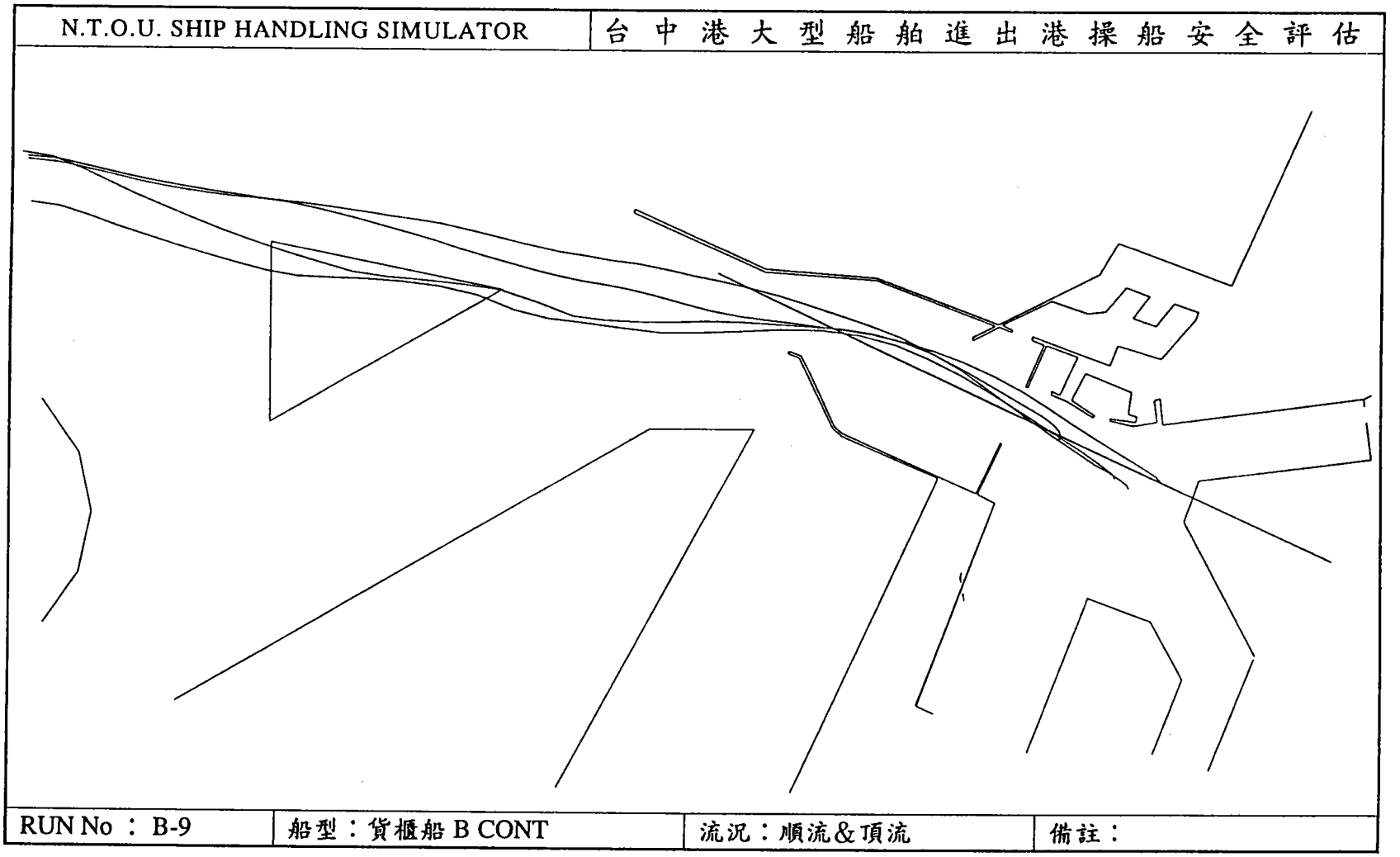


圖5-10-16　90度進港之4,000TEU貨櫃船航跡

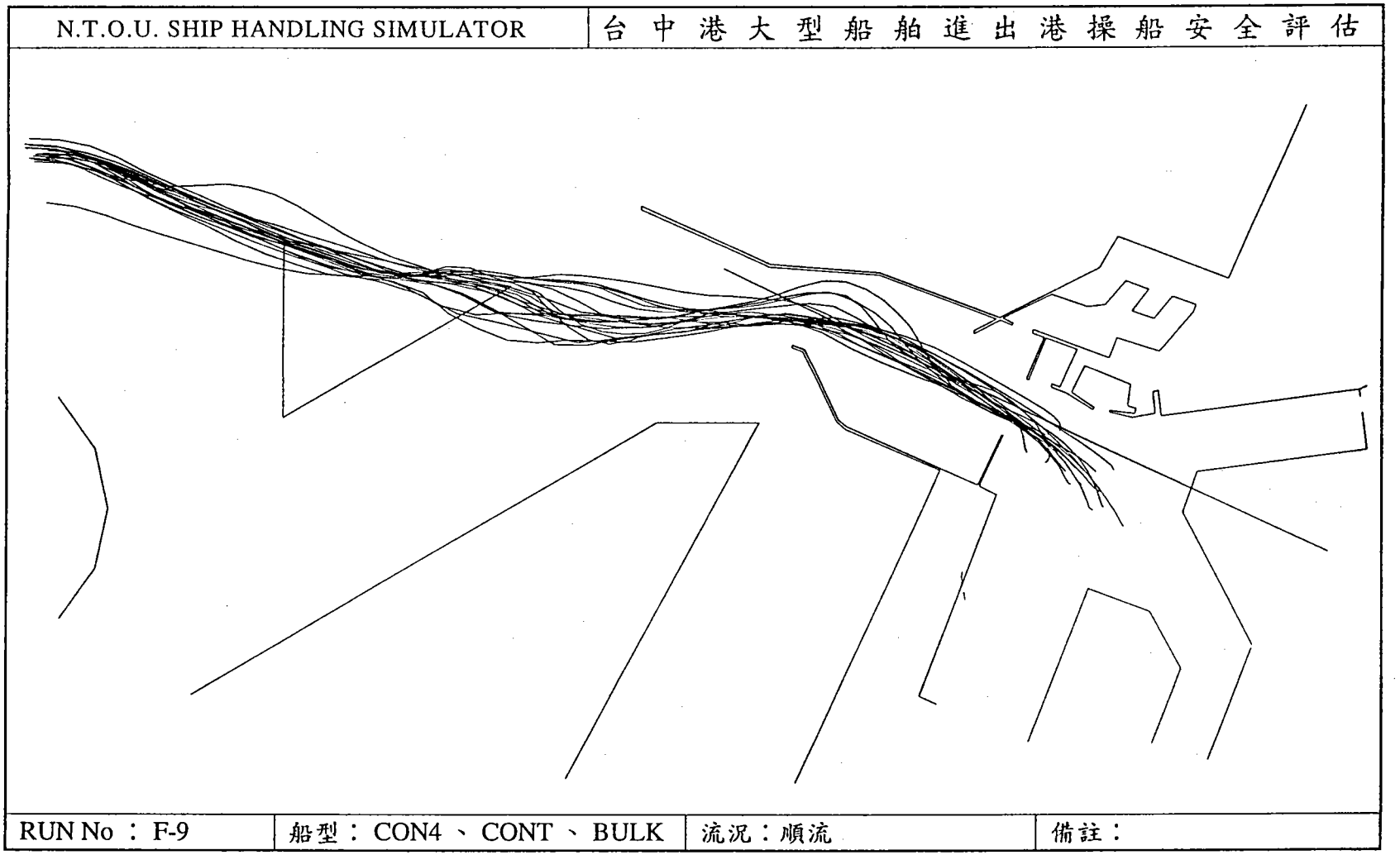


圖5-10-17　90度進港之漲潮順流航跡

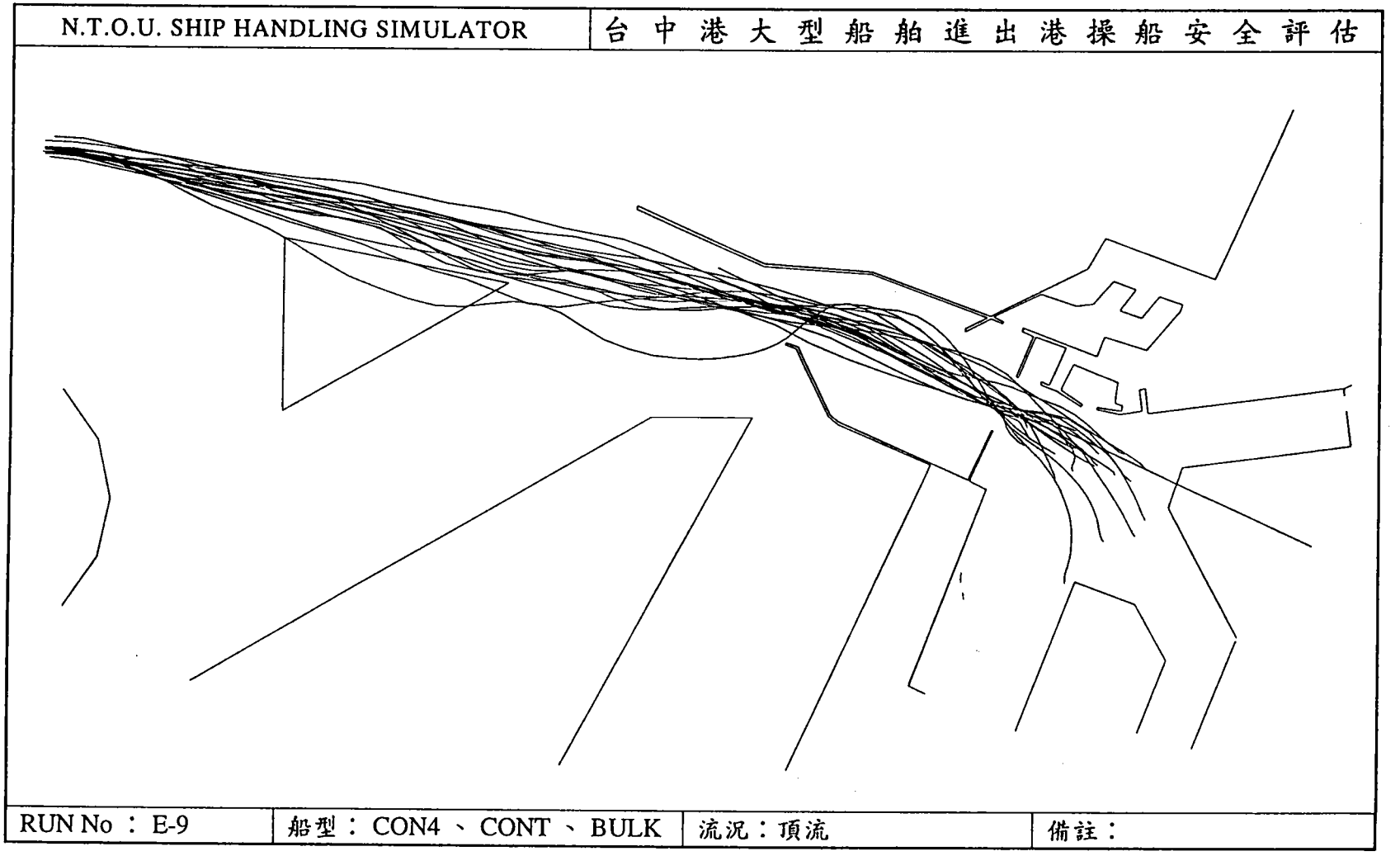


圖5-10-18　90度進港之退潮頂流航跡

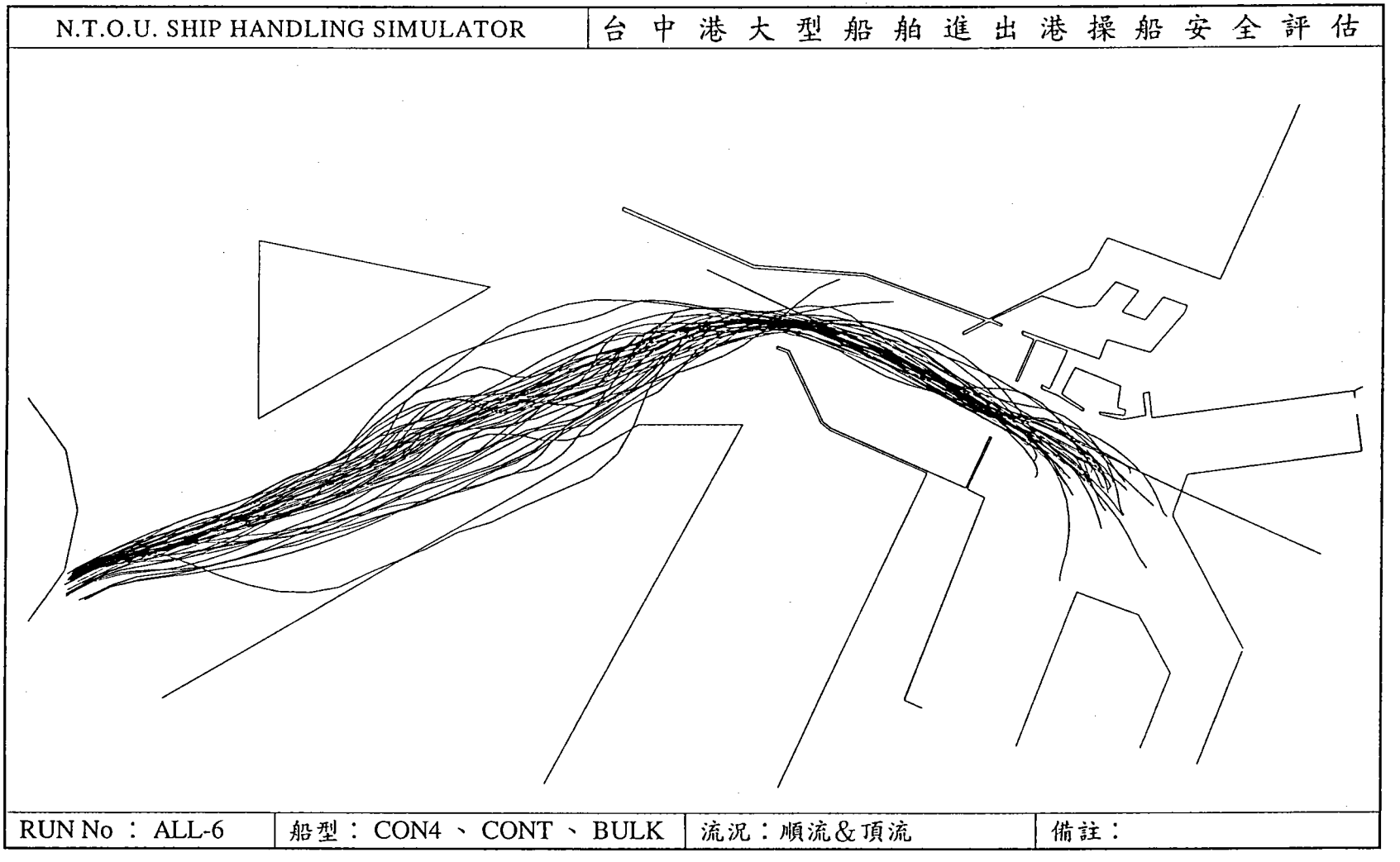


圖5-10-19　60度進港模擬操船之總航跡

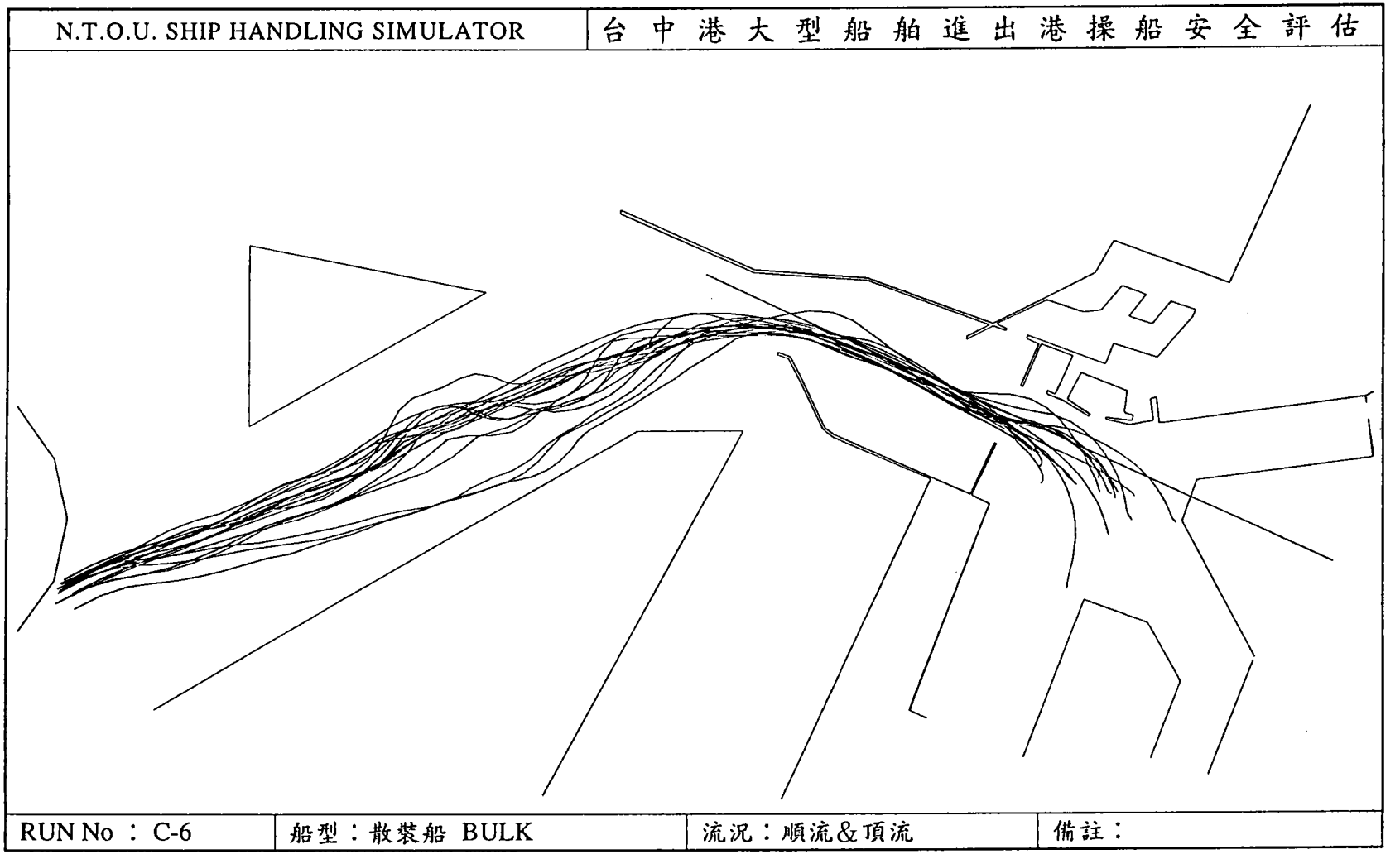


圖5-10-20　60度進港之巴拿馬極限型散裝船航跡

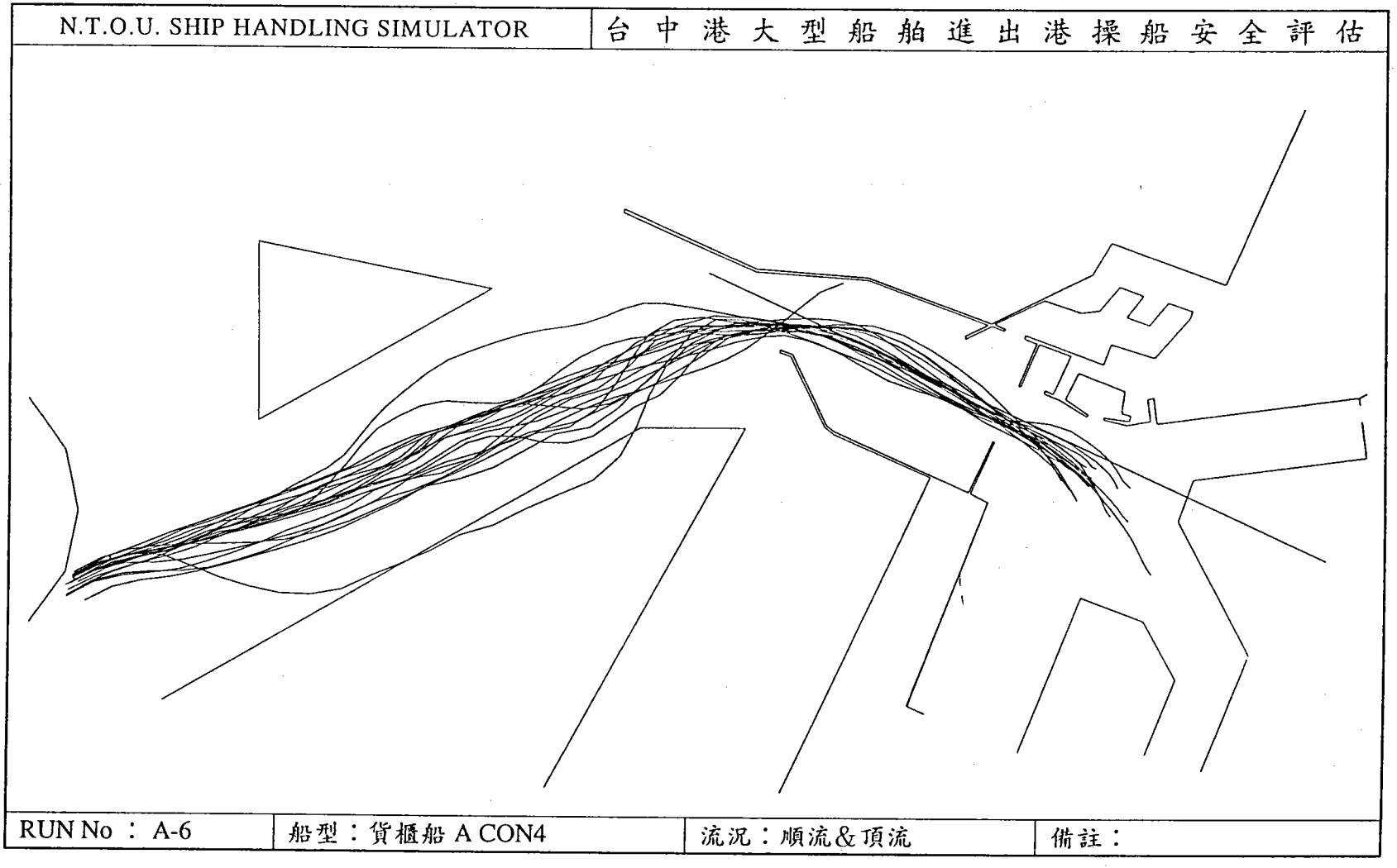


圖5-10-21　60度進港之3,000TEU貨櫃船航跡

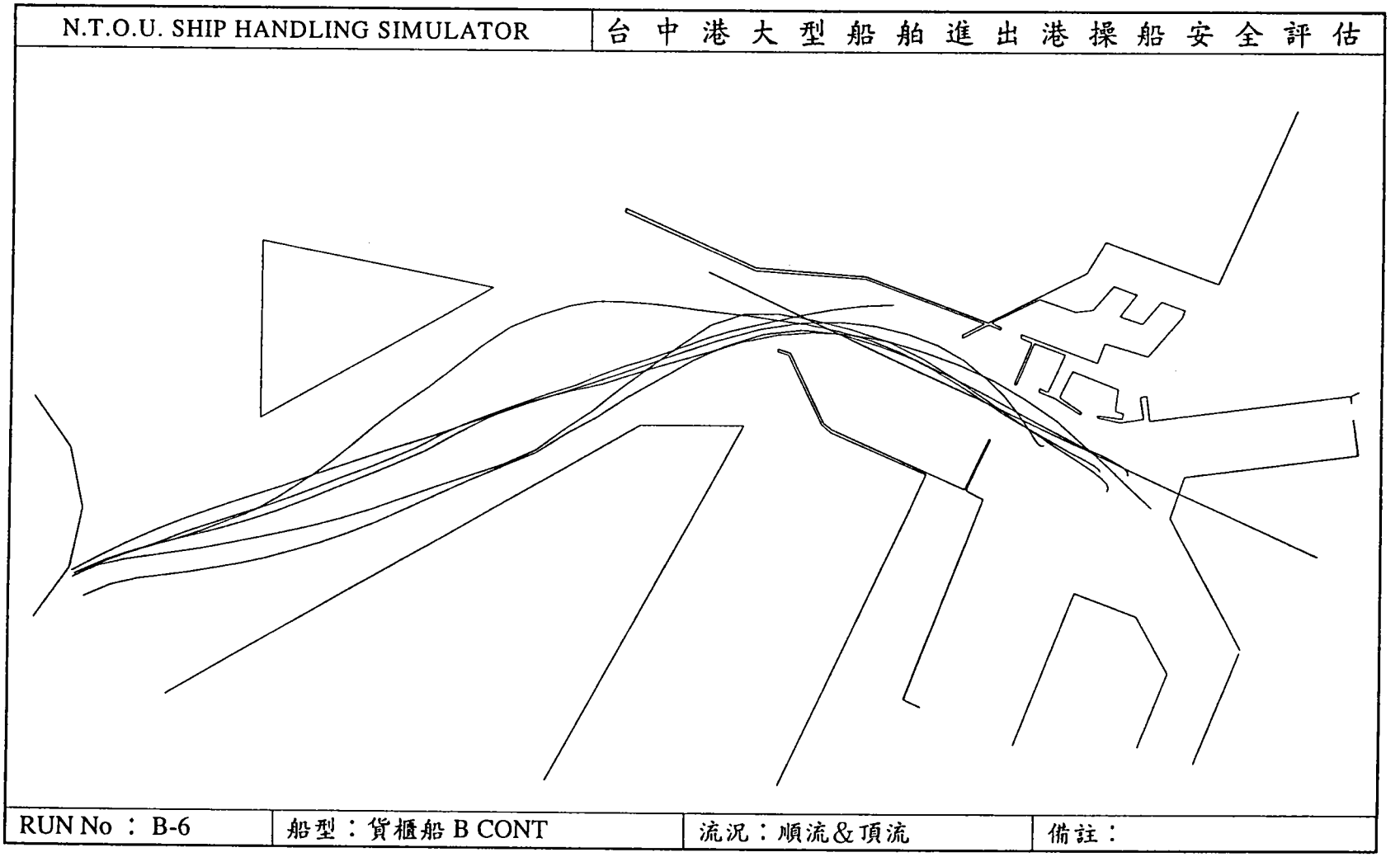


圖5-10-22　60度進港之4,000TEU貨櫃船航跡

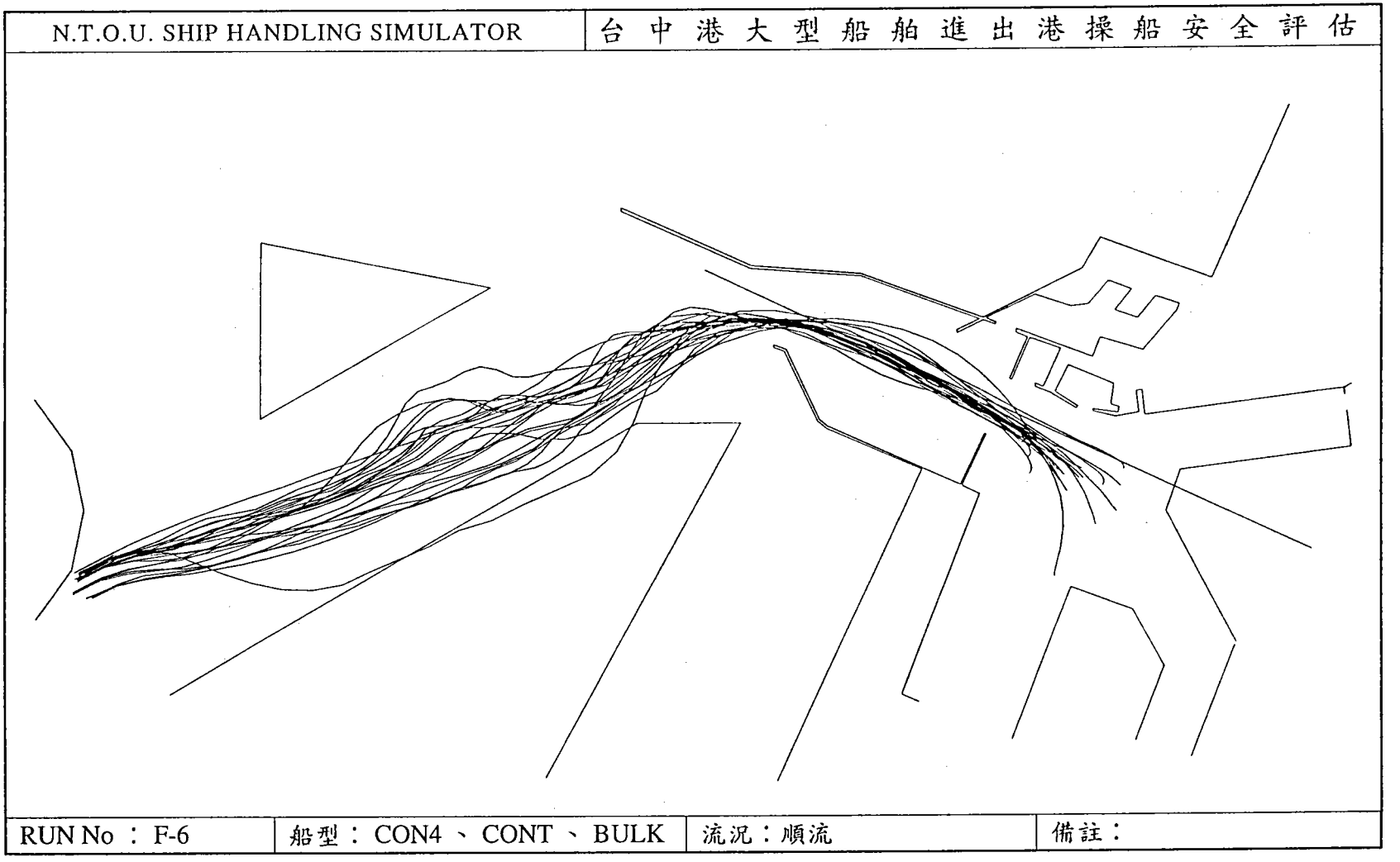


圖5-10-23　60度進港之漲潮順流航跡

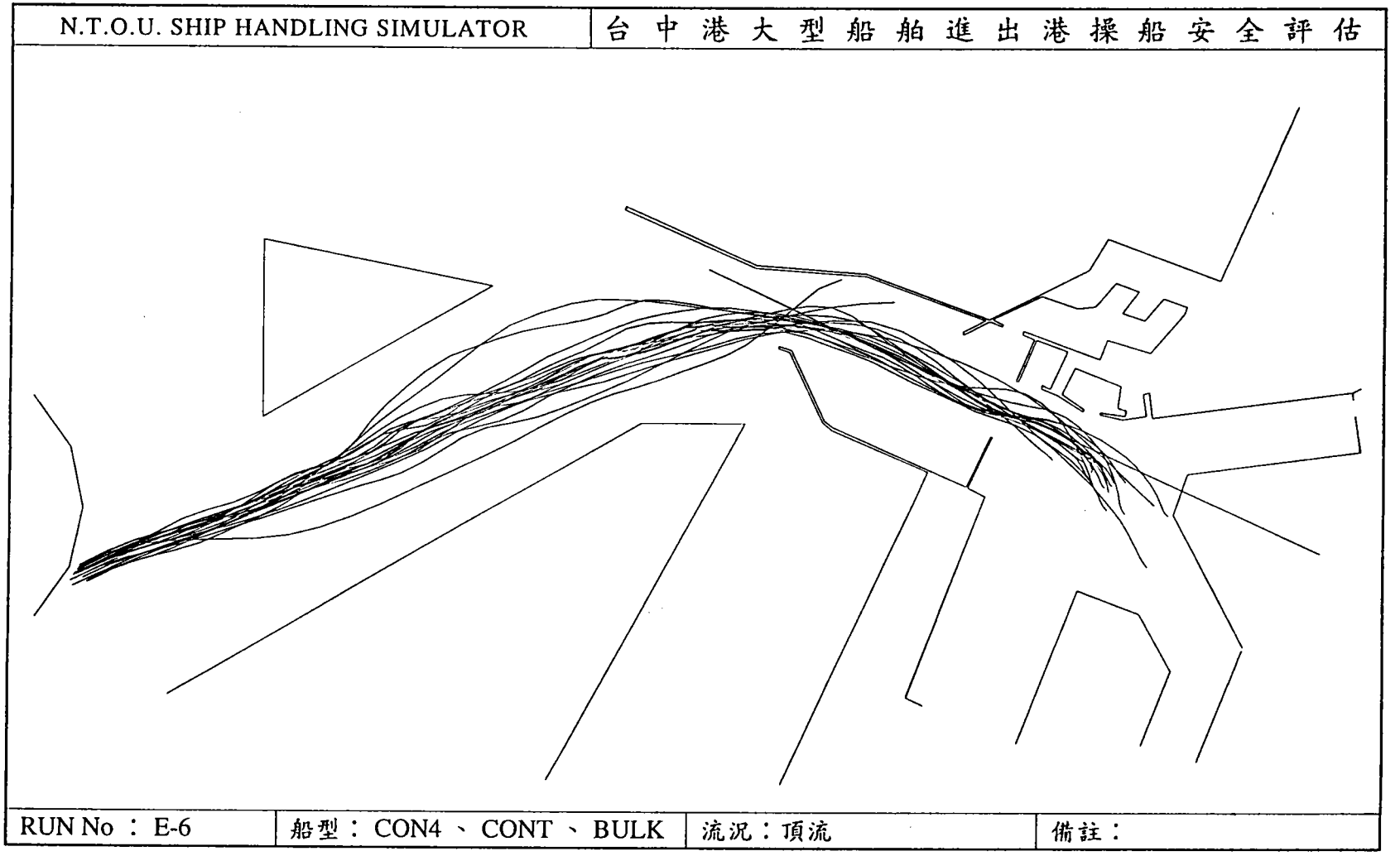


圖5-10-24　60度進港之退潮頂流航跡

第六章 減風設施可行性研究

台中港冬季冷鋒面過境時，風力甚爲強勁，現況對碼頭裝卸作業造成影響外，其亦能改變近岸海流之強弱與運動型態，尤其對船舶進出港之安全將構成威脅且不利於進港船舶之碼頭靠泊。爲此，台中港務局乃委託本所進行減風設施可行性研究。但鑑於本研究人力與時程之限制，本專題研究經徵選國內工程顧問機構後，由本所與鼎興工程顧問公司協力辦理。

6-1 港口段風力條件分析

根據本研究第二章海、氣象資料蒐集分析結果知道，台中港夏、冬季風力特性有顯著不同。夏季時除颱風期間外，平時風速均小，平均約5.7m/sec，風速大於15m/sec以上者約佔2.2%，吹風延時甚少超過2小時，主要風向以NNE爲主，約佔夏季84%，NE向次之，約佔12%。冬季期間受東北季風影響，風速大於15m/sec以上者佔14.3%，其吹風延時超過2小時者達18.4%；冬季風速大於15m/sec之主要風向仍以NNE爲主約佔冬季77%，NE向次之，約佔22%，二者合計達99%以上。另依表2-2-3冬季季風之統計分析結果知道，風速大於18m/sec之機率佔冬季4.7%, 20m/sec以上之風速佔冬季1.8%。

臺灣西海岸地區由於海陸風效應，白天風速普遍高於夜間，台中港附近風場則具有此一典型。由北防波堤堤跟處風測站逐時資料顯示，無論夏、冬季，夜間風速常較白天低且分佈較穩定，白天風速則隨日照強度而明顯增強。夏、冬季日平均逐時風速分佈如圖2-2-3所示，由圖中可明顯看出，不論冬、夏季一天當中風速通常在午後3～5時達到巔峰。

6-2 風力對船舶航行與靠泊之影響

港口與航道之規劃在提供港內必要之靜穩度考量下，其寬度往往受到限制，船舶行進或通過此類港灣設施時必須準確努力的維持船位，以避免因偏位而發生海事。但船舶行進時，受到風或水流等外力的作用，準確的船位維持甚不容易，因此航行中必須設定風壓差，以抵抗外力的影響。一但發現船位偏離時，就必須用舵以修正船位。當船速很低時，此種外力相對地作用加大，影響也特別顯著，船舶偏位量亦會增加。加以船舶低速航行時作用於舵面的水流減弱，舵效不易建立。此時如想利用舵效來修正船舶受外力所產生的偏位，其目的常無法達成。

一般而言，行進或靠泊中船舶受強風作用下，船位會向下風方向偏移，船首向反倒趨向上風。大型船舶因上層築體之面積較大，受風面大受風之影響也較明顯

，貨櫃船因裝載甲板貨櫃，受風面積大於其他類型之船舶，船位之偏移量也較大，但因船首與船尾之受風面積差異有限，故船首趨向上風的情形不似其他船舶明顯。另外，風大必然產生較大的海浪，對於引水人員登輪之影響亦甚大。平均風速20m/s，對台中港現況大型船舶之領港登輪與船舶進出港操航安全之影響詳見本研究第五章操船模擬之研究分析與結果。

由於船舶受風作用後會向下風方位偏移，在船舶進港後，其迴轉及靠泊常需靠拖船協助並藉自身側推進器(Side Thrust)推動完成，強風之作用將使拖船數量增加，協助更吃力，靠泊作業更費時且須更謹慎小心。

6-3 操航之安全風力限制

一般港灣暫停船舶進出港條件大多定在平均風速18m/sec(已達輕度颱風標準)左右，本研究計畫進港之3,000TEU級貨櫃輪及六萬噸級散裝貨輪，在港口北外防波堤延伸850公尺工完成後，由第五章操船模擬結果顯示，計畫進港船舶在領港可順利登輪執行任務下，於平均風速20m/sec時，大多可安全進港。但在強風與強流作用下，進港船隻操船仍有潛在之危險。依國際海事委員會(PIANC)建議，一個國際標準港口的安全進港風力應在15m/sec以下。以台中港冬季季風期之強盛季風爲對象，建議操航安全風力條件限制亦以15m/sec爲上限，此風速即爲台中港現況研擬減風設施之減風目標。

6-4 國內外減風設施研究與案例

在港口或航道附近區域設置減風設施國內尚未有案例可循。針對減風設施進行之研究亦甚有限。以下僅就本研究收集所得之部分研究成果及案例簡介如后：

6-4-1 減風設施型式之試驗研究

鑑於台中港冬季季風風速嚴重影響到船隻進出港口之航行安全，以及碼頭靠泊與裝卸作業，本所於民國77年爲使台中港碼頭全年均能正常操作利用，乃提列並進行「港區設置吸風牆之研究」基本研究計畫，該研究主要針對縮放管、旋轉片、網眼片、半圓薄殼、圓孔片以及交角薄片等減風構造物及機制進行試驗探討，部分試驗用之減風構造物如圖6-4-1所示。經試驗結果，以網眼片及交角薄片減風效果最佳。另依據該研究之說明，典型不透風式牆體對風之影響可以圖6-4-2表示。爲了要比較不同大小障礙物效應，通常都用障礙物的高度(h)來代表水平向和垂直向的影響範圍。由圖6-4-2可以看出：氣流受影響的高度至少離地面有3h，障礙物前面的距離也一樣。至於障礙物下風方向影響的距離，則要由障礙物密度(或用

孔隙率)來決定,密度以從它軸心正交方向來看的不開放(通風)面積和它整個垂直面積的百分比來表達,即完全不透風的障礙物孔隙率最小,密度最大,爲100%。下風的影響距離,通常以水平風速與上風(無遮蔽)同高度風速相比的減低百分比來評估。圖6-4-2(c)爲遮蔽帶附近在0.25h測得下風與遮蔽物不同距離的三種障礙密度效應。假定障礙物很密或孔隙率很小,風速的減低在正背風處,因爲穿透很少而接近無風。不過風速會很快地就恢復到原來數值,此主因爲空腔區(Cavity)內負壓很強,上面移動較快的空氣很快就可竄入。如果我們假設10%爲最低顯著值,那麼一堵稠密的障礙物在下風處的影響距離大約10h～15h。由此可以推想低密度的障礙物因其容許較高比例的穿透氣流,故對它底部附近的保護最少,但是它的恢復要比高密度者慢,因爲空氣穿透,提供空腔內一個「墊子」(Cushion),氣流可藉其採取一種更均勻的氣動力形態。恢復90%的一點發生在大約距障礙物15h～20h處,因此,它顯示:中等密度的障礙物既適於最大的延滯,在背風面又有氣動力「墊子」,最具有遮蔽效果,如此一道障礙物的效應,以90%的恢復標準來說,雖然只能伸至20～25h,但觀測得風速的減弱甚至可以達到下風40h處。

假定氣流與障礙物有一角度的斜交,那麼遮蔽面積將成比例減小,直到與氣流平行,遮蔽作用將略而不計,在一障礙物的兩端,風彎曲繞行,形成紊亂的旋渦,被隱蔽區「吞沒」,同樣道理,如果障礙物中有缺口,風加速通過,比上風處氣流要強得多。假定障礙物的寬度遠較h爲大,那麼穿越氣流實質上當減弱。因此,側風面氣流便與高密度障礙物在高度方向造成之現象頗爲類似。

由以上的研究說明可知,完全密閉式的擋風牆,雖然其可以將牆後的風速暫時完成阻隔,但是風速的恢復甚爲快速,以減阻40%風能爲標準來說,其遮蔽範圍僅爲5h而已,但是顯而易見的牆後所產生的強烈渦流將相對減小其遮蔽區的穩定,因此而產生的亂流甚至比正常方向的強風對貨櫃裝卸作業所造成的影響更嚴重。爲減小背風區的強烈渦流,因此一般試驗皆採部分透風式型式進行,由圖6-4-2可知,透風式擋風牆,可以相對地延長其遮蔽長度至10h左右。

6-4-2 減風設施風洞試驗研究

針對台中港第二階段發展計畫—防風對策與整體規劃,中華顧問工程司於民國81年除邀請荷蘭FRH協助辦理防風對策研究外,並委託中央研究院物理研究所進行防風設施風洞試驗(Wind Tunnel Test),藉大氣環境風洞模擬分析台中港防風設施之空氣動力特性,以探討港區重要據點設立阻風牆或風幕之可行性。茲將其研究方式及結果摘錄如后:

風洞試驗分成2維(2-Dimensional)及3維(3-Dimensoinal)兩大試驗項目,2維

試驗結果可用以評選防風牆阻體之高度及透風度，再由3維試驗結果探求牆端風場變化衍生之副效應，以提供設計防風牆之最佳長度，二維風洞試驗模型之主要配置如下：

(1) 防風牆型式：採矩形垂直防風阻體，其阻體結構物高度與寬度之比（縱橫比 Aspect Ratio）爲1.4，如圖6-4-3所示。

(2) 防風牆高度：防風阻體結構物高度以20、30及40公尺三種型式試驗，其對應寬度爲14.2、21.4及28.1公尺。

(3) 孔隙率（Porosity Factor）又稱透風係數：採50%及30%兩種進行風洞試驗。

風洞試驗於中研院物理研究所大氣環境風洞試驗室進行，風速測量則分別距防風阻體迎風側250公尺及背風側250、500、700公尺四處進行觀測，其觀測點約距地面10公尺高（相當于海平面16.6公尺高之位置）處。2維風洞試驗結果列於圖6-4-3中之右下部分。

主要之試驗結果說明如下：

(1) 根據中研院風洞試驗初步結果分析平均消風係數（透風率50%）與防風牆高度關係，牆高30公尺之風速與透風率之函數關係及風速與防風牆距離之函數關係分別如圖6-4-4(a)、(b)及(c)所示。

(2) 台中港之主航道北迴船池約位于工作船渠背風側距離250至750公尺之間，就操航特性而言，迴船池區風速如能由18m/sec減低爲15m/sec（風速折減爲83%左右），則可改善船隻操航之危險，此爲設置防風牆之主要目標，且由2維風洞試驗結果觀之，建議防風牆阻體高度應爲30m，透風率50%。

(3) 上述結果仍需作3維（3-Dimensional）風洞試驗作進一步求證，並觀測防風牆兩側因風場偏移產生之副效應，以評估防風阻體對漁港出入口可能之不利影響。

(4) 由2維風洞試驗結果可知，防風牆對迎風面之風場產生局部增強效應，防風牆以北250公尺之迎風側平均風速約昇15%，此風力增強效應係距地面上10公尺高參考點風速，但對漁港航道及地面則影響甚微。

(5) 由2維風洞試驗結果可知防風牆高度由20m增加至30m消風係數隨之增加，但當防風牆高度增加至40m則消風係數影響不大，且于背風面500～750m處因牆增高所折減之風速效益極爲有限。

(6) 由圖6-4-4(b)可知透風率（Porosity Factor）大小對消風效果影響極大，然低透風率亦可引致牆端較劇烈之變化而產生副效應。

在三維風洞試驗（3-D Wind Trunnel Tests）方面，三維風洞試驗係藉風場模擬

來探討防風牆設置後牆端流場偏移所產生之副效應(Side-End Effects),俾能防患于未然,確保港區安全,其試驗之主要裝置如下:

(1) 防風牆型式:採矩形或半圓型,其阻體結構物高度與寬度之比(即縱橫比Aspect Ratio)爲1.4。

(2) 防風牆高度: 30公尺。

(3) 防風牆長度:約700公尺,其中含兩側端各約長90公尺(即3倍牆高)之漸變段,該漸變段之透風率係由100%逐漸減小至50%。

(4) 防風牆透風率: 50%。

三維風洞主要之試驗結果如圖6-4-5(a)及(b)所示,由圖比較可知,半圓形斷面結構之防風阻體,其消風係數等值線之分佈較佳,與主航道及防風牆略作平行,其垂直坡降(Gradient)較不顯著,故較矩形結構之防風阻體更利于船舶操航,然由於目前風洞試驗防風牆長度仍嫌太小,故建議未來防風牆實際設計時應向東加長300公尺,以充分發揮主航道迴船遮蔽、消風效果。

根據以上2維及3維風洞試驗結果,建議主航道迴船池之防風總配置圖(Wind Break Master Plan)如下:

(1) 防風牆型式:建議採半圓形斷面之防風阻牆(Element),其高度與寬度之比(縱橫比)採1.4。

(2) 防風牆興建位置:基于施工及基礎考量建議設置於淺水船渠及工作船渠北側,與漁港之間。

(3) 防風牆方向:建議採與北北東(NNE)之季風垂直方向設置防風牆。

(4) 防風牆高度:建議自地面上垂直30公尺高或自海平面上36.6公尺高。

(5) 防風牆長度:約1000公尺,包括兩端各約長90公尺(即3倍牆高)之漸變段,建議防風牆應自漁港開口處向東儘量延伸興建。

(6) 透風率: 50%。

(7) 防風牆細部斷面尺寸,應于設計階段經結構基礎分析後再行設計。

6-4-3 減風設施實設案例

荷蘭鹿特丹港位於新舊馬士河交口上,爲一人工河口港,港口航道主要方向約爲WWN,主航道北側爲新馬士河之主河道,進港航向爲107度;主航道南側爲加蘭運河(Calandkanaal),進港航向爲116度。港口及航道配置如圖6-4-6。沿加蘭運河往東南航行,通過加蘭橋(Calandbrug)後可抵達運河最南端的布里坦尼亞港區(Brittaniehaven),如圖6-4-7所示。布里坦尼亞港區在港區初建時原就規劃闢建爲

工業港，因而進港船舶以較小型船舶爲主。經過過去20年之變遷，工業港之發展因其北邊住宅區之出現及高環境品質的要求，港區之主要發展方向已迥異於其南邊化學工業區之建立。近年來該港區規劃目標已轉爲以雜貨(General Cargo)轉運爲主，並有取代化學工業區之趨勢。在1981年，快捷(Quick Dispatch)公司於布里坦尼亞港區北側自行闢建了汽車船碼頭，海港(Seaport)公司新建之多目標碼頭不久亦於此區營運，可以想見地，此港區將經常地有大型船舶—如快捷公司的特殊型態汽車運輸船及海港公司的多用途船及ro-ro型之貨櫃船進出。由於加蘭橋(見圖6-4-6左下部)橫跨之限制，加以西向強風將使汽車船及貨櫃船等不易通過。而加蘭橋因其上之鐵公路係聯繫Europort港區及Maasvlakte地區之重要通道，交通十分繁忙，爲使船舶通過該橋時，不會因船舶操航意外而撞壞橋樑，故而在橋下航道兩側做了防護橋墩，另爲確保船舶可順利有效地進出布里坦尼亞港區，鹿特丹港務管理局因此進行了許多相關的研究，其間，曾委託荷蘭海洋研究所執行船舶接近及通過橋樑時之操航準則研究及拖船協助評估，並辦理汽車運輸船、貨櫃船之操船模擬。其後，再組成工作計劃小組以進一步研究確保大型船舶安全通過加蘭橋之對策，必要時並進行基本調查及量測。工作計劃小組經研究探討後，結論認爲沿加蘭運河建造減風牆爲目前最便宜可行且爲最快速之解決方案。改善方案確立後，爲有效評估減風牆之影響及效能以供最佳設計之參考，鹿特丹港務管理局再委託TNO-Apeldoorn進行風洞試驗，鹿特丹市政工程部審查可行方案及所需之建造經費。對於實際規劃、建造及美學之講求則由Amco Bouw Amstelveen建築顧問公司負責。

鹿特丹港加蘭運河旁之減風牆爲南北走向，共分三段，總長1700公尺，整體透視圖如圖6-4-8至圖6-4-13所示，圖6-4-14(a)至(g)爲各分段細部之結構型式及聯接概況，牆體材料皆爲鋼筋混凝土，各分段尺寸如下：

1. 在格蘭特大橋北邊有15公尺高的壩型土堤，土堤邊坡覆植青草保護，基礎兩邊爲鋼筋水泥擋土牆，中填廢煤渣，混凝土擋風牆數共45片，每座表面10×10公尺，厚30公分，間隔5公尺，如圖6-4-14(f)及(g)所示。
2. 大橋南邊爲半圓形薄殼擋風牆，總數22片，每片直徑18公尺，高25公尺，間隔12公尺，如圖6-4-14(a)所示。
3. 大橋和擋風牆交叉點有半圓形薄殼擋風牆漸變段，總數58片，高25公尺，半徑4公尺，間隔1.33公尺，如圖6-4-14(b)至(e)所示。

加蘭運河旁之減風牆在風洞試驗階段時曾採下列兩類風速界限進行：

(1) 風壓試驗

主要在計算代表船舶位於加蘭運河不同船位時風力及拖船反應力之大小，以此結果提供減風牆影響之評估，此外，減風牆之風壓係在牆體上量側。減風後危險風速界限爲12m/sec，換算10米高風速約爲17.1m/sec。

(2) 風擾動試驗

爲評估減風設施對鄰近區域如交通，行人及自行車騎士等之影響，減風後危險風速界限爲8m/sec，換算10米高風速約爲11.4m/sec。

在實際施工階段，全程工期僅155個工作天，工程計畫開始於1980年9月，1985年開始施工建造，爲配合計劃與工期所需，人力及物力按本工程分中南北三段同時施工。每兩個星期在北段須建造五個高牆、在南段須達三至四個半圓形牆、在中段建5至9個半圓形。值得一提的是，此項工程第一次採用SLIDING-SHUTTERING之滑模連續施工，工程完工後，該工程並獲1985年荷蘭工程佳作獎。

6-5 港口及航道之減風目標研擬

由風速資料可知台中港全年風速25m/sec以上者，雖僅佔0.1%，但考慮貨櫃船全天候進港需求，因此以風速25m/sec作爲減風係數研擬基準，則目標減風係數爲：

目標減風係數＝安全進港風力條件 / 減風係數研擬基準

$$= 15 \ / \ 25 = 0.6$$

一般工程上均採用10公尺高之風速作爲設計參數，依美國工程師團海岸研究室建議，風力垂直分佈可以下列簡單之近似式描述：

$$u(10) = u(z)[\frac{10}{z}]^{\frac{1}{7}}$$

其中z表儀器高程；u(10)表10公尺高之風速，u(z)表z公尺高之風速。爲瞭解不同貨櫃船裝載受風情況，特依貨櫃船基本船型資料如圖5-2-1至圖5-2-5所示，及裝載受風情況計算受風時之風壓中心，由貨櫃船基本資料(如表5-10-1b)中，可知型深(Mould Depth)爲21.2公尺，吃水深(Draft)11.5公尺，則滿載時水面乾舷高爲21.2-11.5=9.7公尺，且貨櫃船甲板(Deck)上最高貨櫃裝載層數(Tiers)，一般爲4～6層，視各船型而定，由一標準20呎貨櫃基本資料，5.899m(L)*2.352m(W)*2.386m (H)，可知貨櫃船隻裝載高度及水面上之受風高度，並由上述風力垂直分佈公式，求不同高度之風速及貨櫃船受風之風壓中心，各不同甲板上貨櫃裝載層數及水線上風壓中心示如圖6-5-1，各風壓中心計算示如表6-5-1。由表中可知貨櫃船不同甲板上貨櫃裝載層數風壓中心距水線之距離，

當甲板上貨櫃裝載6層時，風壓中心距水線13.5公尺，7層時爲14.53公尺，其他3～5層則爲10公尺左右，因此可知距水線上10公尺及15公尺之減風效果爲減風設施研究之重點。

6-6 減風設施之型式研擬

一般常用之設施有土堤、防風柵、防風網、圍籬、防風林及阻風牆，其主要目的在導引或減阻強風以偏離防護的目標或減少對目標物之影響。減風設施型式在作用上大致可分爲主動式及被動式二類:主動式係以噴氣方式形成一氣幕以減阻強風，達到防風效果。其方式有天蓬式及環形式氣幕等型式，示如圖6-6-1及圖6-6-2，較適用於小尺度範圍內之防風，對於屏蔽區域甚大區域，使用主動式氣幕，勢必消耗大量能源以製造氣幕且減風效果有限，同時易生噪音，因此主動式氣幕不適合本研究所需;而被動式則以阻風牆體來阻絕或減阻強風，以達到遮蔽效果；防風林爲一般較常採用之減風方式之一，其遮蔽與緩衝之作用詳見圖6-6-3[14],防風林帶除可阻擋強風外，尙有減少噪音及美化環境之效，唯其高度受限，對需較大遮蔽區者效果有限。防風網之遮蔽效果[14]如圖6-6-4斜線部份所示。日本第一港務局曾以孔隙率30%之擋風網在新瀉東港做實地試驗，其減風係數0.6之遮蔽影響所及之處，約達網高20倍之處，詳見圖6-6-5。該局復以風洞做實驗，其結果詳見圖6-6-6a及圖6-6-6b[14]。並由實驗結果得到以下結論：1.擋風網上方有風力集中現象，牆愈高，遮風影響範圍愈廣。2.擋風網孔隙率愈小，網上之集中力愈大，其遮風效果亦愈大。3.風速大小在較小之減阻風速比情況下所生之影響不大。孔隙率50%,牆高10公尺至12公尺之防風網,英國曾將其實際建置於聯接英法之鐵路隧道出口附近,用以確保高速行駛之火車安全,使其免受強風吹襲之威脅,防風網型式如圖6-6-7所示。

其他被動式減風設施尙有導流式、半圓形或矩形等形式，其中導流式在大尺度範圍效果不佳，而以半圓形或矩形阻風牆效果較佳，爲最被常使用之減風設施形式，如荷蘭鹿特丹港務管理局即是採用該形式阻風牆於加蘭運河上，以減緩強勁西風對航行船舶之影響。

在本研究計畫中,減風設施主要係在減阻港口段及內港口航道段強勁之東北季風，以維護進港船隻安全，其結構設計上除須考慮風力作用外，在海上部份尙須考慮波浪之作用力。而擋風牆在海上耐久性如何，尙難確定，所以本計畫減風設施應以RC結構之矩形或半圓形擋風牆爲宜。另據中央研究院物理研究所『台中港貨櫃碼頭阻風設施風洞實驗研究』[15]中，指出擋風牆之透風率(Porosity)在30%～50%間，均有良好之效果，且半圓形擋風牆下游之等減風係數曲線分佈比

矩形擋風牆更平行於擋風牆，亦即顯示半圓形擋風牆之減風效果，將更有利於在擋風牆下游水域大型船舶之操航，其水面上10公尺及20公尺高處等減風分佈係數示如圖6-6-8至圖6-6-11。由上述資料綜合評估得，本研究減風設施之型式擬採RC結構之半圓形擋風牆。

6-7 減風設施規劃

6-7-1 減風設施佈置方案

根據台中港現況操船模擬之結果，爲降低台中港港口段及內港口航道段風力對船舶之影響，本研究初步研擬之佈置方案有二，說明如后：

方案一：

沿北防波堤堤腳外側，興建減風設施，以減阻港口段及主航道段之強風，全長約2,010公尺，其次於淺水及工作船渠北側另建減風設施，以減阻內港口航道段及迴船池之強風，以利操航，其長度約710公尺。若於北防波堤堤上直接興建擋風牆，可能危及防波堤的安全，尤以沉箱合成堤爲甚，因此將減風設施佈置在北防波堤堤腳外，另設基礎以支持擋風設施，擋風牆之基礎距防波堤基礎不得小於5倍基樁直徑，以免影響堤基之穩定性，本案減風設施之佈置詳如圖6-7-1。北防波堤堤體結構概可分爲拋石堤及沉箱合成堤兩部份，其結構標準斷面圖示如圖6-7-2及圖6-7-3a及b。

方案二：

於港口附近在北防波堤堤腳外設減風設施，其長度約880公尺，至內港口段，再於北防波堤及工作船渠北測各設一減風設施，其長度分別爲460公尺及420公尺，其平面佈置詳如圖6-7-4所示。

以上所提之二個減風方案中，係以操船之障礙排除和經濟上之考量爲主要之權衡措施，其中方案二較方案一爲經濟，施工總長度與工期亦較短。因此，本研究以方案二進行初步規劃及初步設計評估，唯方案二結構佈置排列必需考量因局部遮蔽效應以致中間透空所產生之風力集中現象，建議未來若採行，於進行細部設計及施工前應再做風洞試驗及結構動力、振動分析等加以驗證。

6-7-2 減風設施之長度

由台中港北防波堤堤跟處風測站風速統計資料中顯示，台中港夏冬季強風風向皆以NNE爲主，因此減風設施單元之排列應與NNE向垂直，以達到最佳之減風效果。而減風設施之長度亦應轉換爲與NNE向垂直面之投影長度，若以方案二之

減風佈設爲主要規劃方向,減風設施與主風向之垂直投影應爲865公尺,其減風所需深度(即減風牆與航道中心線所需距離)分別爲250及350公尺。對於內港口之減風設施,其與主風向之垂直投影長度分別爲300及420公尺,減風深度則分別約需850公尺及500公尺。

6-7-3 減風設施高度研擬

影響減風設施高度之因素有很多,如目標物距減風設施之距離、風向、所需減風係數、減風設施之透風率(Porosity)等,皆會影響到減風設施的高度。高度研擬流程示如圖6-7-5,各佈置方案與航道中心線規劃之遮蔽區詳圖6-7-6及6-7-7。不同透風率擋風牆下游段等風速係數詳圖6-7-8。根據圖6-7-8,再配合減風目標及規劃之遮蔽範圍需求計算,可得減風設施之高度試算表詳如表6-7-1所示,由表中可知不同減風距離、不同透風率下之減風設施高度亦不同。爲達最經濟及最佳之減風效果,以下就佈置方案二所需減風設施之透風率、規劃尺寸及其組合排列分別探討。

(1) 透風率

透風率之高低決定擋風設施使用材料之多寡及擋風所獲得之效率,透風率若太高,爲達減風目標及所需之減風距離,擋風牆必定較高,因之結構設計上所必需抵抗之單位長度之剪力及力矩亦增加,擋風牆厚度及配筋因此均需增多;透風率若較低,則擋風牆之排列密度必需增加。根據中央研究院物理研究所"台中港貨櫃碼頭阻風設施風洞實驗研究[15]"中指出,台中港之擋風設施若以透風率爲30%～50%之擋風牆加以佈設,將有良好之效果。另由Perera[17]於1980年所發表之不同透風率之等風係數圖(圖6-7-8)亦指出,只要擋風牆之目的不在於保護緊鄰擋風牆之設施,其透風率以10%爲最佳,而10%～50%間之透風率亦有不錯之效果。因此,在權衡本工程之設計需求後,規劃於港口段設置透風率爲30%之擋風牆,港內段設置透風率爲10%之擋風牆。

(2) 擋風牆高度

由不同透風率及擋風牆下游段等風速係數圖及減風設施高度試算表(表6-7-1),可求得本案減風設施各段高度,如表6-7-2所示,由表可知,減風設施高度最低約爲22.7m,最高約達38.5m。

(3) 擋風牆之寬度及間距

擋風牆之寬度及間距可由透風率之基本定義求得如下。

透風率:

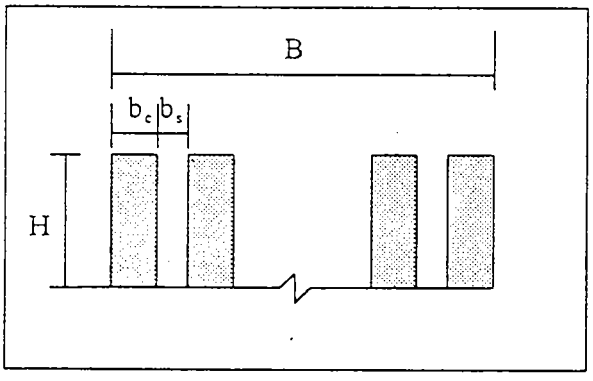
$$\phi = nb_s H/BH = nb_s/B \quad \rightarrow nb_s = B^*\phi$$

形狀比:

$$A_s = H/b_c = 1.4 \quad \rightarrow b_c = H/1.4$$

減風牆之長度

$$B = nb_s + (n+1)b_c \quad \rightarrow n = (B - nb_s)/b_c - 1$$



上圖爲擋風間距示意圖

其中

H:牆高

b_c:矩形牆之牆寬或圓弧形牆之直徑

b_s:牆間距

n:牆間距數目

擋風牆之寬度及間距計算如表6-7-3 。

6-7-4 設計參數之選定

設計參數之選擇對結構設計有決定性之影響,因此本節對減風設施所需各設計參數詳細討論如下,各設計參數詳圖6-7-9 。

(1) 設計波高

在海岸或港灣工程之設計上,一般波浪之推算均以示性波高及示性週期爲代表,由台中港波浪測站所取得之63筆資料進行波浪分析[25],可知最大示性波高

大部份發生於夏季季節，經對照颱風資料後發現這些波高係屬颱風波浪，因此，依據本省西南方向發生之波浪，選取56個颱風並彙整爲7個模組（圖6-7-10）加以推算至台中港防波堤前水深-25m處之波高[19]，其颱風波浪示性波高之推算結果詳如表6-7-4。將各波向示性波高之分佈繪製如圖6-7-11，並求出其最大值包絡線。圖中顯示最大波高波浪係來自SW，因此可假設示性波高之極端值即發生於SW波向，並與每月最大示性波高以Gumbel法求出不同復現期距下之極端波高值（表6-7-5）相比較，除SW之波高可由表6-7-5決定外，其他方向之波高可由圖6-7-11中波高之包絡線值定訂其與SW向波高之比值，再依表6-7-5之結果即可求得各波向不同復現期距下深海波之波高（表6-7-6）。深海波之波高可依地形做折射計算至北防波堤前如圖6-7-12及圖6-7-13，經過濾剃除不合理之波向（由防波堤之南面而來之波浪，如W、WSW及SW等），採用代表性之波向及波高如表6-7-7。

(2) 週期

週期之計算依蔡[1980][27]之建議，於台灣海峽之波浪採$4\sqrt{H_{1/3}}$估算之。詳表6-7-8。

(3) 風壓力

剛性擋風牆之設計需能抵抗颱風來臨時之最大瞬間風速，風壓力之計算依建築技術規則規定，台中地區屬150級風力區，依風速壓力關係，以蒲福風級表表示，其相當16級風，地上10公尺高之風速約達51.0m/s至56.0m/s間，高程在15～30m間之最小風壓力爲190kg/cm^2，高程30～150m間之最小風壓力爲230kg/cm^2。因此，依據擋風牆之高度及面積，可計算出擋風牆所需承受之風壓力及樁基礎所需承受之力距。

(4) 地震力

地震力之設計依建築技術規則規定可由下式求出

$$V = ZICKW$$

式中 震區係數Z=1.5（依台中港地震分析報告）

用途係數I=1.0

震力係數C=0.15

組構係數K=0.67

結構物自重W

地震力之最小總橫力V=0.15W

(5) 波力

波浪對圓柱體所造成之影響可分爲慣性力及拖曳力兩種，其最大合力F_m及合

力矩M_m分別計算如下:

拖曳力係數之選取(C_D)

C_D之選取依照Shore Protection Manual [18]之規定,可由L_A/L_o(圖6-7-14)及雷諾數R_e(圖6-7-15)決定之,其中

$$R_e = u_{max} D/v$$

$$u_{max} = \frac{\pi H_{1/3}}{T} \frac{L_o}{L_A}$$

v=動力黏滯係數=$9.29 \times 10^{-7} m^2/sec$

D =樁直徑

L_o=深海波長

L_A= Airy波長

慣性力係數之選取(C_m)

C_M之選取依照Shore Protection Manual [18]之規定,亦可由雷諾數(R_e)決定之。

$C_M = 2.0$ 當 $R_E < 2.5 \times 10^5$

$C_M = 2.5 - \frac{R_e}{5 \times 10^5}$ 當 $2.5 \times 10^5 < R_e < 5 \times 10^5$

$C_M = 1.5$ 當 $R_e > 5 \times 10^5$

C_D及C_M計算過程詳表6-7-9。

最大慣性力及拖曳力之合力

$$F_m = \phi_m \rho g C_D H^2 D$$

$$M_m = \alpha_m \rho g C_D H^2 D d$$

$$x = M_m / F_m$$

$$W = (C_m D)/(C_D H)$$

其中

F_m =慣性力及拖曳力之合力

M_m =對河床底產生之最大力矩

ϕ_m, α_m =設計參數可由圖6-7-16,圖6-7-17, 6-7-18及圖6-7-19內差求出

x=作用力距海床底之位置

波力之計算詳表6-7-10。

(6) 水流作用力

依台中港進出港指南[6]所述,於東北季風盛行期間,北防波堤附近約200公尺範圍會產生一股很強的橫流,流向SSW,速度二至四節,因此,流力計算中之流速可保守使用四節並依下式計算水流作用力。

流力:

$$F_c = C_D D d \frac{\rho V^2}{2}$$

式中

C_D =流力拖曳係數

D =樁徑

d =水深

ρ =海水密度= $1.03t/m^3$

V =流速= 4節即2.04m/sec

流力之計算詳表6-7-11及圖6-7-20。

6-7-5 減風設施初步設計

(1) 擋風牆厚度設計

在做擋風牆基礎承載設計前,必需將擋風牆之厚度先行決定,設計之方式爲檢核$V_u \leq V_d$,並設計牆厚(t)。

其中

極限剪力$V_u = 1.7 \times H \times 100 \times P$

容許剪力$V_d = \phi \times 0.53\sqrt{fc'} \times 100 \times d_w$

材料強度折減因子$\phi = 0.85$

P =風壓力

fc' =混凝土抗壓強度

d_w =擋風牆有效深度

擋風牆厚度之計算詳表6-7-12。

(2) 地質評估

依據台中港務局"台中港第一期工程完工報告"[16],台中港北防波堤附近於規劃初期即完成五孔地質鑽探(59年6月～59年9月),由其鑽探取樣分析可知北

防波堤附近地質鑽探深度內之地質皆在泥沙沉積層範圍內，其組成多爲沉泥質之細砂，中間或夾有薄層低塑性之粘土。砂土屬中至高緊密度細砂，N值於地表面下13～17m處約達50。

(3) 基樁承載力

. N值之修正

N值之量測若位於地下水位之下，因超額孔隙水壓無法在貫入時消散，所以N值必需修正，修正公式如下：

$$N_{mod} = 15 + 0.5(N_{mea.} - 15)$$

若依現有資料，取B_2孔爲設計標準（圖6-7-21）[16]，其修正之N值及各土層相關資料表列如表6-7-13。

. 以標準貫入試驗N值推估樁支承容許承載力

極限承壓強度及承拉強度(Q_u)

$Q_u = Q_s + Q_b = f_s A_s + q_b A_b$（壓力樁）

$Q_u = Q_s + W$（拉力樁）

Q_s, Q_b爲極限摩擦阻力強度及極限樁底支承強度

容許承載力$Q_a = Q_u / F.S.$

安全係數F.S. = 3.0

樁身摩擦阻力強度$f_s = 0.2N(t/m^2) \leq 10t/m^2$

樁底支承強度$q_b = 40N(t/m^2)$打入式基樁

A_s, A_b分別爲摩擦及支承相對應之面積，式內N值採樁端點上方4倍樁徑範圍內平均N值與樁端點下方1倍樁徑範圍內平均N值之平均值，且不得超過50。若基樁埋入地層內5m，樁身直徑(D)採80cm，則$N_{ave} = 16$。

. 承載力檢核

單樁承載力R = W/n + 由風力產生之單樁載重

檢核$R \leq Q_a$

其中W=擋風牆重量

n = 樁數

承載力計算及檢核詳表6-7-14，擋風牆所需樁基礎之長度及樁徑詳表6-7-15。

(4) 樁帽之設計

樁帽之設計流程可簡述如下:

1. 設計載重

   設計載重(R_u)必需能承受如下之載重及載重因數組合所需強度:

   . $1.4P_d + 1.7P_1$

   . $0.75(1.4P_d + 1.7P_1 + 1.7P_w)$

   . $0.9P_d + 1.3P_w$

2. 決定單樁之設計載重

$$R_u = (0.9P_d + 1.3P_w)/n \quad or \quad R_u = 0.75(1.4P_d + 1.7P_w)/n$$

   其中 R_u 爲單樁之設計載重

   P_d, P_1, P_w 分別爲擋風牆自重,活重及風力載重

   n爲樁數

3. 決定樁帽之厚度

   檢核樁之穿孔剪力

$$R_u \leq \phi \times 1.06\sqrt{fc'}b_o d_c$$

$$b_o = \pi(D + d_c)$$

4. 樁帽厚度計算

   樁帽厚度h=樁帽有效深度, d_c+樁與基腳接合深度+樁頂至主筋底距$+1.5d_b$, 設基樁貫入樁帽10cm,樁頂至主筋5cm,用#8主筋,直徑d_b=2.5cm。樁帽厚度之計算詳表6-7-16。

(5) 側向承載力設計

   垂直樁承受側向載重時,其行爲類似一個放在彈簧基礎上之樑,土壤即爲彈簧,分析重點在於樁頭在外力作用下對應之位移量及樁身材料所能承受之彎矩容量,分析理論可依p-y curve建立土壤之非線性側向受力與側向位移關係作爲非線性關係之基本,以程式疊代分析。側向載重樁的分析,關鍵在於水平地盤反力係數K_h的求取, K_h值一般由孔位變形試驗(LLT)以孔內測壓儀求得,亦可由SPT-N值估算之。本研究減風設施樁基礎之基本設計如圖6-7-22所示,深基礎承軸向力與側向力之分析詳相關文獻。

6-7-6 經費概估

減風設施包括擋風牆、基礎樁及樁帽等工程數量及經費概算如表6-7-17及表6-7-18,樁基礎基本設計圖如圖6-7-22。整體經費概估如表6-7-19。由表可知,台中港若依本研究方案二進行減風設施建造,則減風設施每座之平均造價約爲新台幣參仟貳佰萬元,總長1585公尺之總造價約須13億元。

6-8 減風設施之成本效益及可行性評估

於台中港港口及航道附近建置減風設施,依表6-7-19之經費概估結果,平均每座造價約新台幣參仟貳佰萬元,本研究方案一之總造價約需19.5億元,方案二約需13.0億元,單就建造成本而言,與北外防波堤延伸850公尺之建造經費比較,其單價與總造價皆甚昂貴。唯一之效益爲減小風速對進港船舶操航於主航道及通過南北內防波堤口之影響,對於領港登輪之困難與危險並無法改善,對於碼頭頭裝卸作業效能亦無法有效提昇,對於船舶靠泊碼頭也無幫助,尤其,減風設施僅能提供其下風區局部的遮蔽範圍,高度太高之減風設施不僅施工及維護困難,造價將更昂貴,此外,在海上建造減風設施,因其基礎僅能構建於基樁頂上,水深大時,樁長將增大,在水中之樁身並無類似土壤之側向支撐力,加以強風及地震力之作用可能使樁身因上部力矩太大而折斷,平常時刻因樁體及減風設施之質量中心係集中於樁帽以上,風力及波浪作用力亦可使基樁產生相當頻率之振動而發生危險,另外在台灣尚有颱風與地震之潛在威脅,超過設計規模之颱風與地震可能造成減風設施破壞,進而影響港口及航道水域之通暢。何況,台中港冬季風風速超越減風目標風速15m/sec之機率達14.3%,欲在港口及航道附近水域建造減風設施,雖其在型式與結構上皆有其可行性,但其益本比極低,所擔負之風險極大,適用期不長,現階段應尚非減風設施建置之適當時機。唯其相關之研究,如減風設施用於減阻飛沙等功能,建議仍應積極進行推動,期使台中港未來能儘量克服冬季季風之天然限制並使營運績效更爲卓著。

表6-5-1 不同貨櫃船裝載水線上風壓中心計算表

項　目	A	B	C	D	E	F
甲板上貨櫃層數	2	3	4	5	6	7
貨櫃船型深(m)	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
貨櫃船吃水深(m)	10.5	10.5	11.5	11.5	11.5	11.5
貨櫃船乾舷高(m)	10.7	10.7	9.7	9.7	9.7	9.7
標準貨櫃高(m)	2.386	2.386	2.386	2.386	2.386	2.386
甲板上貨櫃總高(m)	4.8	7.2	9.5	11.9	14.3	16.7
水線上高度計算值(m)	15.5	17.9	19.2	21.6	24.0	26.4
水線上高度使用值(m)	16.0	18.0	20.0	22.0	25.0	27.0
水線上風壓中心(m)	8.67	9.89	10.85	11.88	13.53	14.51
備　註	甲板上貨櫃層數不足三層以上，吃水深以減1m計算					

表6-7-1 減風設施高度試算表

減風距離(m)	透風率(ϕ)	減風目標	減風設施高度係數	減風設施高度(m)	備 註
200.0	0.1	0.6	13.0	15.4	
	0.2	0.6	12.0	16.7	
	0.3	0.6	11.0	18.2	
	0.4	0.6	8.0	25.0	
	0.5	0.6	7.0	28.6	
250.0	0.1	0.6	13.0	19.2	
	0.2	0.6	12.0	20.8	
	0.3	0.6	11.0	22.7	
	0.4	0.6	8.0	31.3	
	0.5	0.6	7.0	35.7	
300.0	0.1	0.6	13.0	23.1	
	0.2	0.6	12.0	25.0	
	0.3	0.6	11.0	27.3	
	0.4	0.6	8.0	37.5	
	0.5	0.6	7.0	42.9	
350.0	0.1	0.6	13.0	26.9	
	0.2	0.6	12.0	29.2	
	0.3	0.6	11.0	31.8	
	0.4	0.6	8.0	43.8	
	0.5	0.6	7.0	50.0	
400.0	0.1	0.6	13.0	30.8	
	0.2	0.6	12.0	33.3	
	0.3	0.6	11.0	36.4	
	0.4	0.6	8.0	50.0	
	0.5	0.6	7.0	57.1	
450.0	0.1	0.6	13.0	34.6	
	0.2	0.6	12.0	37.5	
	0.3	0.6	11.0	40.9	
	0.4	0.6	8.0	56.3	
	0.5	0.6	7.0	64.3	
500.0	0.1	0.6	13.0	38.5	
	0.2	0.6	12.0	41.7	
	0.3	0.6	11.0	45.5	
	0.4	0.6	8.0	62.5	
	0.5	0.6	7.0	71.4	

表6-7-2　減風設施所需高度

項次	位置	減風設施長度	減風距離	透風率	減風設施高度係數	減風設施高度
1	北防波堤(一)	195m	250m	30%	11	22.7m
2	北防波堤(二)	670m	350m	30%	11	31.8m
3	北淤砂區南側	300m	850m	10%	13	65.4m
4	工作船渠北側	420m	500m	10%	13	38.5m

表6-7-3　減風牆寬度及間距計算表

項次	位置	B (m)	H (m)	H(使用) (m)	b_c (m)	nb_s	n	n(使用)	b_s(使用) (m)	b_c(使用) (m)
1	北防波堤(一)	195	22.7	25	17.9	58.5	6.6	7	8.4	17.1
2	北防波堤(二)	670	31.8	30	21.4	201	20.9	21	9.6	21.3
3	北淤砂區南側	300	65.4	65	46.4	30	4.8	5	6.0	45.0
4	工作船渠北側	420	38.5	40	28.6	42	12.2	12	3.5	29.1

表6-7-4　台中港颱風波浪推算結果

波高($H_{1/3}$):m

颱風模組		Model I	Model II	Model W	Model 7	Model 7-1	Model 6	Model 8
波向	NNE	4.10	5.80	4.10	2.36	4.04	-	1.89
	N	4.70	5.20	4.60	2.75	4.29	-	2.12
	NNW	4.90	3.90	4.40	2.86	4.13	-	2.89
	NW	4.90	2.00	3.80	4.06	3.56	2.17	4.15
	WNW	4.90	1.70	4.51	5.06	3.21	2.54	4.91
	W	4.80	2.50	4.00	4.89	-	3.12	4.94
	WSW	4.60	2.00	5.16	6.32	-	3.86	5.48
	SW	3.80	2.00	7.64	3.80	-	3.53	6.00

表6-7-5　台中港不同復現期之示性波高極端值

復現期距(年)	5	10	20	25	50	100
波高(m)	5.19	5.58	5.95	6.07	6.43	6.79

表6-7-6　台中港颱風波高包絡線推估值

波高($H_{1/3}$):m

復現期距(年)		5	10	20	25	50	100
波向	NNE	3.96	4.26	4.54	4.63	4.91	5.18
	N	3.76	4.04	4.31	4.39	4.65	4.91
	NNW	3.55	3.82	4.07	4.15	4.40	4.65
	NW	3.41	3.67	3.91	3.99	4.23	4.47
	WNW	3.48	3.74	3.99	4.07	4.31	4.56
	W	3.76	4.04	4.31	4.39	4.65	4.91
	WSW	4.30	4.63	4.93	5.03	5.33	5.63
	SW	5.19	5.58	5.95	6.07	6.43	6.79

表6-7-7　防波堤前之代表性波高

位置	波向	NNE	N	NNW	NW	WNW
北防波堤(一)	波	4.2	3.6	3.8	3.8	3.9
北防波堤(二)		4.0	3.8	3.8	3.8	4.5
北淤砂區南側	高	3.2	3.6	3.8	3.8	3.6

表6-7-8　台中港颱風週期包絡線推估值

週期($T_{1/3}$):sec

復現期距(年)		5	10	20	25	50	100
波向	NNE	7.96	8.25	8.52	8.61	8.86	9.11
	N	7.75	8.04	8.30	8.38	8.63	8.87
	NNW	7.54	7.82	8.07	8.15	8.39	8.62
	NW	7.39	7.66	7.91	7.99	8.23	8.45
	WNW	7.46	7.74	7.99	8.07	8.31	8.54
	W	7.75	8.04	8.30	8.38	8.63	8.87
	WSW	8.30	8.60	8.88	8.97	9.23	9.49
	SW	9.11	9.45	9.76	9.85	10.14	10.42

表6-7-9 Cd & Cm

位置	設計波向	週期 T(sec)	波高 $H_{1/3}$(m)	水深 d(m)	d/gT^2	L_A/L_o (圖6-7-14)	u_{max} m/sec	修正 u_{max}	樁徑 D(m)	υ (m^2/sec)	雷諾數 R_e	C_D (圖6-7-15)	C_M
北防波堤(一)	NNE	8.61	4.2	17.9	0.0246	0.82	1.87	2.64	0.60	9.29E-07	1.71E+06	0.7	1.5
北防波堤(二)	WNW	8.07	4.5	13.4	0.0209	0.80	2.19	3.10	0.65	9.29E-07	2.17E+06	0.7	1.5
北淤砂區南側	NNW	8.15	0.75	0.86	0.0013	0.23	1.26	1.78	1.25	9.29E-07	2.39E+06	0.7	1.5

其中:

$g=9.81 m/sec^2$

L_a=Airy波長

L_o=深海波長

u_{max}=最大水平水粒子速度

修正之u_{max}:反應波速受防波堤反射所造成之影響

υ=動力黏滯係數

$R_e=u_{max}*D/\upsilon$

表6-7-10 波力計算

位置	C_D	C_M	波高 $H_{1/3}$(m)	週期 T(sec)	水深 d(m)	樁徑 D(m)	w	d/gT^2	$H_{1/3}/gT^2$	φm (圖6-7-16) (圖6-7-17)	Fm (N)	αm (圖6-7-18) (圖6-7-19)	Mm (KN-m)	x (m)
北防波堤(一)	0.7	1.5	4.20	8.61	17.9	0.60	0.31	0.0246	0.0058	0.165	12282	0.110	146.24	11.91
北防波堤(二)	0.7	1.5	4.50	8.07	13.4	0.65	0.31	0.0209	0.0070	0.190	17588	0.135	166.96	9.49
北淤砂區南側	0.7	1.5	0.75	8.15	0.9	1.25	3.57	0.0013	0.0012	0.400	1978	0.400	1.70	0.86

表6-7-11　流力計算

位置	樁徑 D(m)	水深 d(m)	流速 V(m/sec)	υ (m^2/sec)	R_{ey}	C_D (圖6-7-20)	F_c (t)
北防波堤(一)	0.60	17.9	2.04	9.29E-07	1.32E+06	0.3	6.89
北防波堤(二)	0.65	13.4	2.04	9.29E-07	1.43E+06	0.3	5.58
北淤砂區南側	1.25	0.9	2.04	9.29E-07	2.74E+06	0.3	0.69

註:$R_{ey}=VD/\upsilon$

表6-7-12　擋風牆厚度計算

項次	位置	H (m)	b_c (m)	V_u (kg)	V_d (kg)	d_v (cm)	t (cm)	擋風牆重量(t)
1	北防波堤(一)	25	17.1	8075	652.8*d_v	12.4	17.5	282
2	北防波堤(二)	30	21.3	9690	652.8*d_v	14.8	20.0	482
3	北淤砂區南側	65	45.0	25415	652.8*d_v	38.9	45.0	4962
4	工作船渠北側	40	29.1	15640	652.8*d_v	24.0	30.0	1316

表6-7-13　N值估算

深度	N量測	N修正	砂土種類	砂土緊密度	內摩擦角(φ°)
0~3	14	14.5	SM	中密度細砂	35~40
3~5	13	14.0	SM	中密度細砂	35~40
5~7	22	18.5	SM	中密度細砂	35~40
7~9	41	28.0	SM	中密度細砂	35~40
9~11	50	32.5	SM	緊密細砂	40~45
11~15	32	23.5	SM	中密度細砂	35~40
15~17	50	32.5	SM	緊密細砂	40~45
17~19	32	23.5	SM	中密度細砂	35~40
19~20	24	19.5	SM	中密度細砂	35~40

表6-7-14　承載力檢核

項次	位置	擋風牆重量W(t)	H (m)	b_c (m)	風力 P_c(t)	樁數 n	樁徑 D(m)	樁中心距 s(m)	入土深 l(m)	$R_{摩力}$ (t)	$R_{拉力}$ (t)	Q_s (t)	Q_b (t)	$Q_{a(摩力)}$ (t)	$Q_{a(拉力)}$ (t)	Bearing Checks
1	北防波堤(一)	282	25	17.1	81.2	5	0.60	6.72	20.00	155.83	36.42	188.50	282.74	157.08	81.63	OK
2	北防波堤(二)	482	30	21.3	121.4	7	0.65	5.58	18.50	172.26	49.19	188.89	331.83	173.57	85.92	OK
3	北淤砂區南側	4962	65	45.0	672.8	15	1.25	5.05	28.00	589.24	43.74	549.78	1227.18	592.32	293.53	OK
4	工作船渠北側	1316	40	29.1	267.7	9	0.90	5.71	20.50	307.83	58.35	289.81	636.17	308.66	145.34	OK

表6-7-15　樁長評估

項次	位置	貫入深度 (m)	平均水深 (m)	平均潮位至防波堤頂高(m)	修正貫入深度	樁長 (m)	樁長(使用) (m)
1	北防波堤(一)	20.00	12.00	10.2	24.0	46.2	46
2	北防波堤(二)	18.50	7.50	10.2	18.5	36.2	36
3	北淤砂區南側	28.00	0.86	10.2	28.0	39.1	40
4	工作船渠北側	20.50	0.00	8.0	20.5	28.5	28

註:

1.修正之貫入深度為考量沖刷深度後之安全貫入深度

2.北淤砂區南側之水深為考量最高高潮位後之水深

表6-7-16　樁帽厚度計算

項次	位置	擋風牆厚 t(cm)	樁徑 D(m)	樁帽寬 (m)	單樁承載力 R_u(max)	樁帽有效深度 d_c(cm)	樁帽厚 h(cm)
1	北防波堤(一)	17.5	0.60	0.80	37.20	10	35
2	北防波堤(二)	20.0	0.65	0.85	29.16	10	35
3	北淤砂區南側	45.0	1.25	1.45	45.12	10	35
4	工作船渠北側	30.0	0.90	1.10	39.95	10	35

表6-7-17　減風設施數量概估

位置	擋風牆座數	樁數/每座	樁帽		擋風牆	
			體積(m^3)	面積(m^2)	體積(m^3)	面積(m^2)
北防波堤(一)	8	5-ϕ600	7.52	40.29	117.52	1351.78
北防波提(二)	22	7-ϕ650	9.95	51.86	200.75	2019.48
北淤砂區南側	6	15-ϕ1250	35.87	151.97	2067.56	9247.66
工作船渠北側	13	9-ϕ900	17.60	82.28	548.52	3680.81

表6-7-18　減風設施經費概估

單位:元

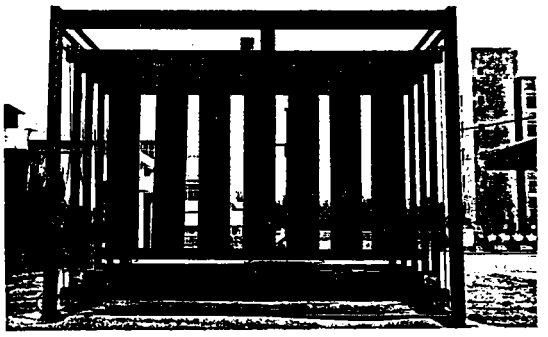
	樁	混凝土	鋼筋	滑動模板	人員仲降梯工作架	運搬船工作平台船	單價/每座	總價
北防波堤(一)	506,000	1,125,300	1,000,300	4,176,200	1,000,000	66,665,000	7,807,800	129,127,400
北防波堤(二)	630,000	1,896,300	1,685,600	6,214,000	1,200,000	199,995,000	11,625,900	455,764,800
北淤砂區南側	2,100,000	18,930,900	16,827,500	28,198,900	2,000,000	0	68,057,300	408,343,800
工作船渠北側	756,000	5,095,100	4,529,000	11,289,300	1,600,000	0	23,269,400	302,502,200
								1,295,738,200

註 :方案二之工程經費約為方案一之1.5倍,其中陸上工程約增加1.7倍,海上工程約增加1.3倍,
總工程經費約為1,943,610,000元。

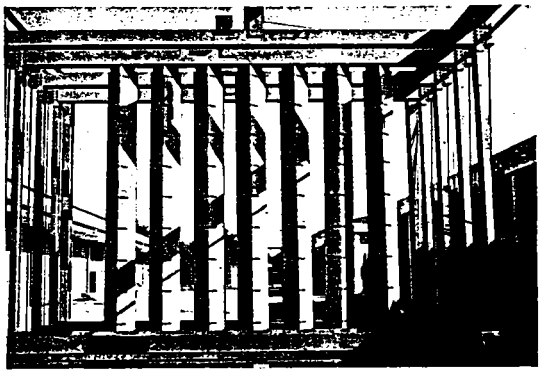
表6-7-19 減風設施主要尺寸、數量及經費概估

位置	減風牆每座尺寸			間距	數量	總長度	單樁尺寸				
	高(m)	寬(m)	厚(cm)	(m)	(座)	(m)	長(m)	直徑(m)	樁心距(m)	單價(仟元)	總價(仟元)
北防波堤(一)	25	17.1	17.5	8.4	8	195	46	0.6	6.72	16,141	129,127
北防波堤(二)	30	21.3	20.0	9.6	22	670	36	0.65	5.58	20,717	455,765
北淤砂區南側	65	45.0	45.0	6.0	6	300	40	1.25	5.05	68,057	408,344
工作船渠北側	40	29.1	30.0	3.5	13	420	28	0.9	5.71	23,269	302,502
附註	1.平均單價(仟元):32,046 2.總造價(仟元):1,295,738										

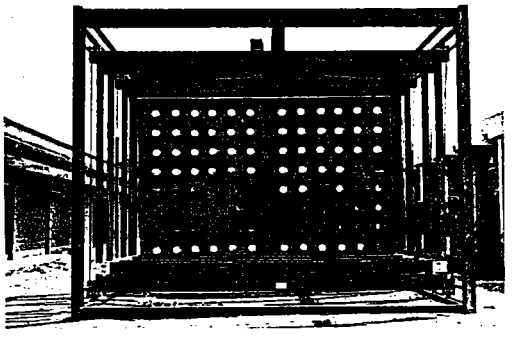
項次	位置	擋風牆高 H(m)	擋風牆寬 b_c(m)	擋風牆厚 t(cm)	擋風牆間距 b_s(m)	透風率 ϕ	樁徑 D(m)	樁長 (m)	樁數 n	樁中心距 s(m)	樁帽寬 (m)	樁帽厚 h(cm)
1	北防波堤(一)	25	17.1	17.5	8.40	0.30	0.60	46	5	6.72	0.80	35
2	北防波堤(二)	30	21.3	20.0	9.60	0.30	0.65	36	7	5.58	0.85	35
3	北淤砂區南側	65	45.0	45.0	6.00	0.16	1.25	40	15	5.05	1.45	35
4	工作船渠北側	40	29.1	30.0	3.50	0.10	0.90	23	9	5.71	1.10	35



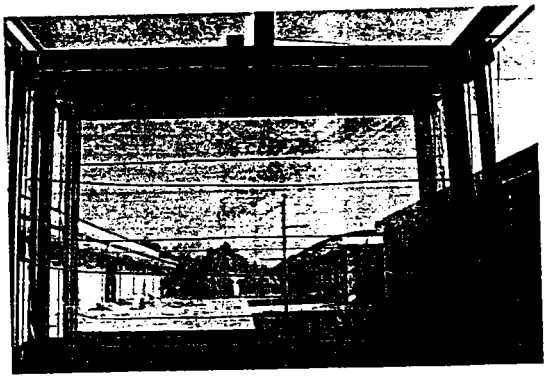
(a)半圓薄殼



(b)交角薄片

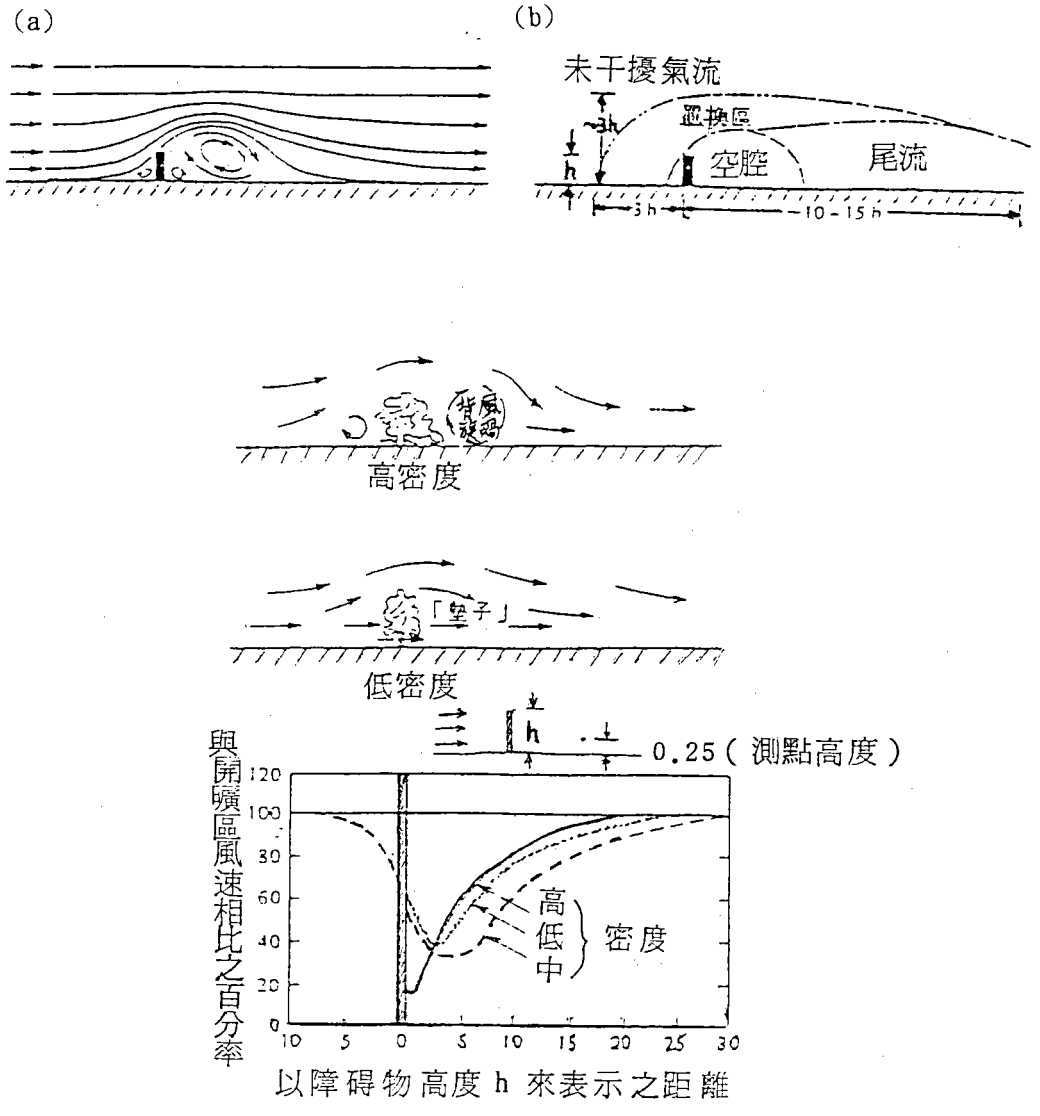


(c)圓孔薄片



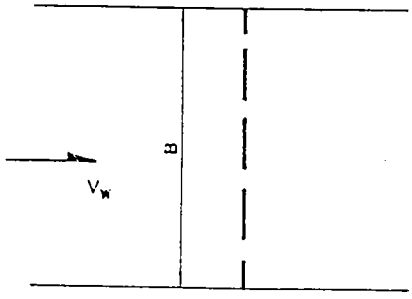
(d)透氣紗網

圖6-4-1　減風設施試驗之構造物型式

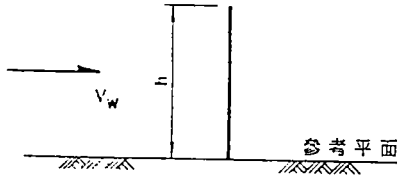


(c) 不同密度的遮蔽物，在它附近風速的低減
(Nageli,1946)

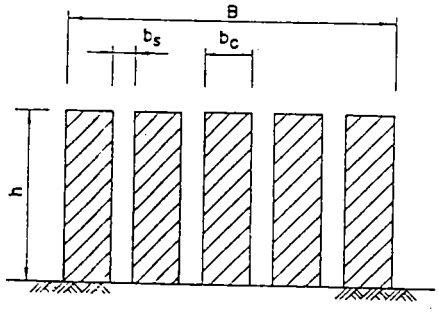
圖6-4-2 減風墻之減風機制及效果



防風牆平面圖



防風牆側視圖



防風牆正視圖

Vw：地面上10公尺高處之平均風速

h：牆高（公尺）

b_c：防風阻體結構寬度（公尺）

B：防風牆寬度（公尺）

b_s：防風牆開孔即各防風阻體間距（公尺）

n：防風牆開孔數

Ar：Aspect ratio 防風阻體縱橫比

$Ar = h/b_c$（採1.4）

透風率(opening ratio) %

$$= \frac{n \times b_s \times h}{B \times h}$$

2維風洞試驗結果分析

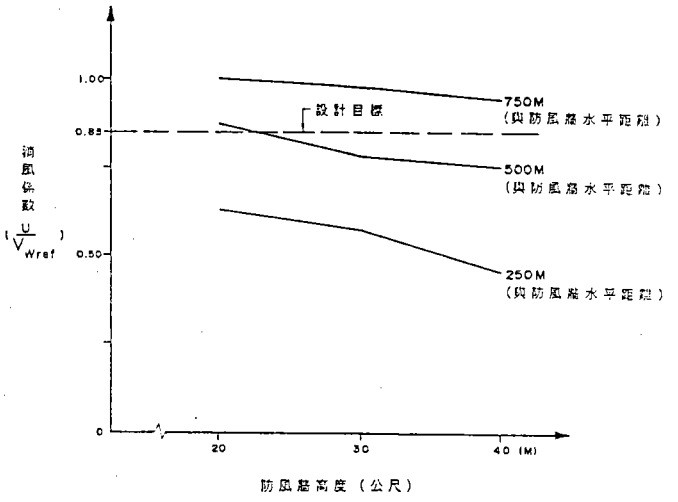
防風牆高度		20m	30m	40m
透風率	測試距離(公尺)	平均消風係數 u/Vw		
50%	−250m	1.15	1.15	1.15
	+250m	0.61	0.57	0.45
	+500m	0.85	0.78	0.72
	+750m	1.0	0.97	0.95
30%	−250m		1.13	
	+250m		0.43	
	+500m		0.62	
	+750m		0.81	

附註：1. 測試距離係以防風牆為座標，+值表示背風側，−值表示迎風側，均以公尺表示。

2. Vw表示原始風速，u 表示通過防風阻體迎風面及背風面測試點距離地面10公尺之風速。

圖6-4-3 防風設施二維風洞試驗佈置及結果

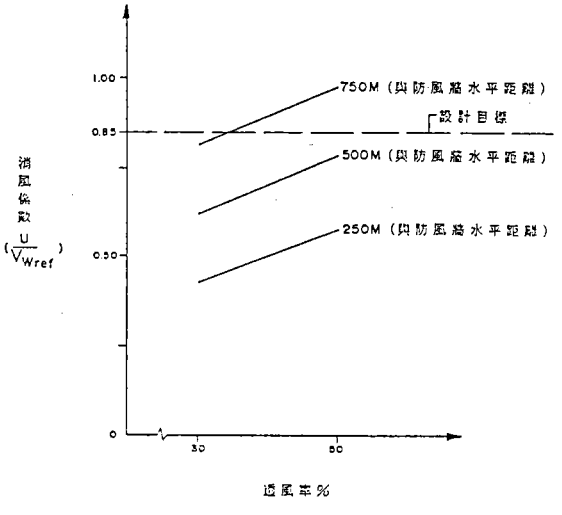
（資料來源：中華顧問工程司，1992）



附註：1. 本結果係2-D試驗初步結果分析而得。

2. V_{Vref} 係指地面上10公尺處之參考點平均風速。

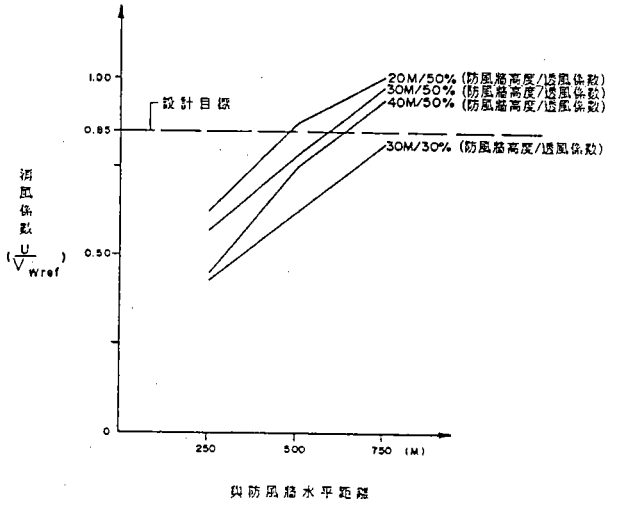
(a) 平均消風係數 (50%) 與防風籬高之關係



附註：1. 本結果係2-D試驗初步結果分析而得。

2. V_{Vref} 係指地面上10公尺處之參考點平均風速。

(b) 30公尺高防風籬風速與透風率之函數關係



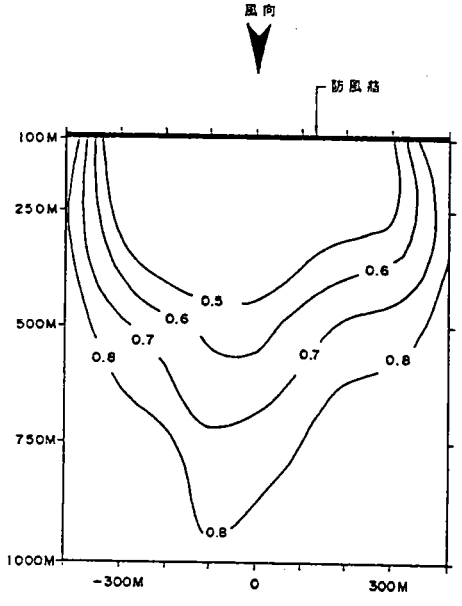
附註：1. 本結果係2-D試驗初步結果分析而得。

2. V_{Vref} 係指地面上10公尺處之參考點平均風速。

(c) 風速與防風籬距離之函數關係

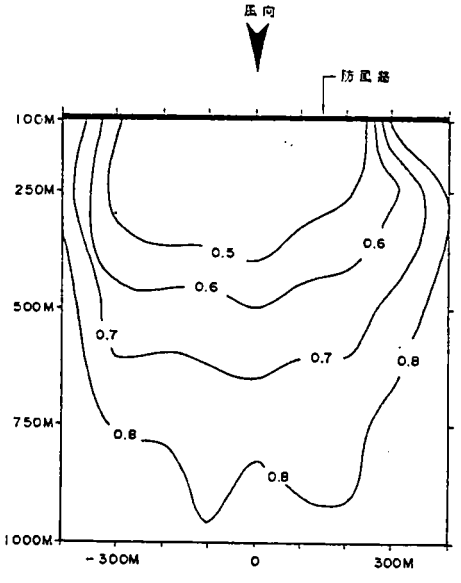
圖6-4-4 防風設施二維風洞試驗結果

(資料來源：中華顧問工程司, 1992)



附註：本圖為矩形斷面之防風籬，透風率50%，
籬高30公尺之消風係數等值線分佈。

(a) 三維風洞試驗之消風效果—矩形防風粗籬



附註：本圖為半圓形斷面之防風籬，透風率50%，
籬高50公尺之消風係數等值線分佈。

(b) 三維風洞試驗之消風效果—半圓形防風粗籬

圖6-4-5 防風設施三維風洞試驗結果

(資料來源：中華顧問工程司，1992)

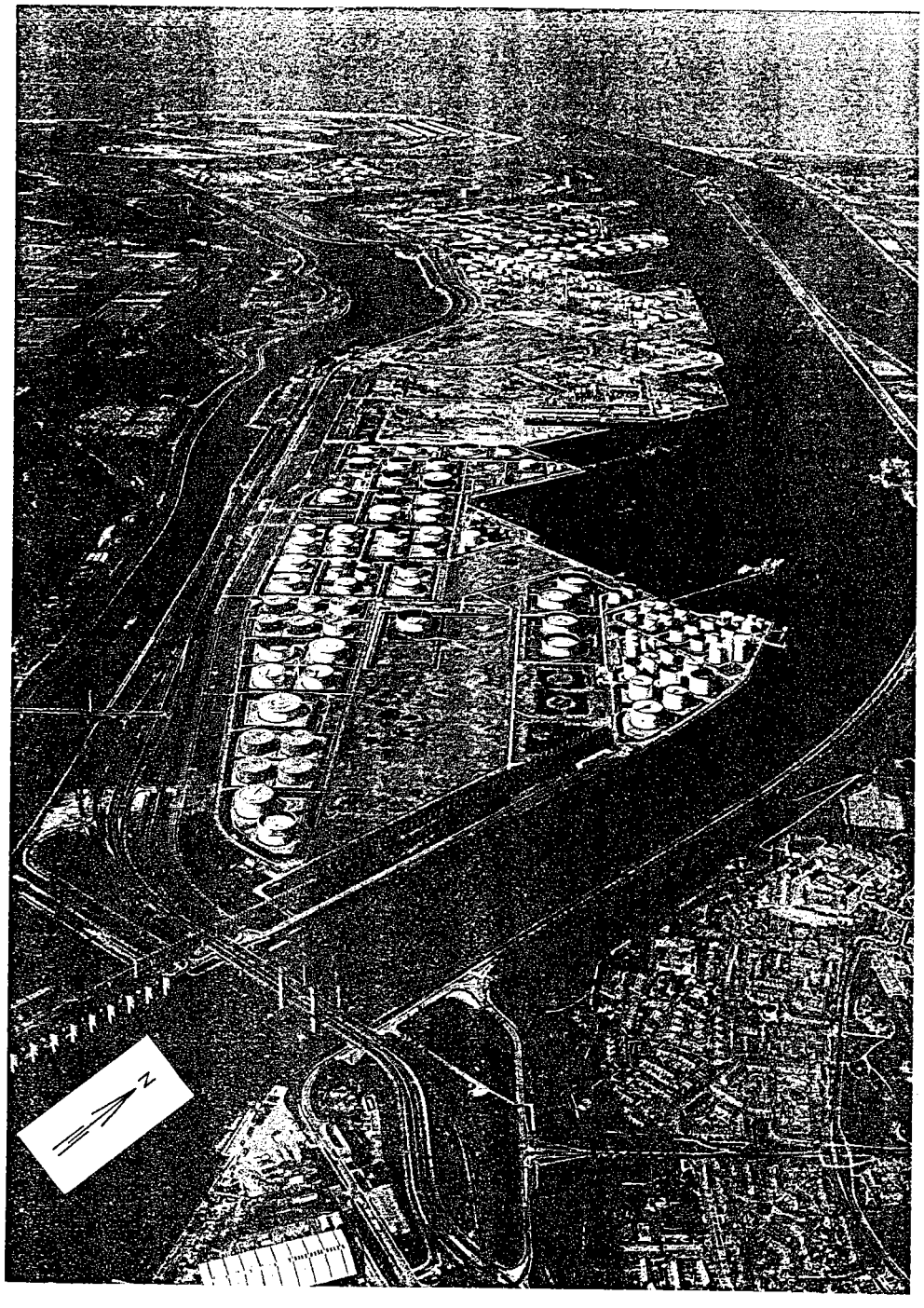


圖6-4-6　荷蘭鹿特丹港港口與加蘭運河

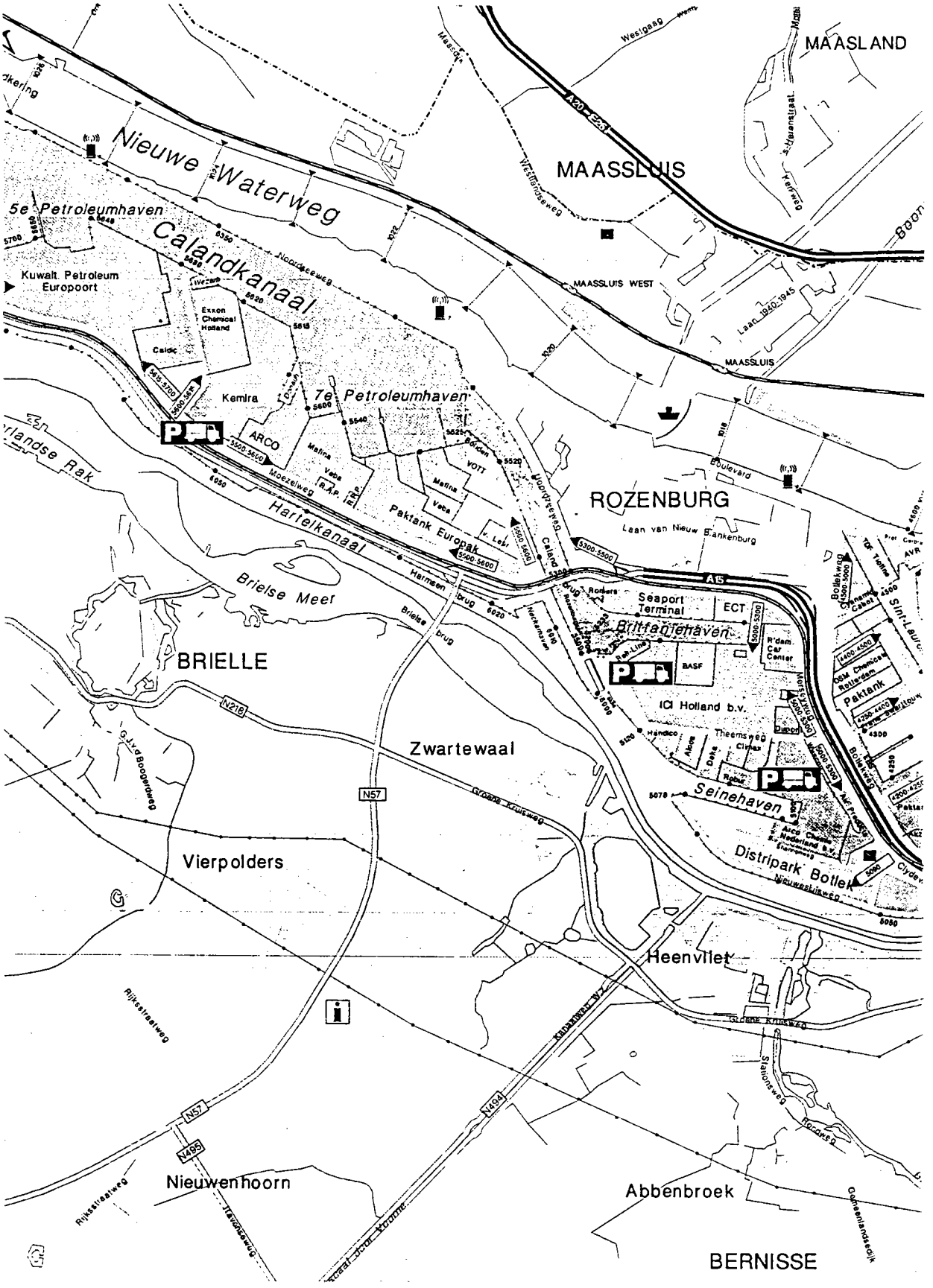


圖6-4-7　荷蘭加蘭運河、加蘭橋及布里坦尼亞港區

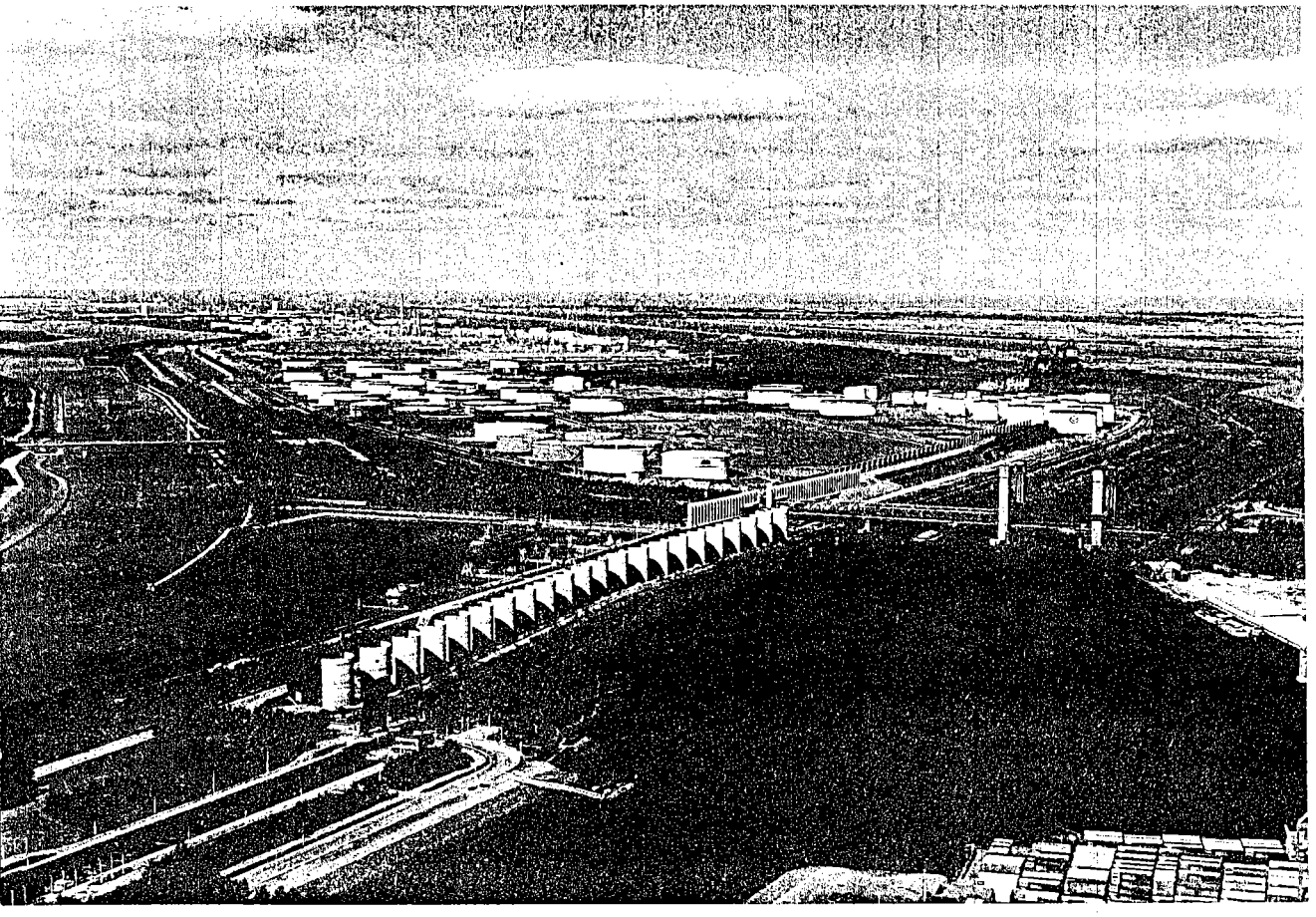


圖6-4-8　加蘭橋及加蘭運河旁減風墻由南向北透視全景

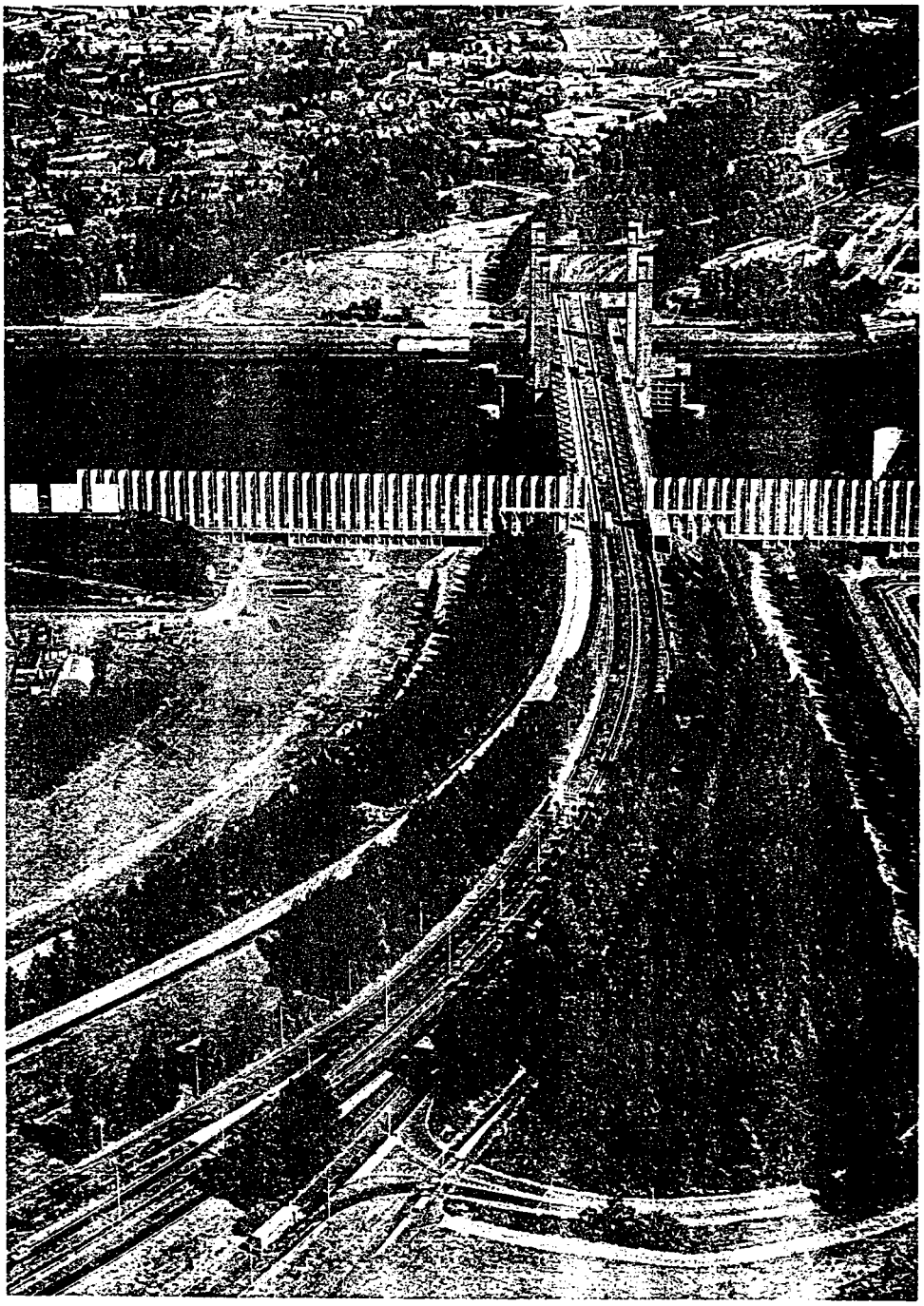


圖6-4-9　加蘭橋及加蘭運河旁減風墻由西向東透視全景

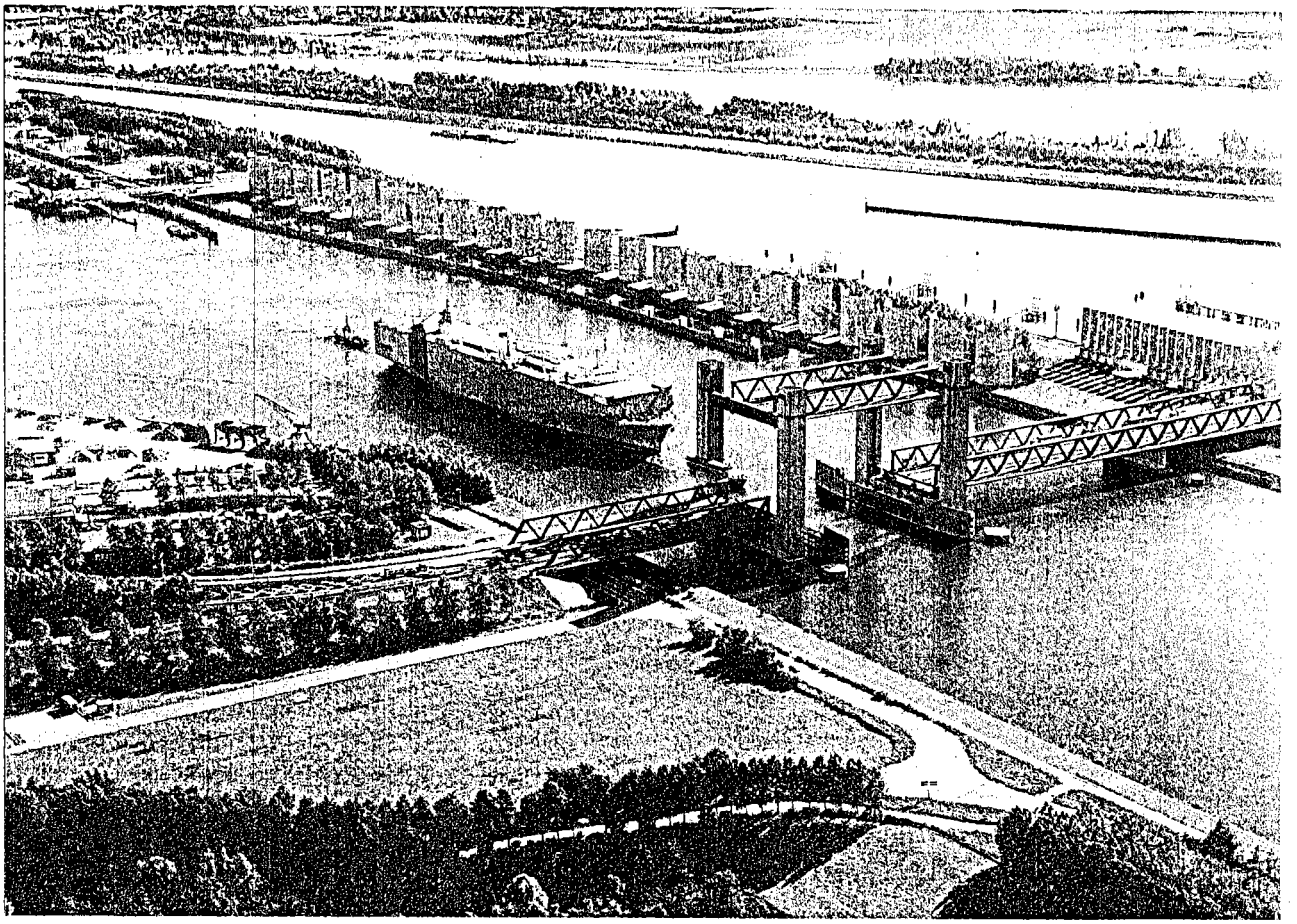


圖6-4-10　加蘭橋及加蘭運河旁減風墻由東向西透視全景

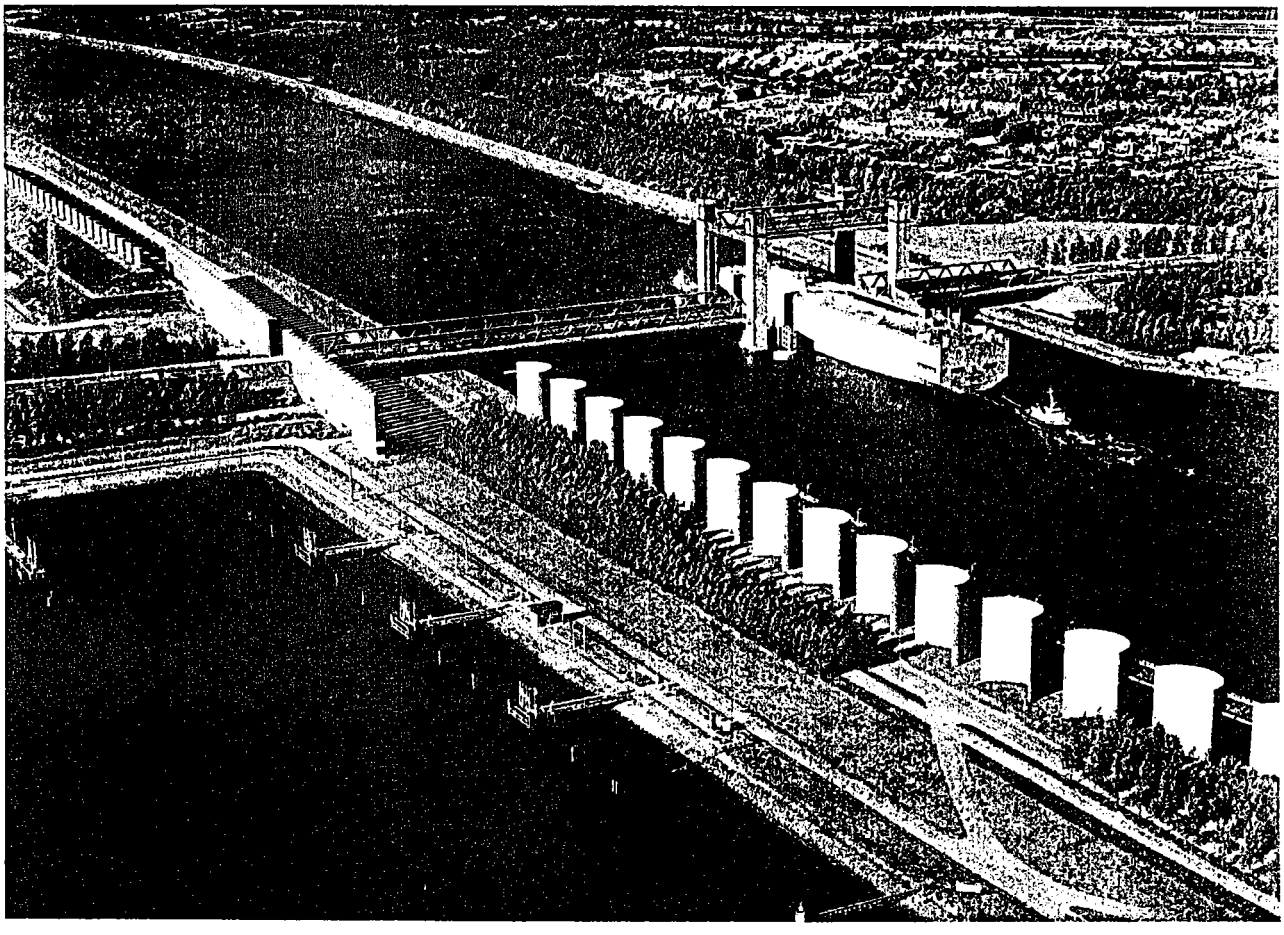


圖6-4-11　汽車船通過加蘭橋及拖船助航全景

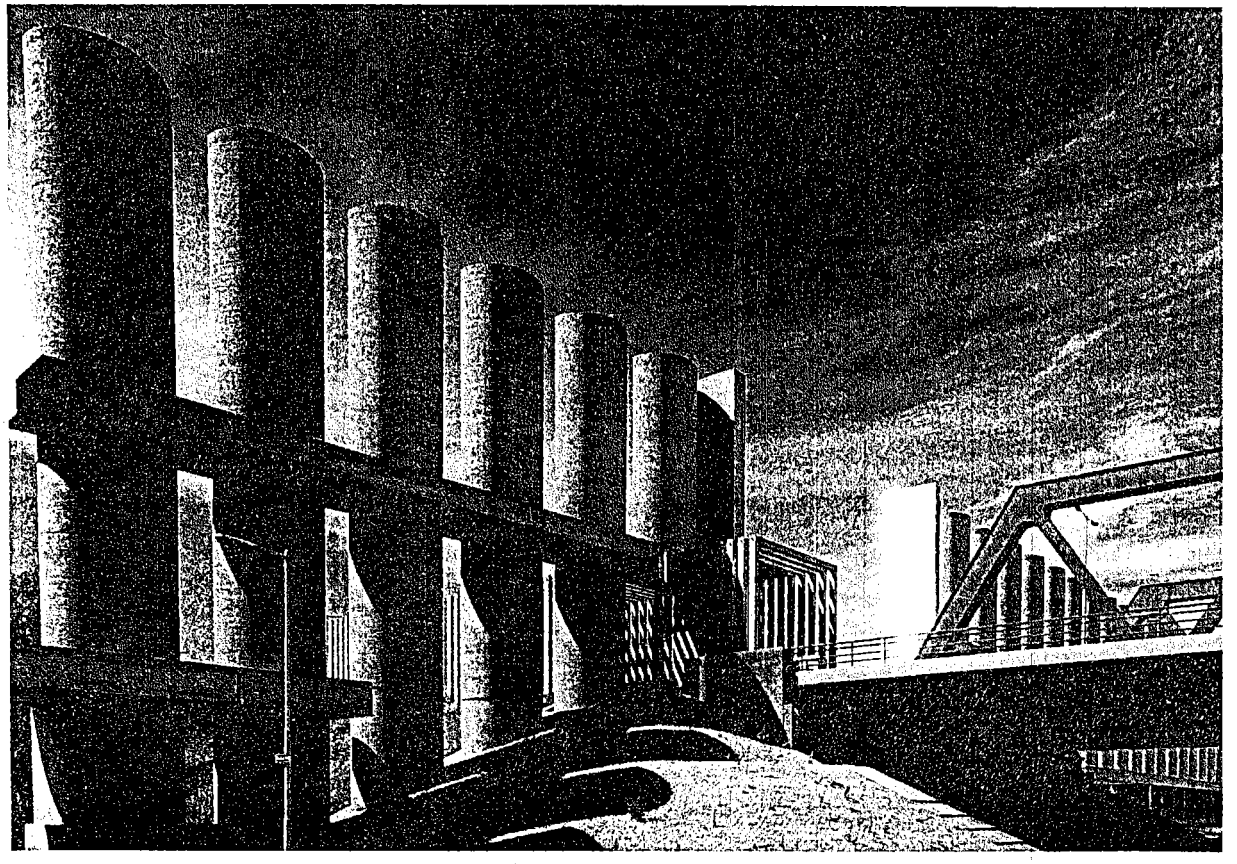


圖6-4-12　減風墻中段與加蘭橋交接段全景

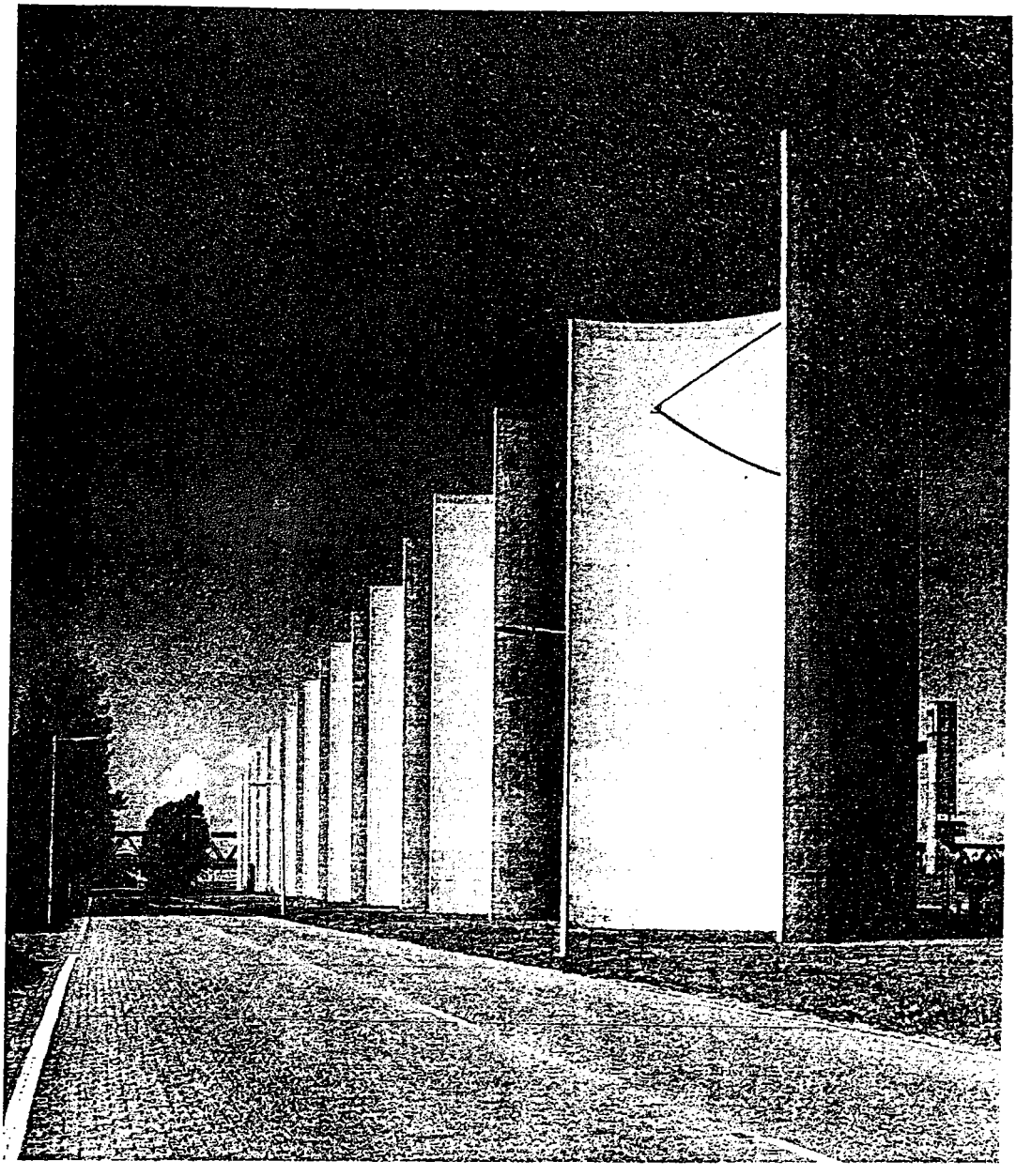
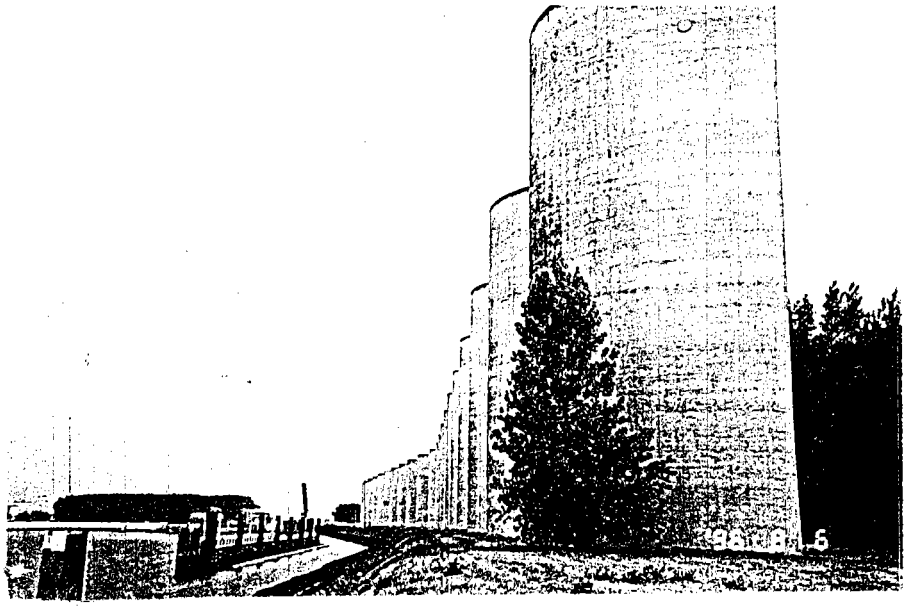
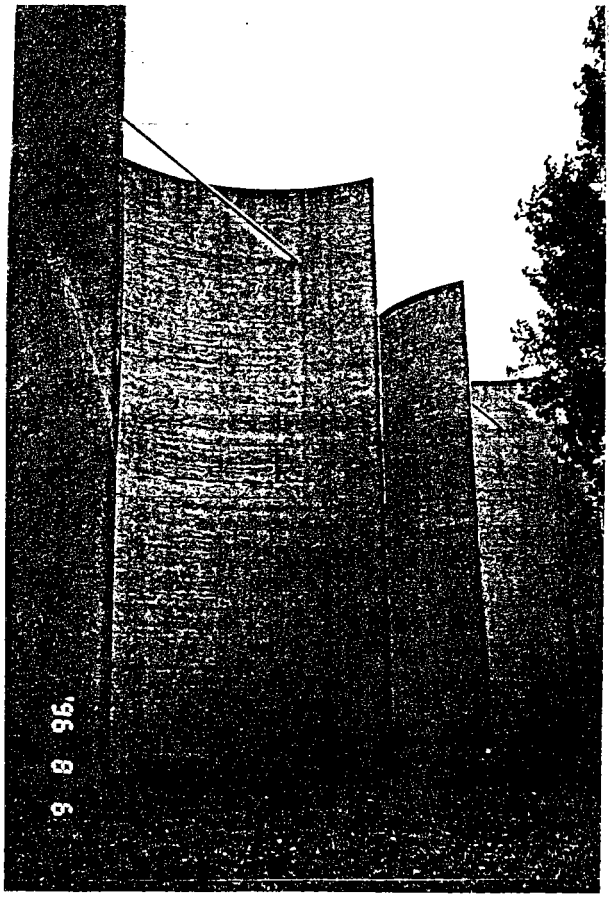


圖6-4-13　減風墻南段由北向南透視全景





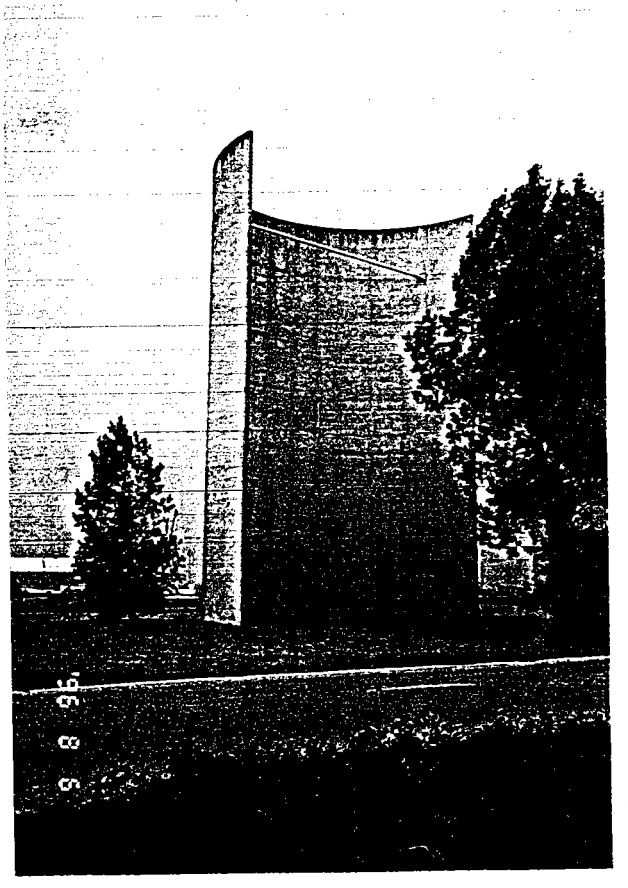


圖6-4-14a　減風墻南段之透視與結構型式

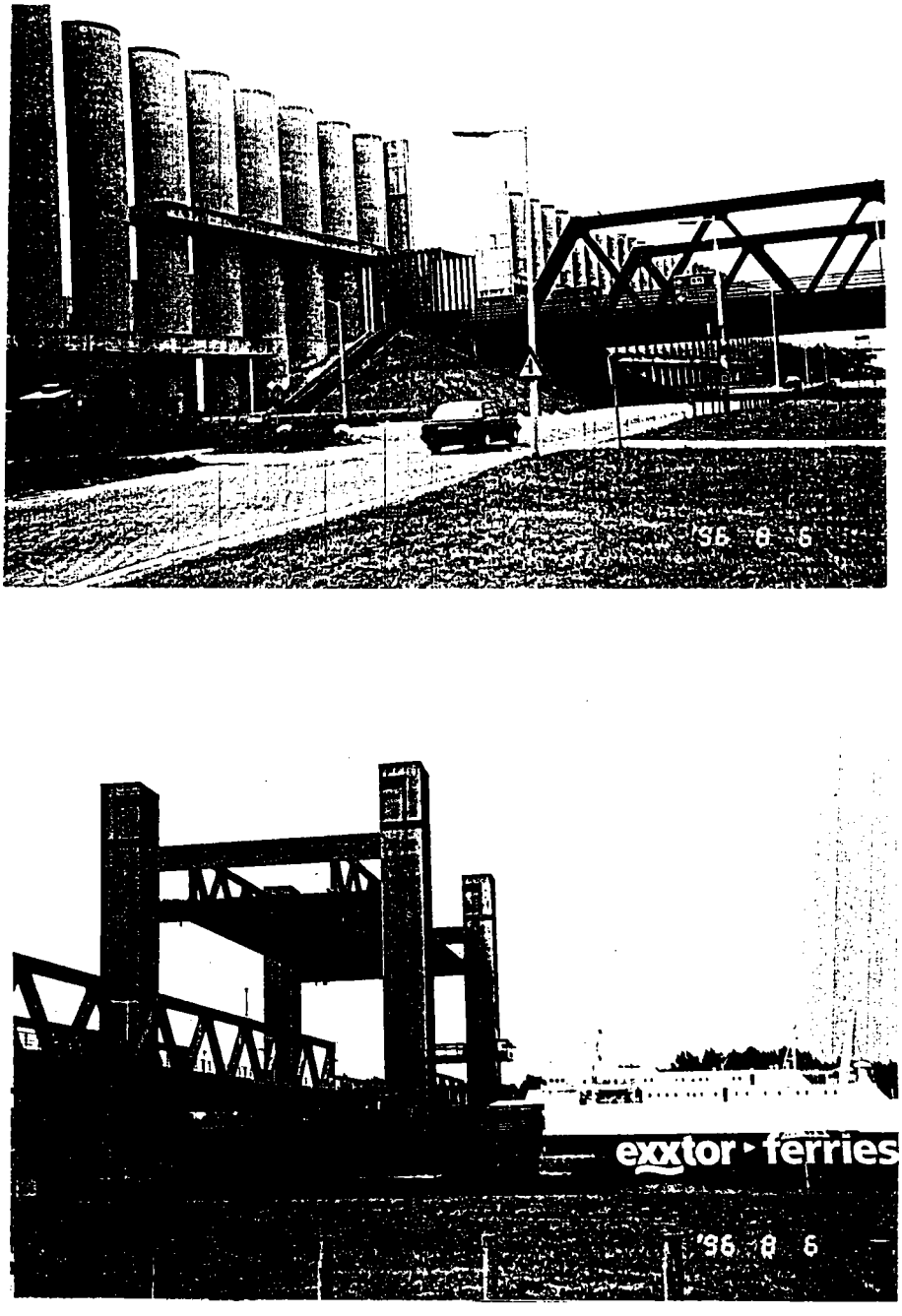


圖6-4-14b　減風墻中段與加蘭橋

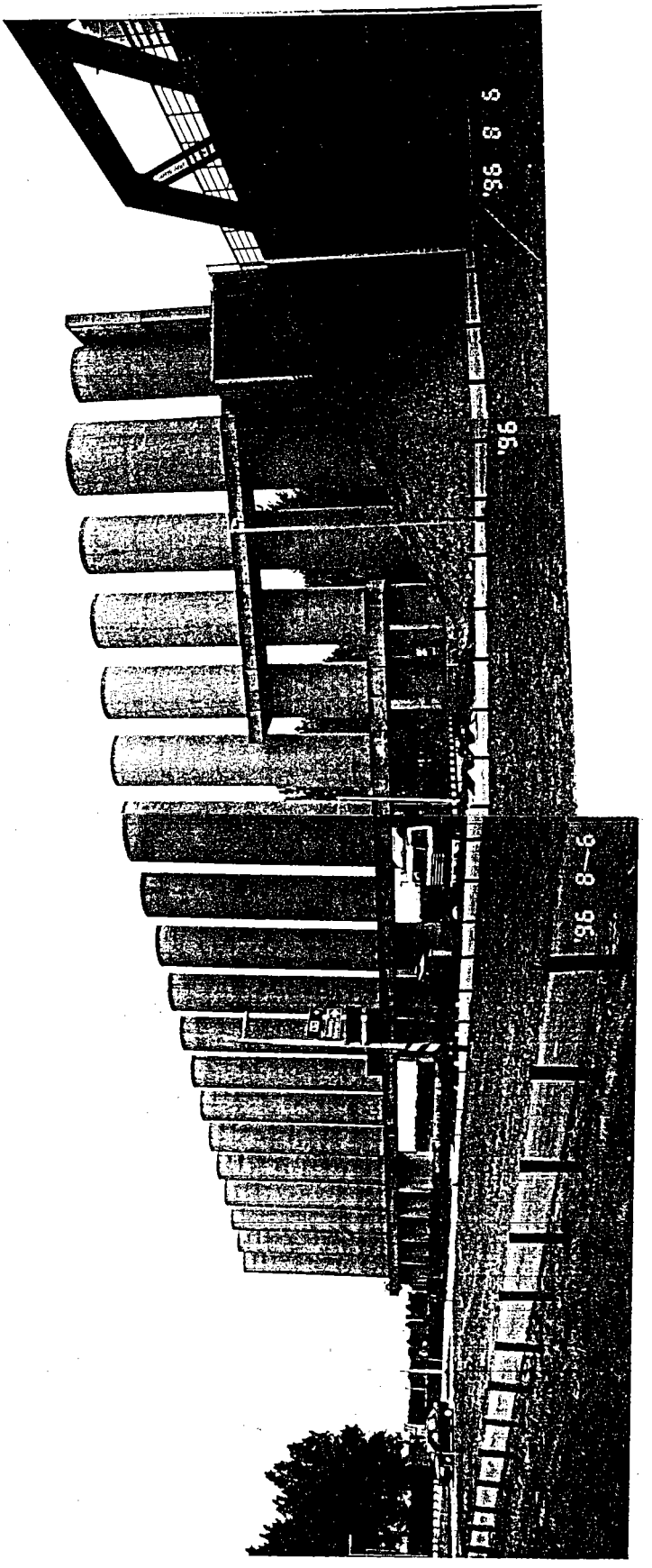
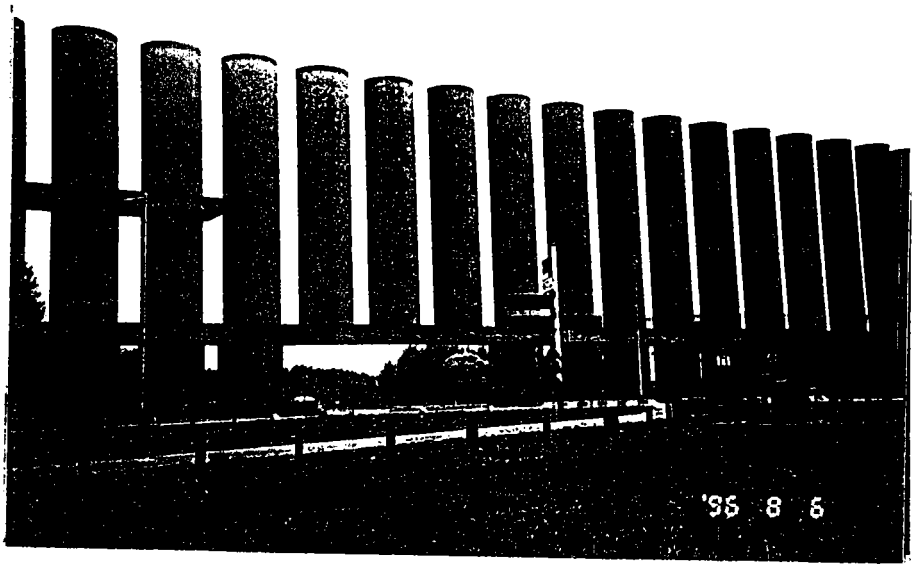


圖6-4-14c　減風墻中段南面之結構型式



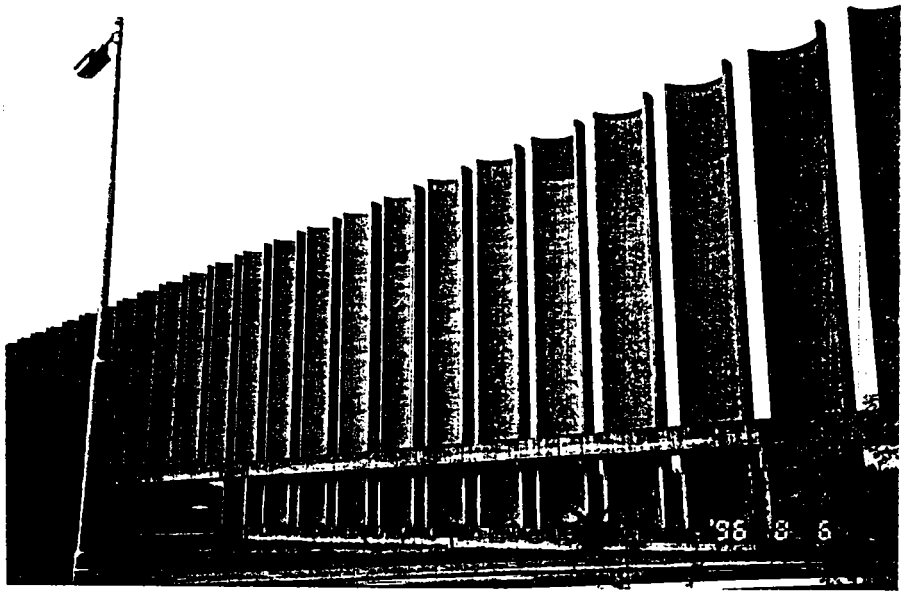
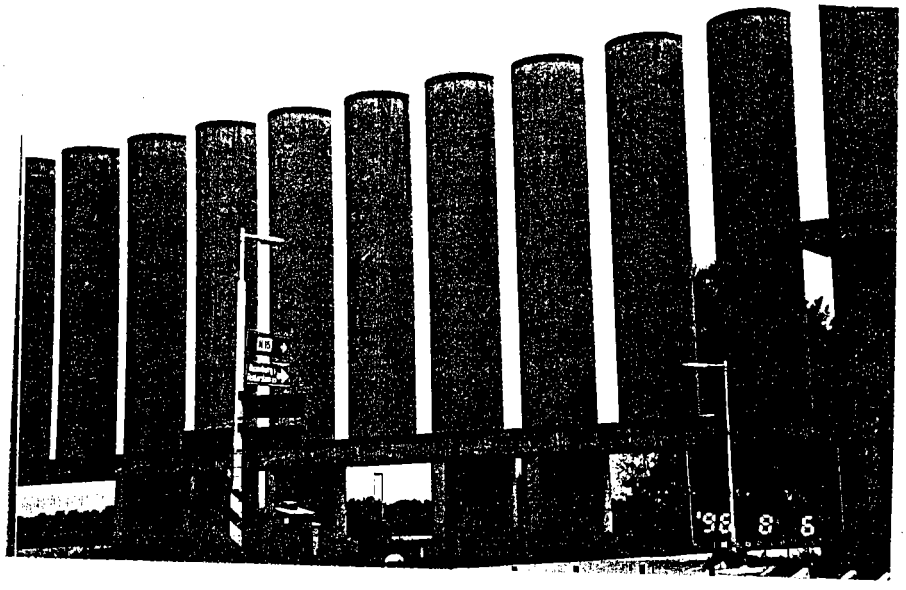


圖6-4-14d　減風墻中段北面之正反向結構型式



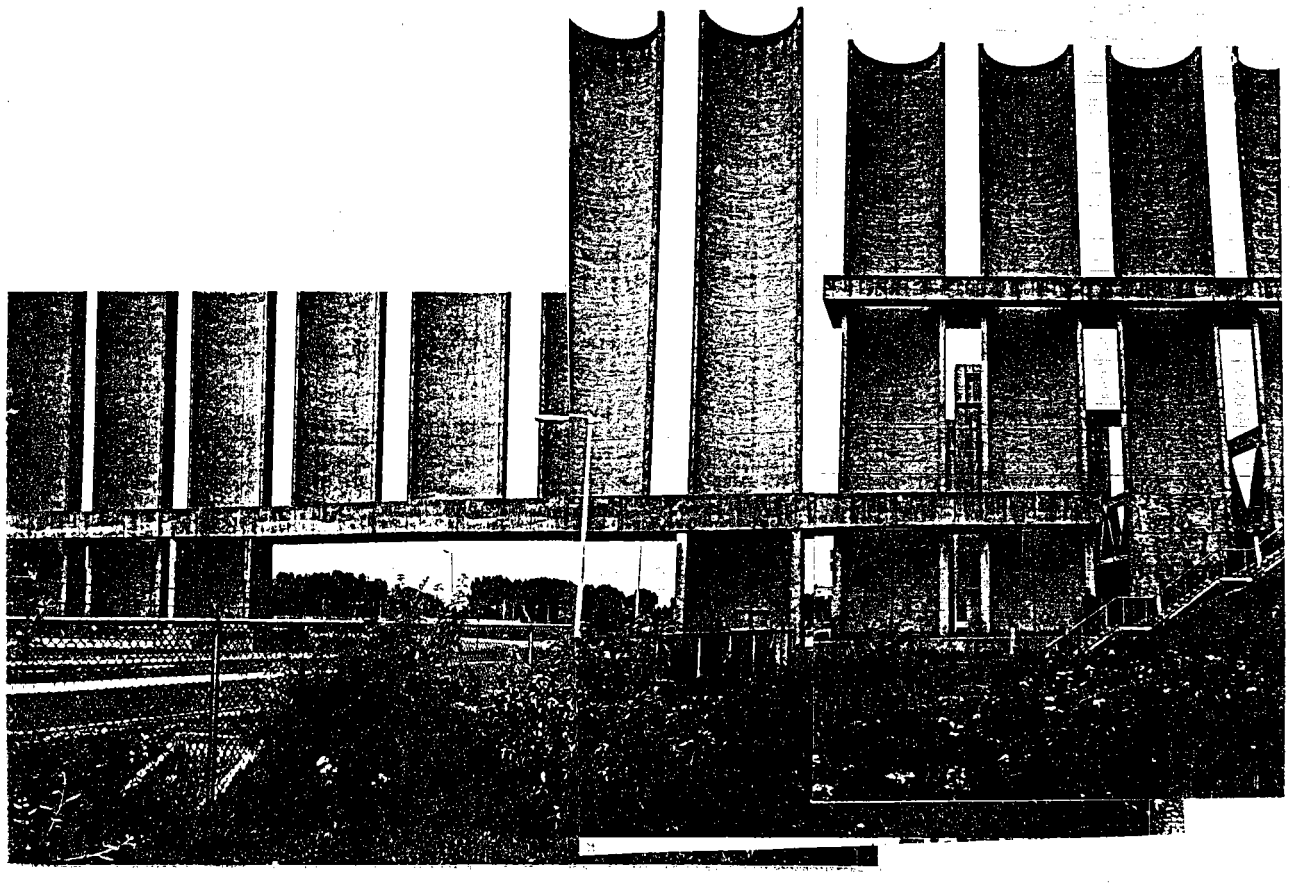
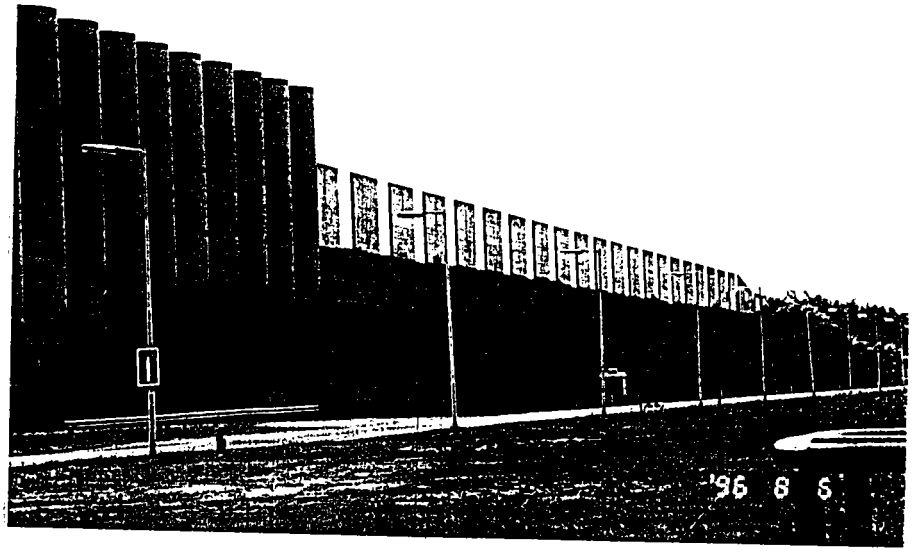


圖6-4-14e　減風墻中段北面之正反向結構型式



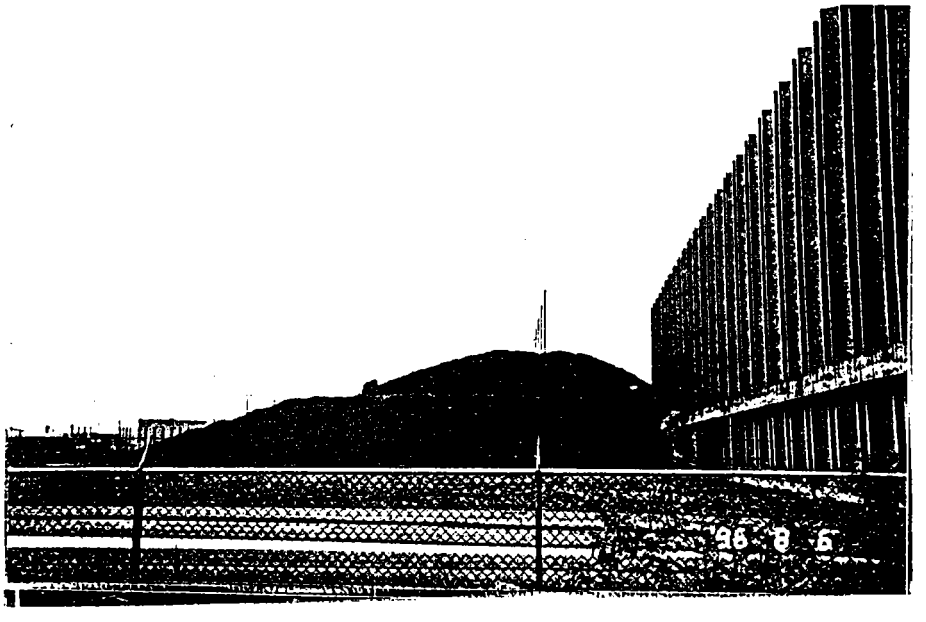


圖6-4-14f　減風墻中段與其北段構造型式

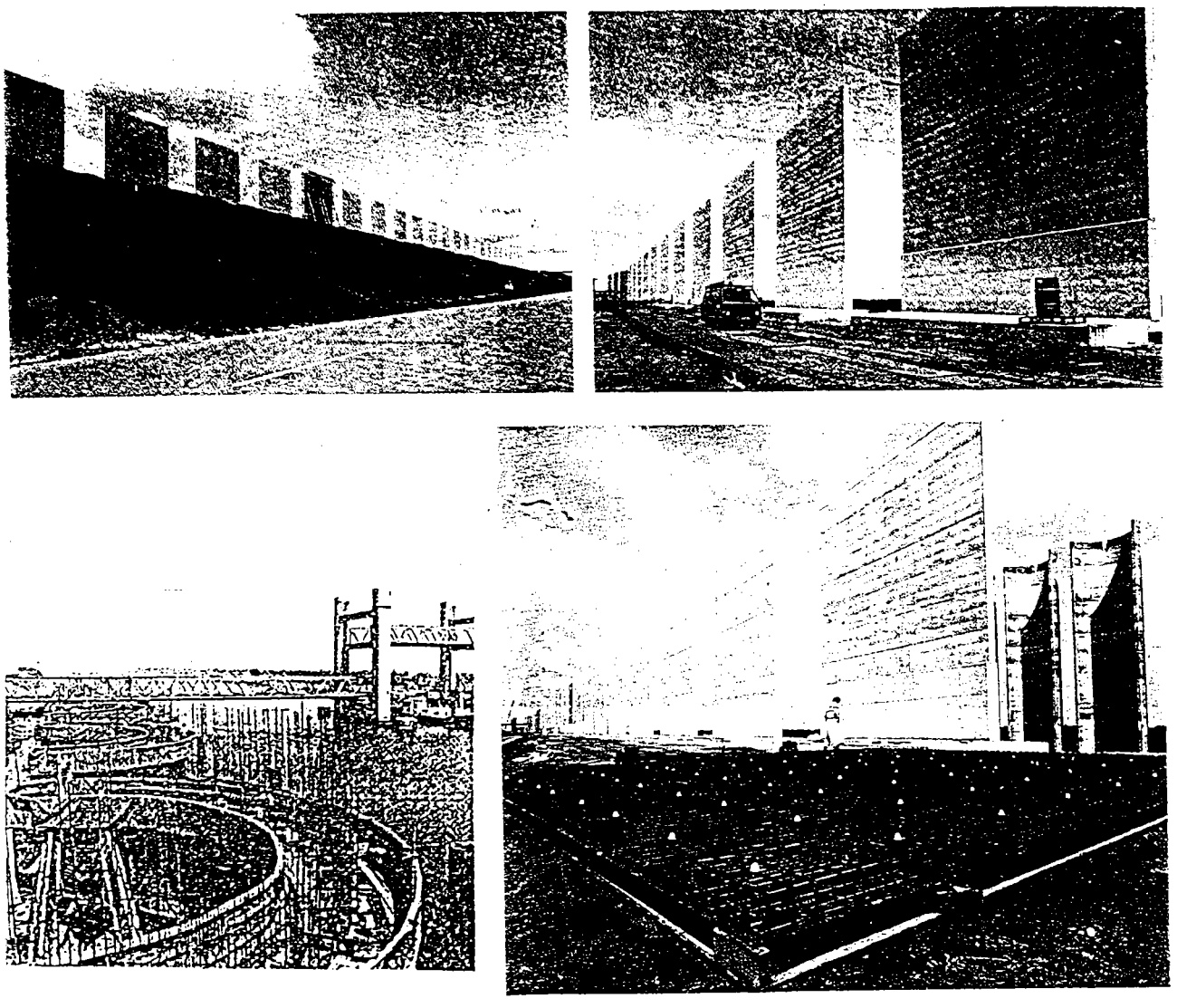


圖6-4-14g　減風墻北段及其南段之施工

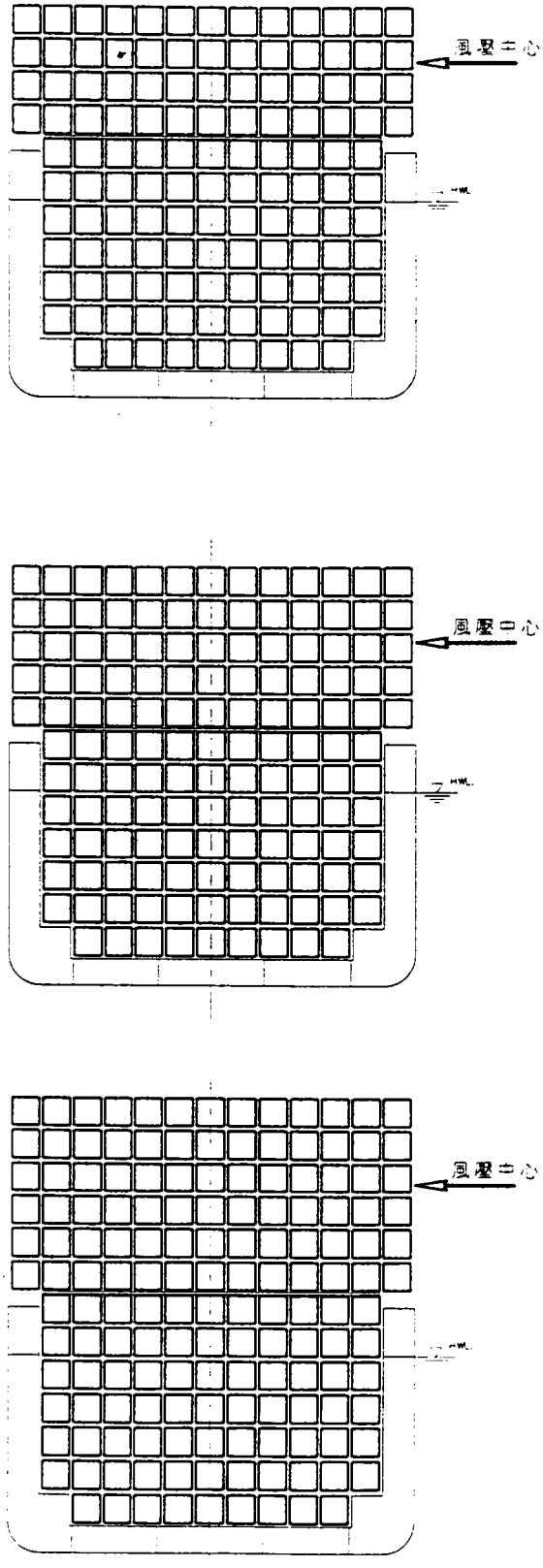


圖6-5-1　一般貨櫃船裝載受風示意圖

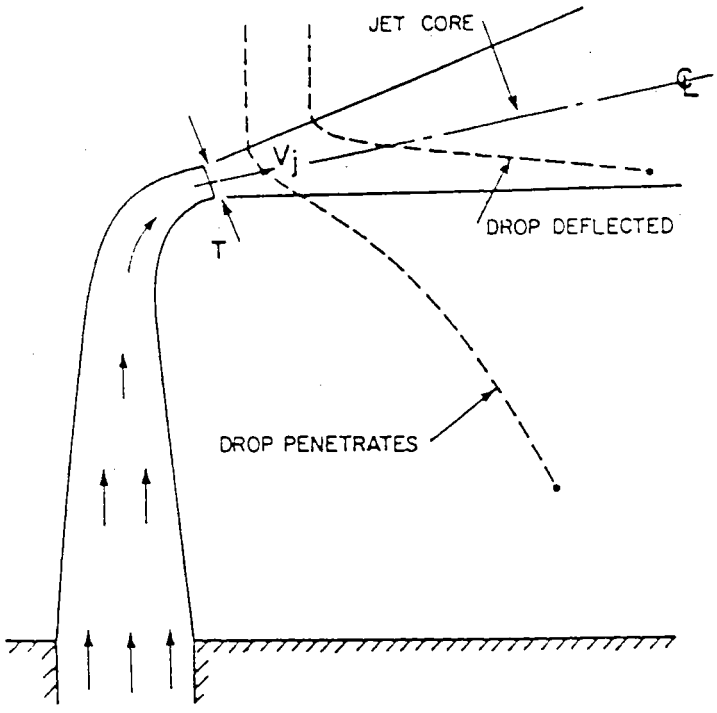


圖6-6-1　天蓬式氣幕減風設施示意圖

（資料來源：HAASZ and RALMONDO, 1980）

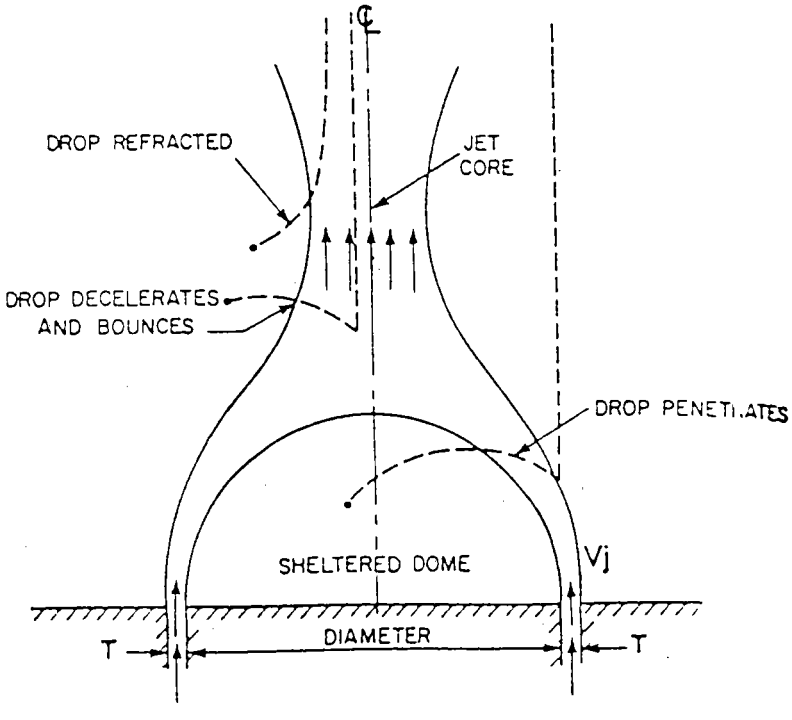


圖6-6-2　環形式氣幕減風設施示意圖

（資料來源：HAASZ and RAIMONDO, 1980）

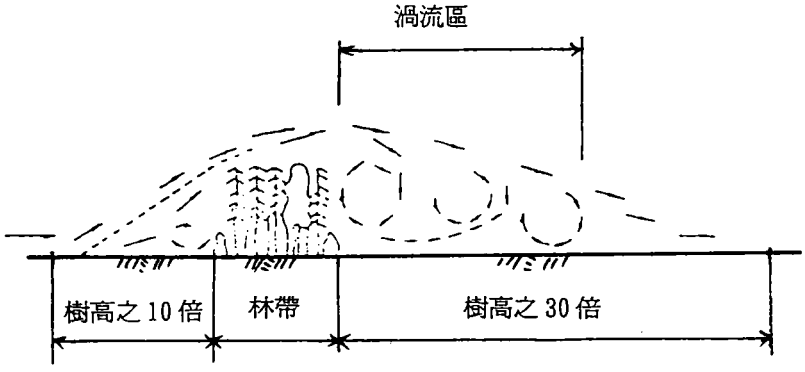


圖6-6-3　防風林帶之遮蔽緩衝作用

（資料來源：中華顧問工程司，民國69年）

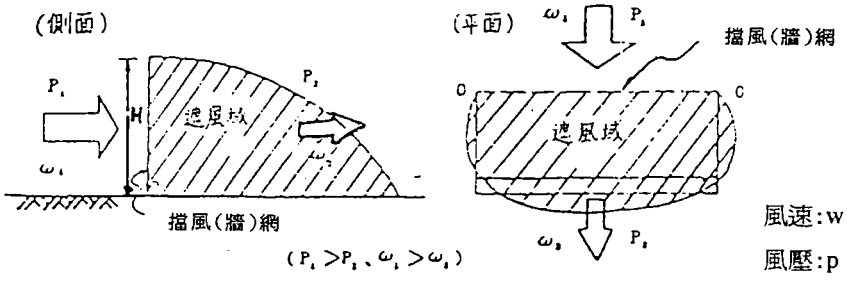


圖6-6-4　擋風牆(網)遮蔽範圍圖

（資料來源：中華顧問工程司，民國69年）

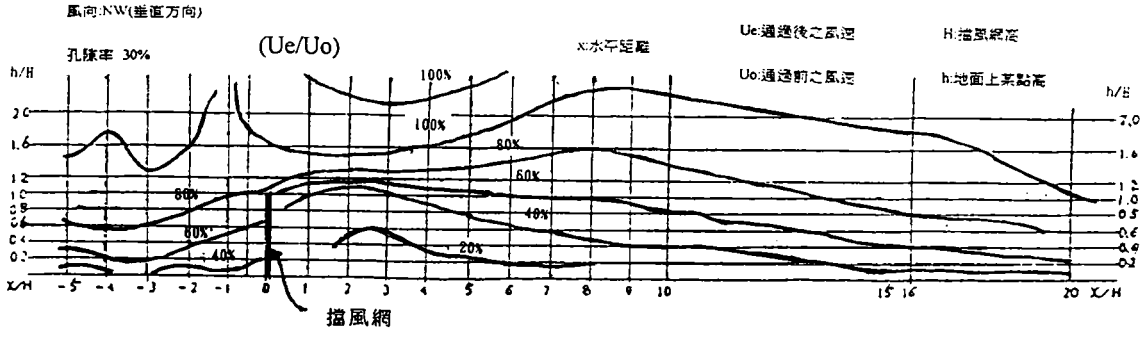


圖6-6-5　設置擋風網後之等風速線變化圖

（資料來源：中華顧問工程司，民國69年）

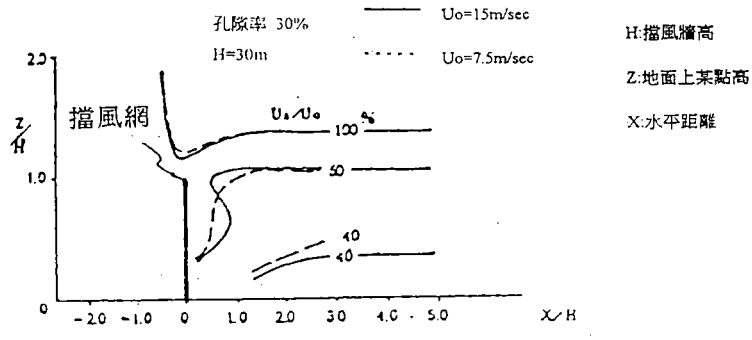


圖6-6-6a 擋風網在風速為15m/sec與7.5m/sec下之遮風效果

（資料來源：中華顧問工程司，民國69年）

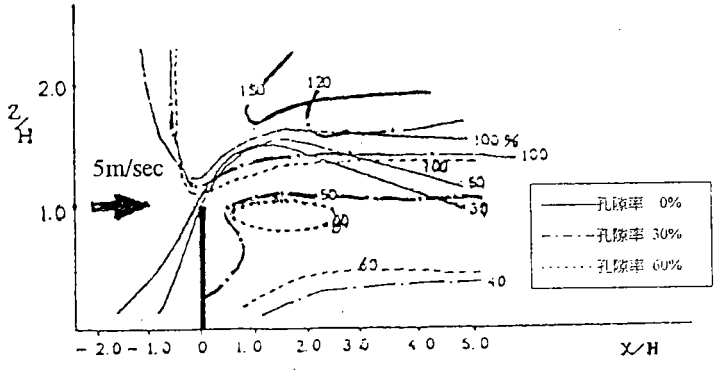


圖6-6-6b 擋風網在不同孔隙率下之遮風效果

（資料來源:中華顧問工程司，民國69年）

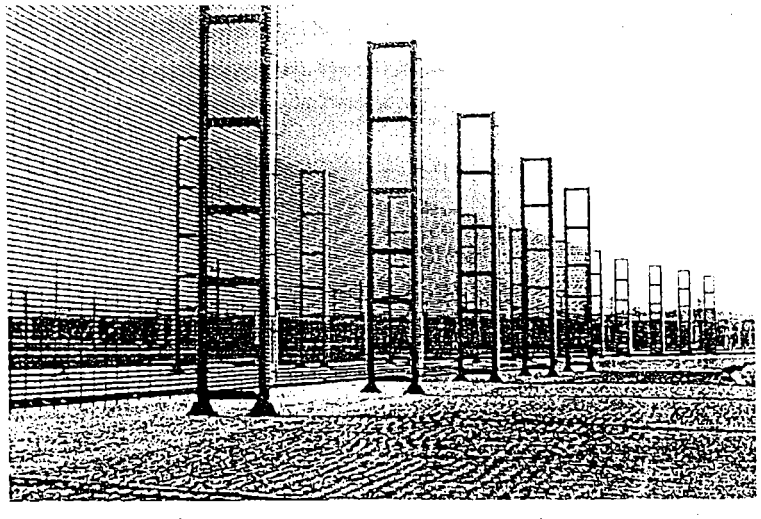


圖6-6-7 設定英法隧道Coquelles附近之擋風網

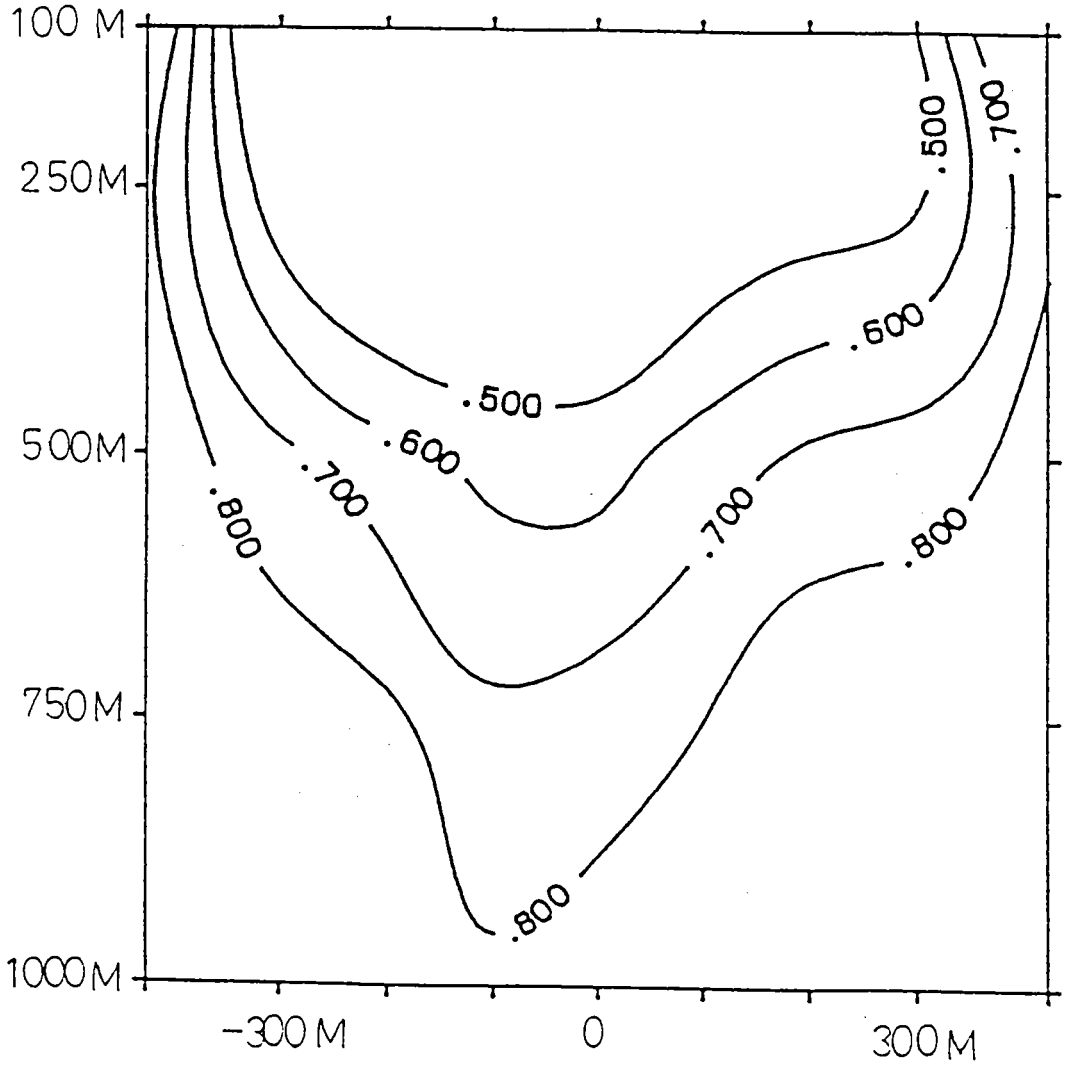


圖6-6-8　矩形阻風牆下游離水面10M處在北北東風向之等減風係數分佈
（資料來源：中央研究院物理研究所，民國79年）

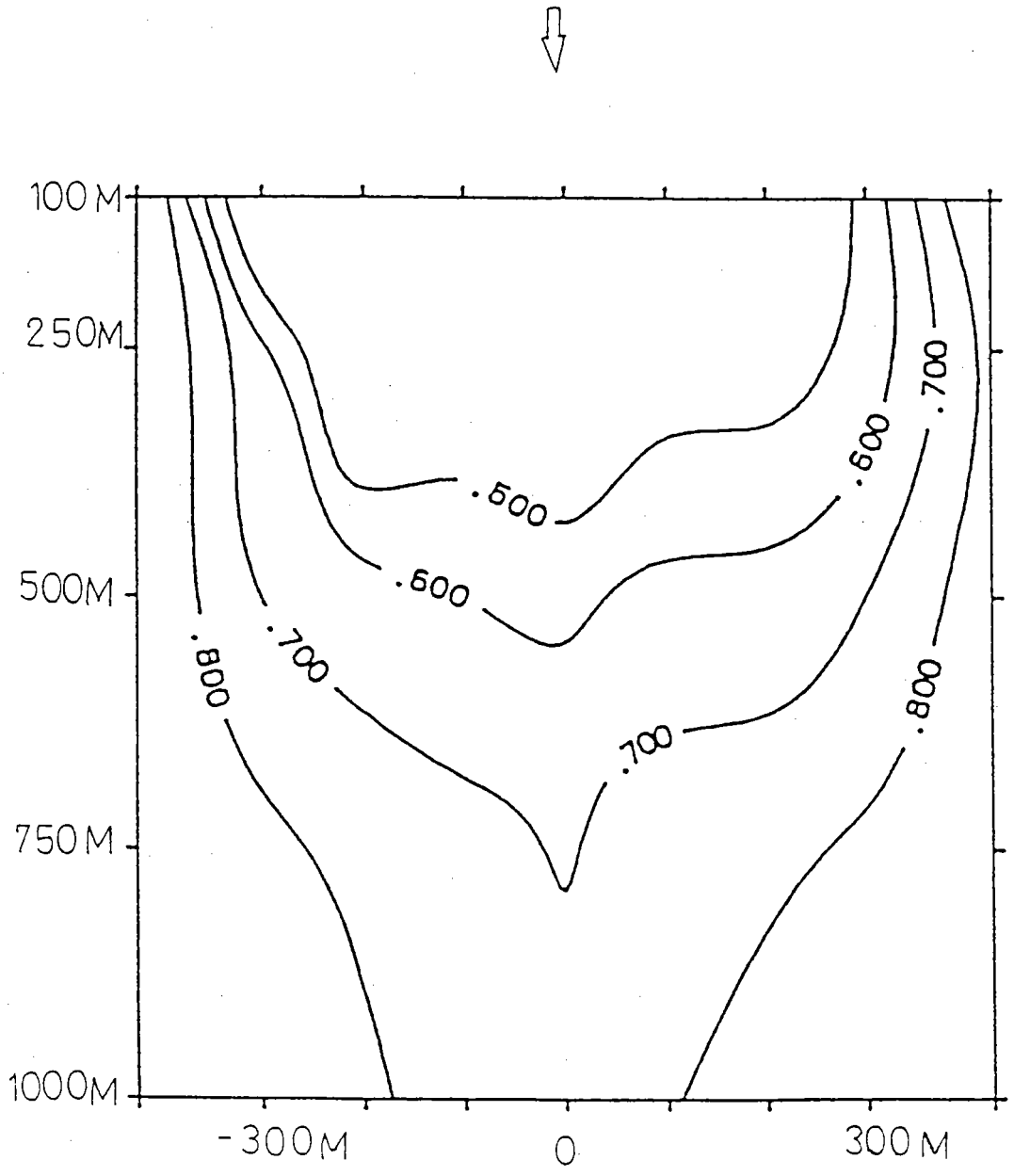


圖6-6-9　矩形阻風牆下游離水面20M處在北北東風向之等減風係數分佈

（資料來源：中央研究院物理研究所，民國79年）

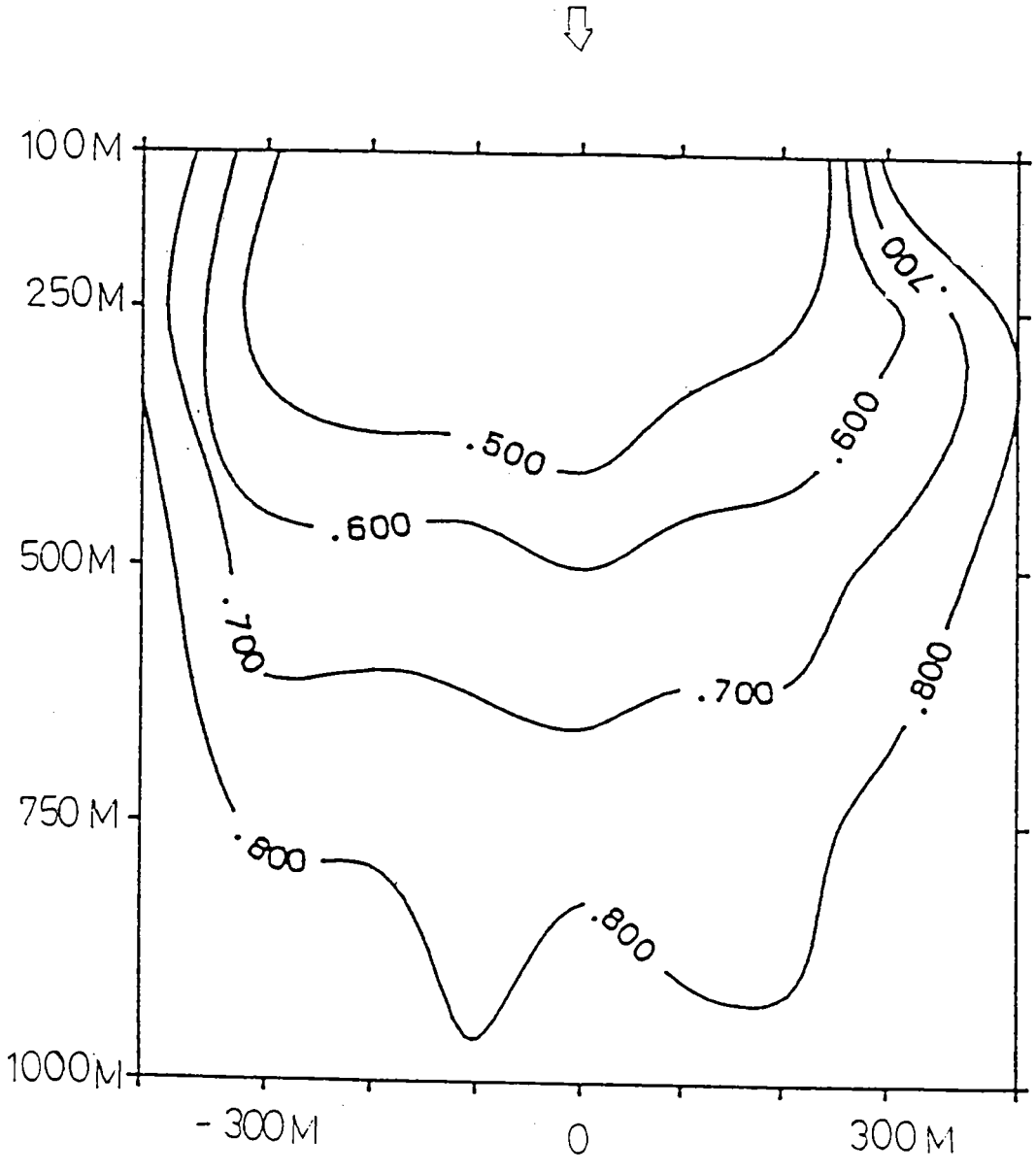


圖6-6-10　半圓形阻風牆下游離水面10M處在北北東風向之等減風係數分佈
（資料來源：中央研究院物理研究所，民國79年）

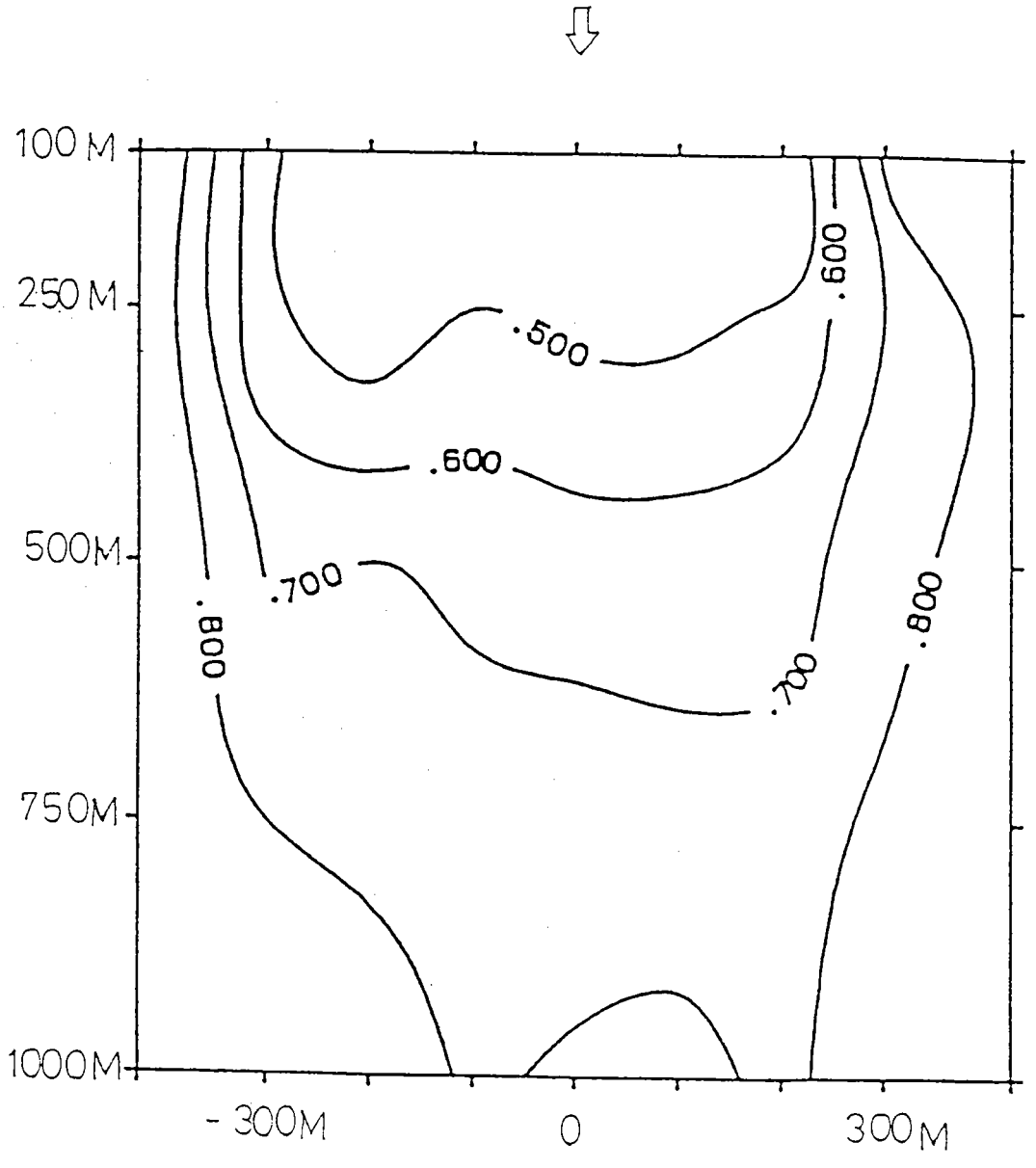


圖6-6-11　半圓形阻風牆下游離水面20M處在北北東風向之等減風係數分佈
（資料來源：中央研究院物理研究所，民國79年）

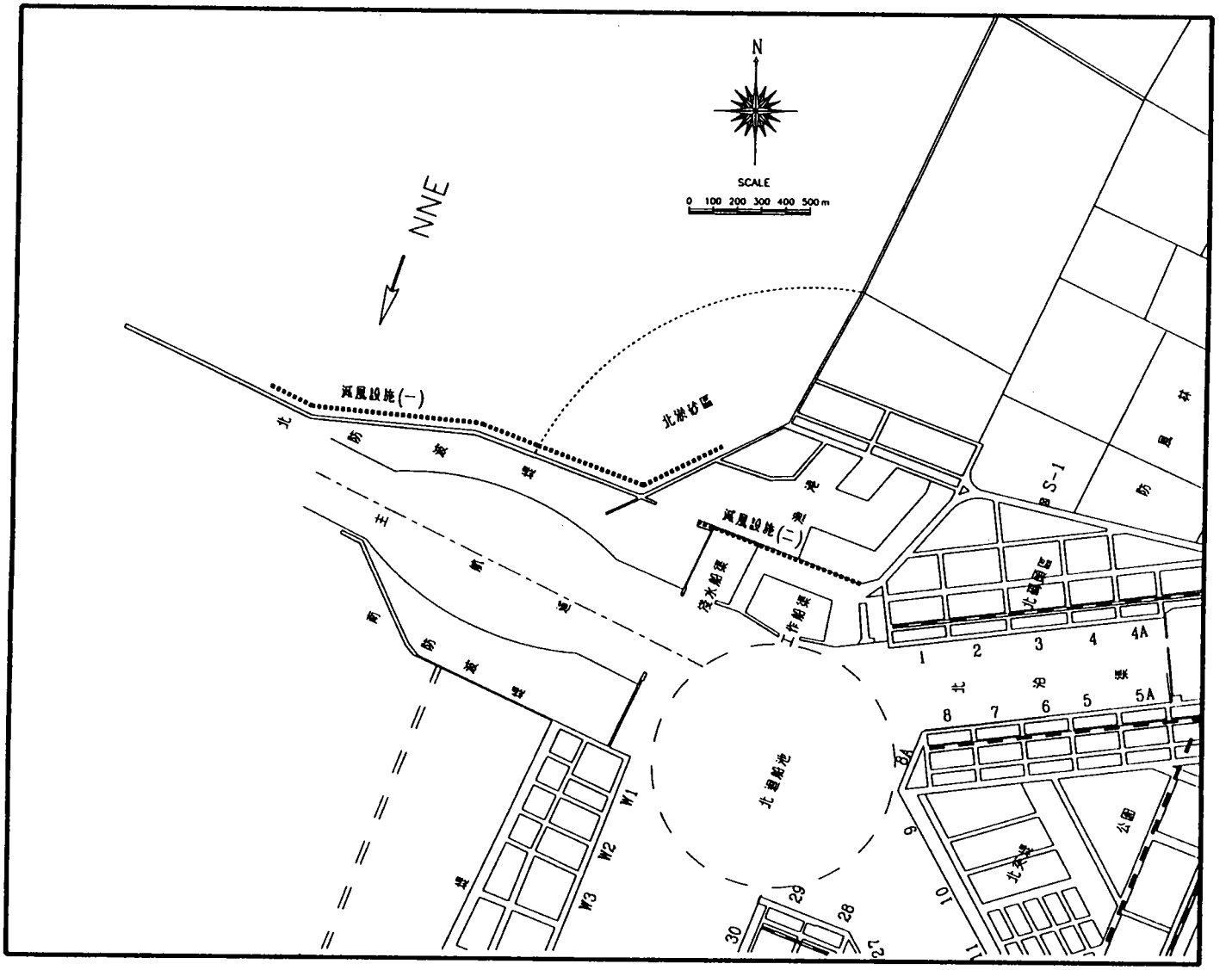


圖6-7-1　減風設施方案一配置圖

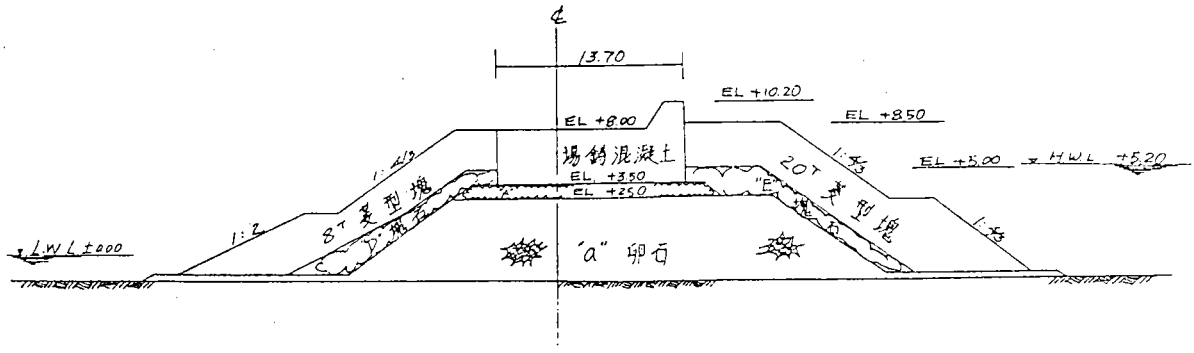


圖6-7-2　北防波堤拋石堤標準斷面圖(0k+562.50m～0k+650.10m)
(資料來源：台中港務局，民國65年)

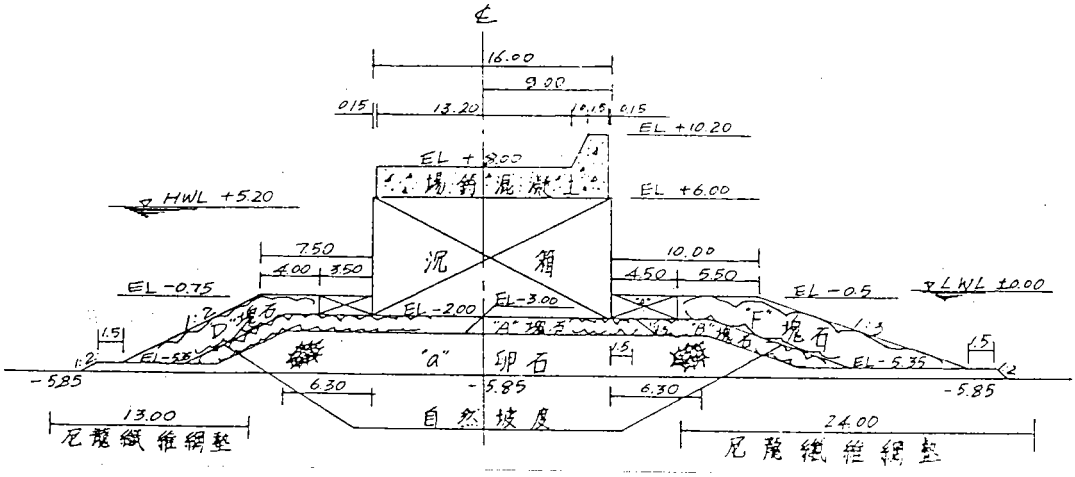


圖6-7-3a　北防波堤沉箱合成堤標準斷面圖(0k+650.10m～1k+646.03m)
(資料來源：台中港務局，民國65年)

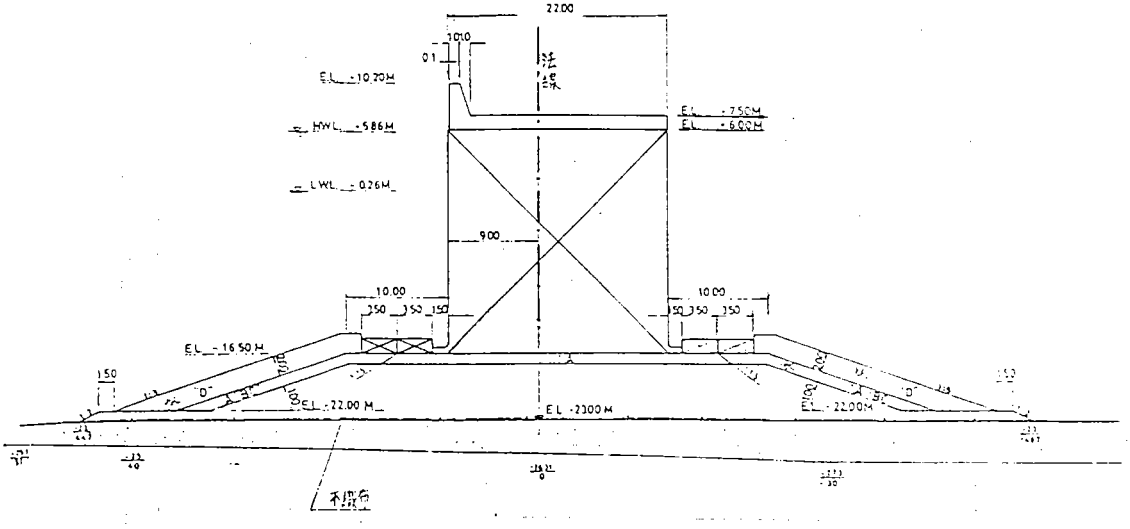


圖6-7-3b　北防波堤850M延長段標準斷面圖(0k+100.00m)
(資料來源：台中港務局)

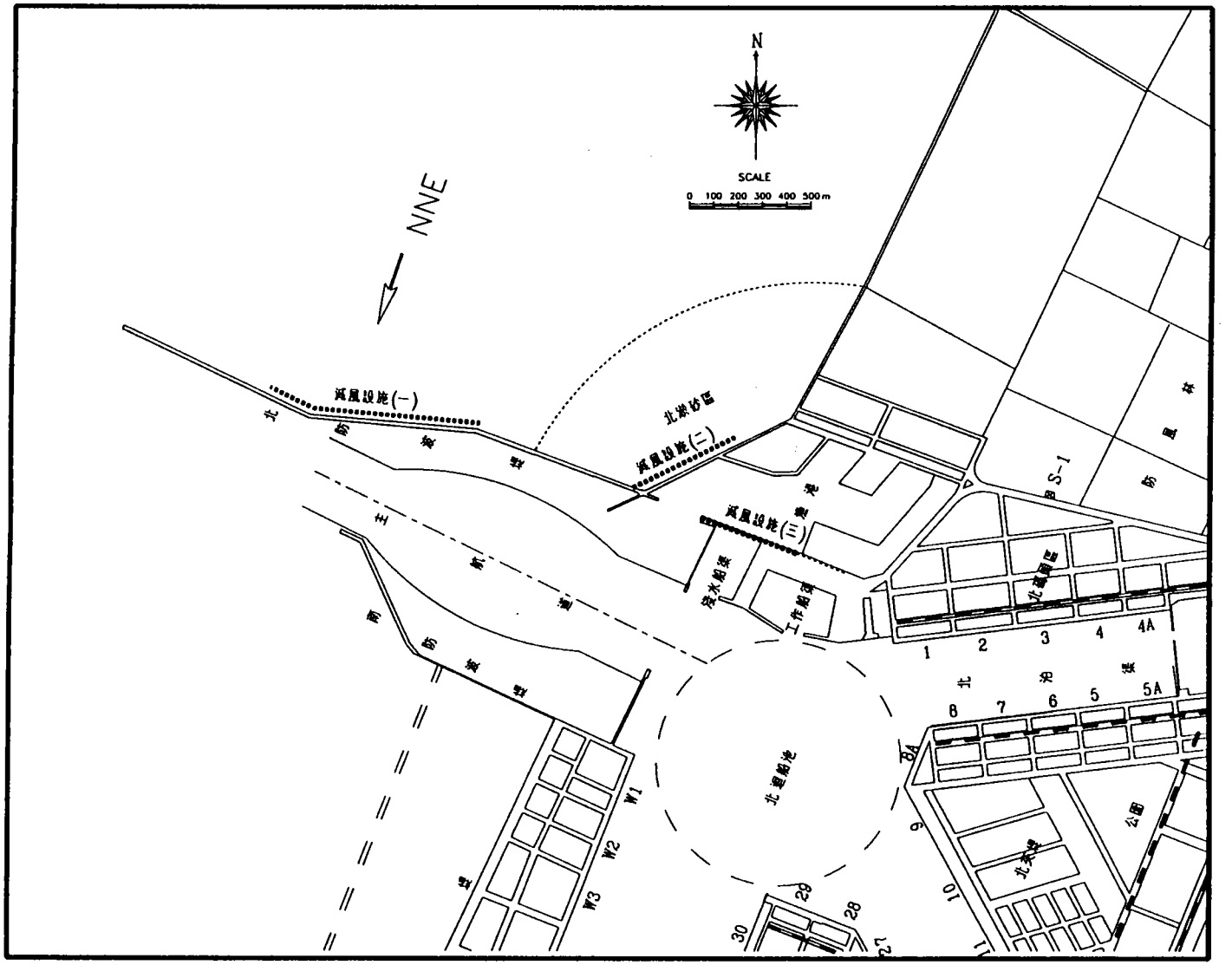


圖6-7-4　減風設施方案二配置圖

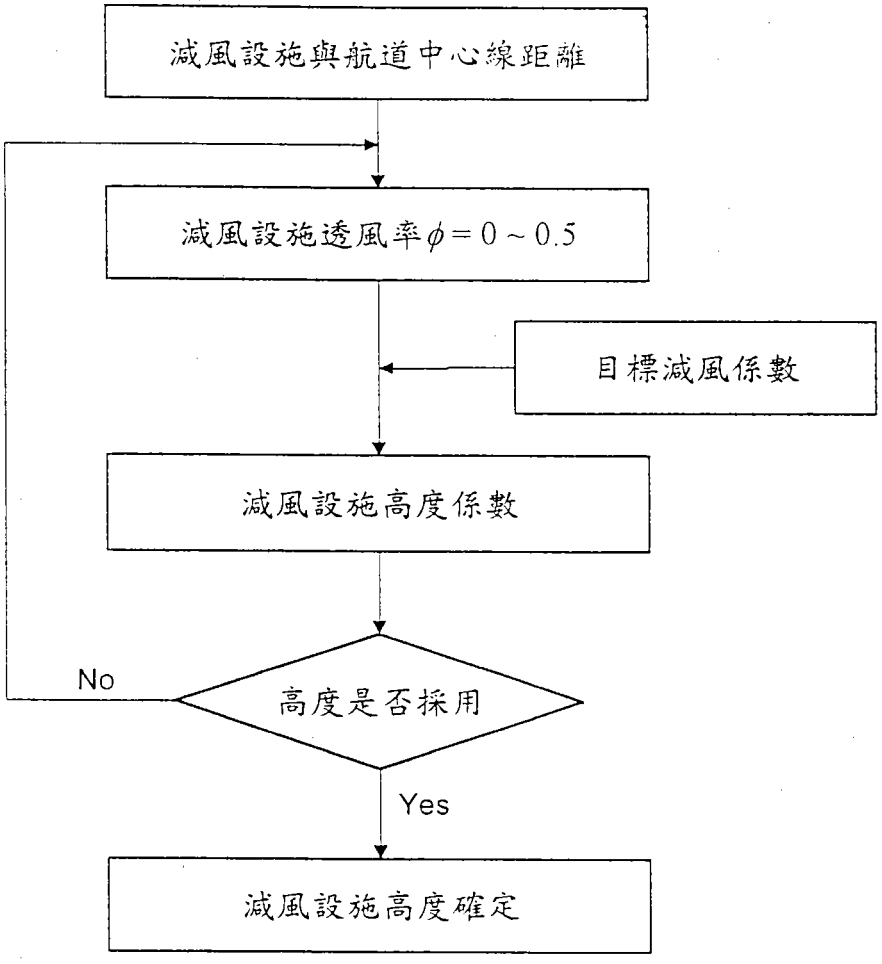


圖6-7-5　減風設施高度研擬流程圖

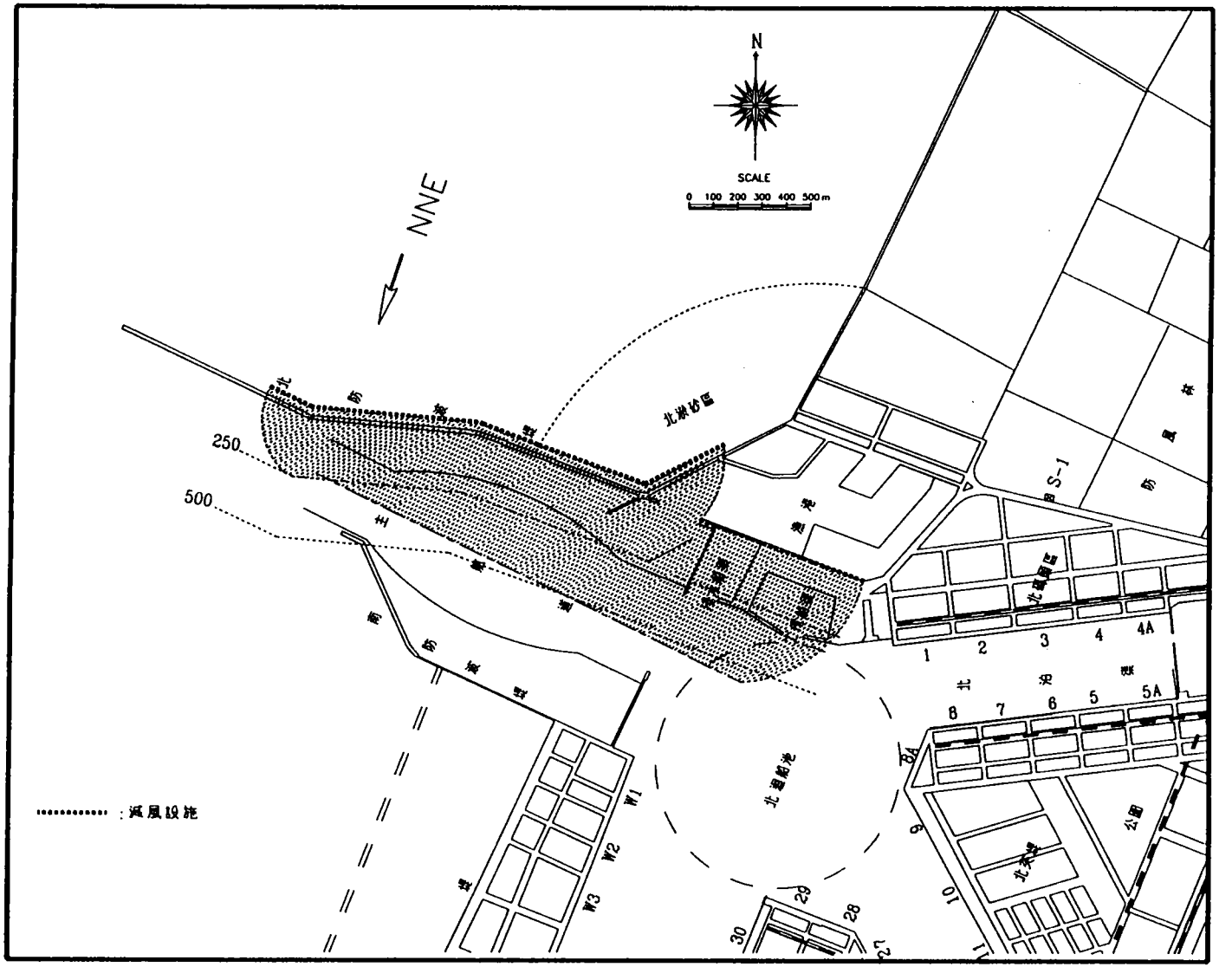


圖6-7-6　減風設施方案一遮蔽區域示意圖

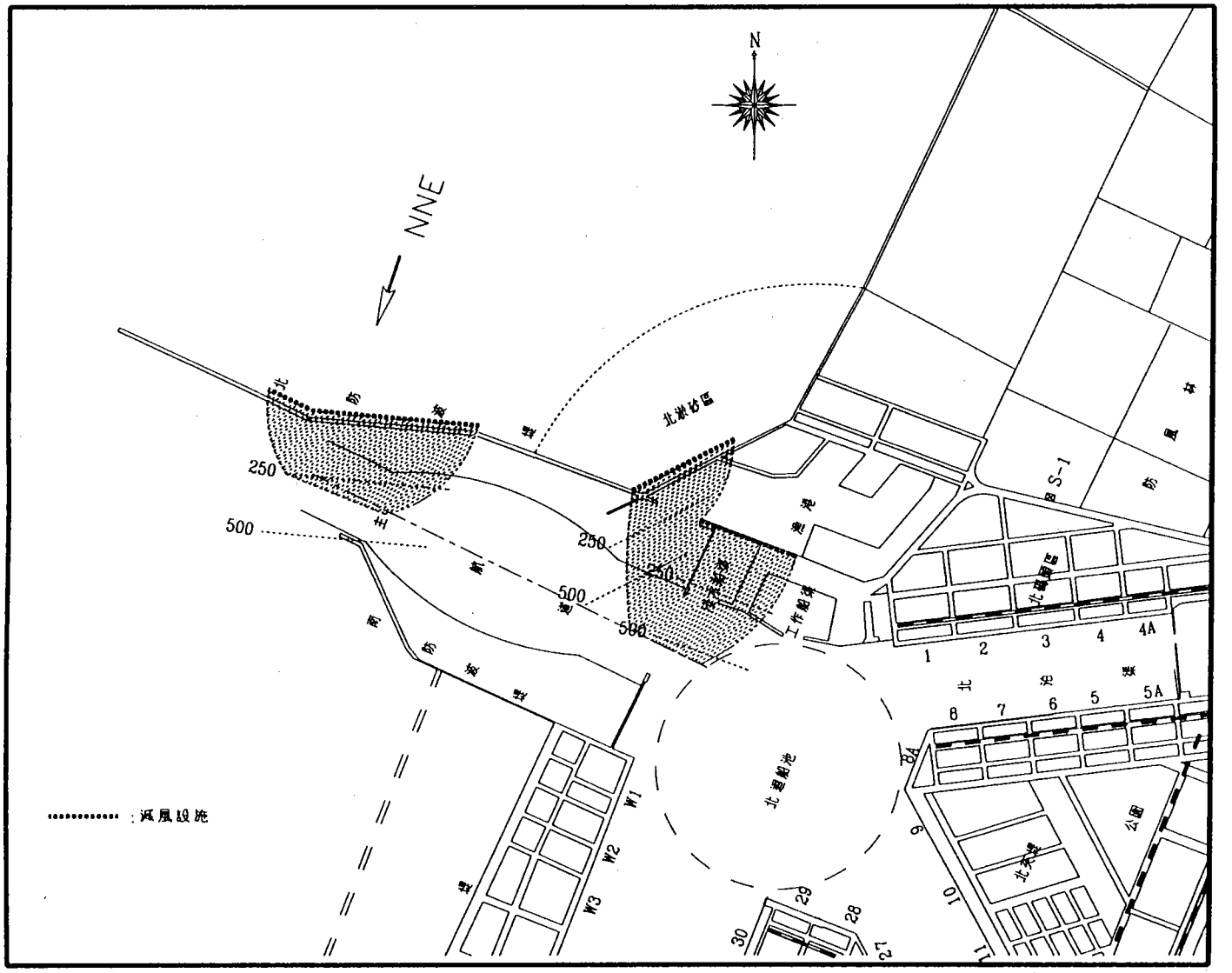


圖6-7-7　減風設施方案二遮蔽區域示意圖

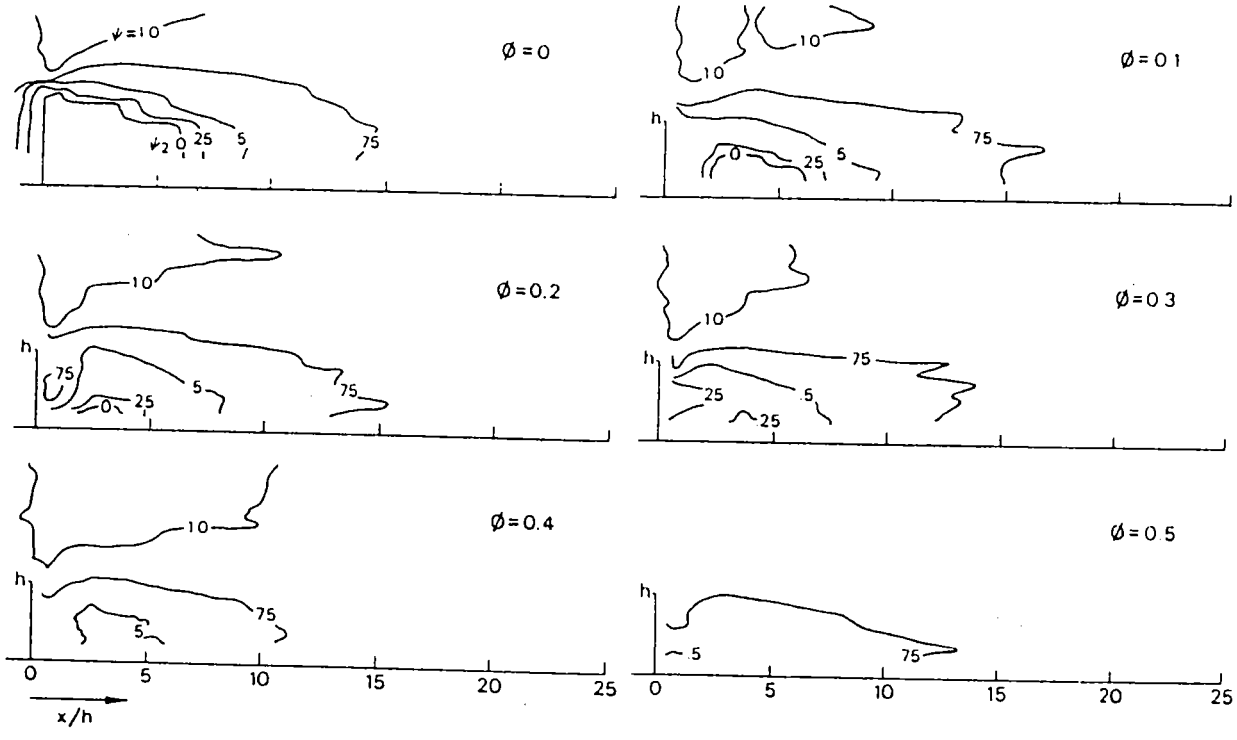
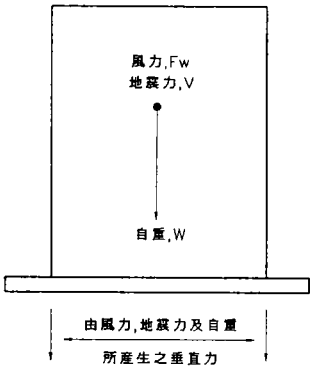
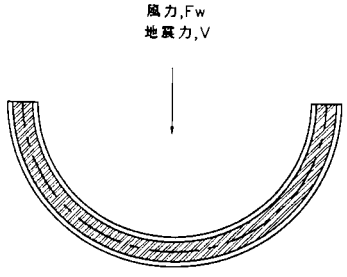
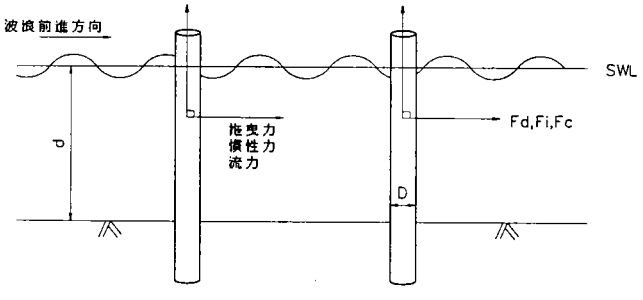


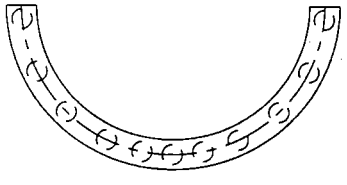
圖6-7-8　不同透風率(porosity)擋風牆下游段等風速係數圖
(資料來源：PERERA, 1981)





擋風牆俯視圖





基礎配置平面圖

圖6-7-9　減風牆設計載重相關位置圖

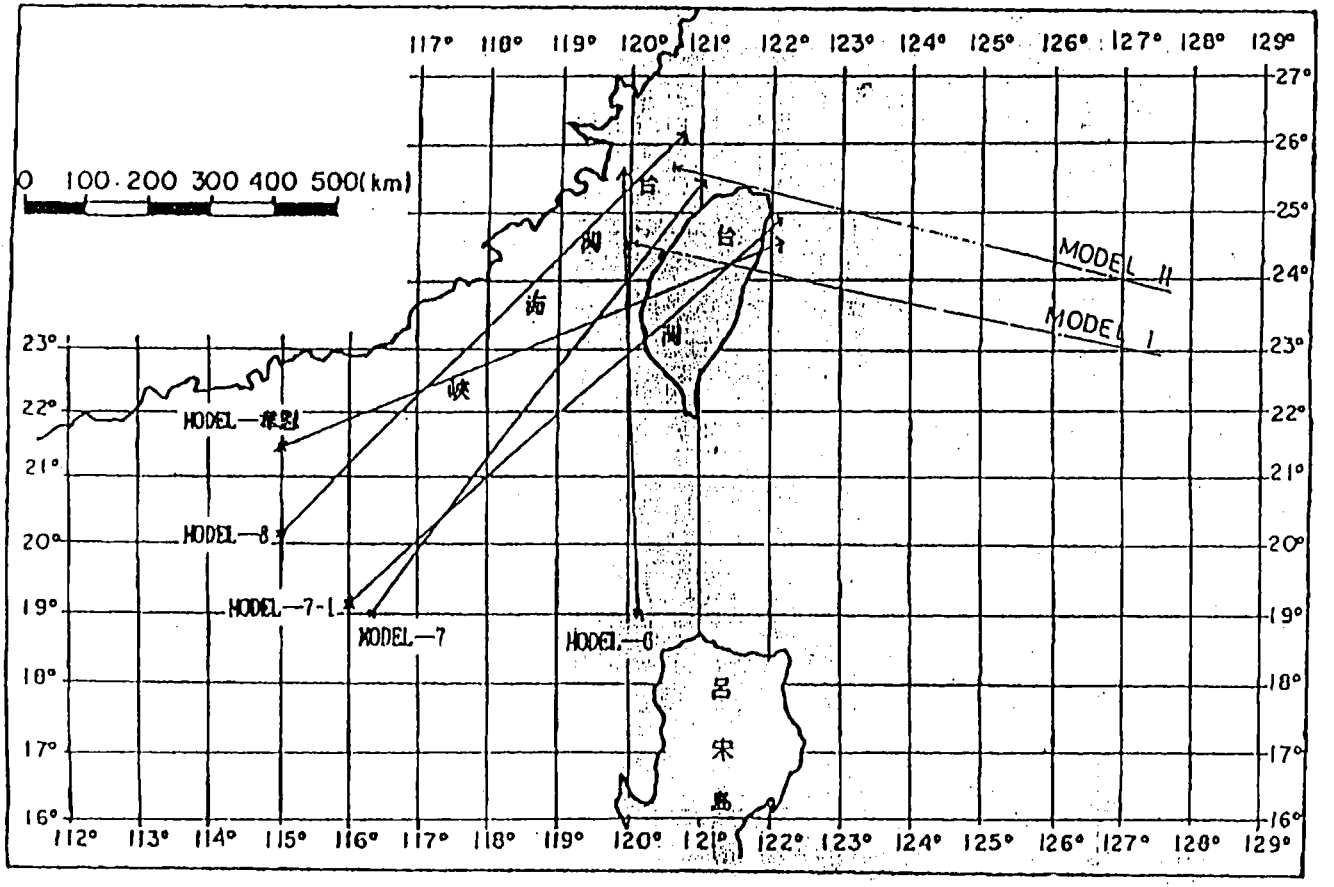

0 100 200 300 400 500(km)
117° 118° 119° 120° 121° 122° 123° 124° 125° 126° 127° 128° 129°
27° 26° 25° 24° 23° 22° 21° 20° 19° 18° 17° 16°
MODEL II
MODEL I
MODEL—8
MODEL—7-1
MODEL—7
MODEL—6
呂宋島

圖6-7-10　颱風模式圖

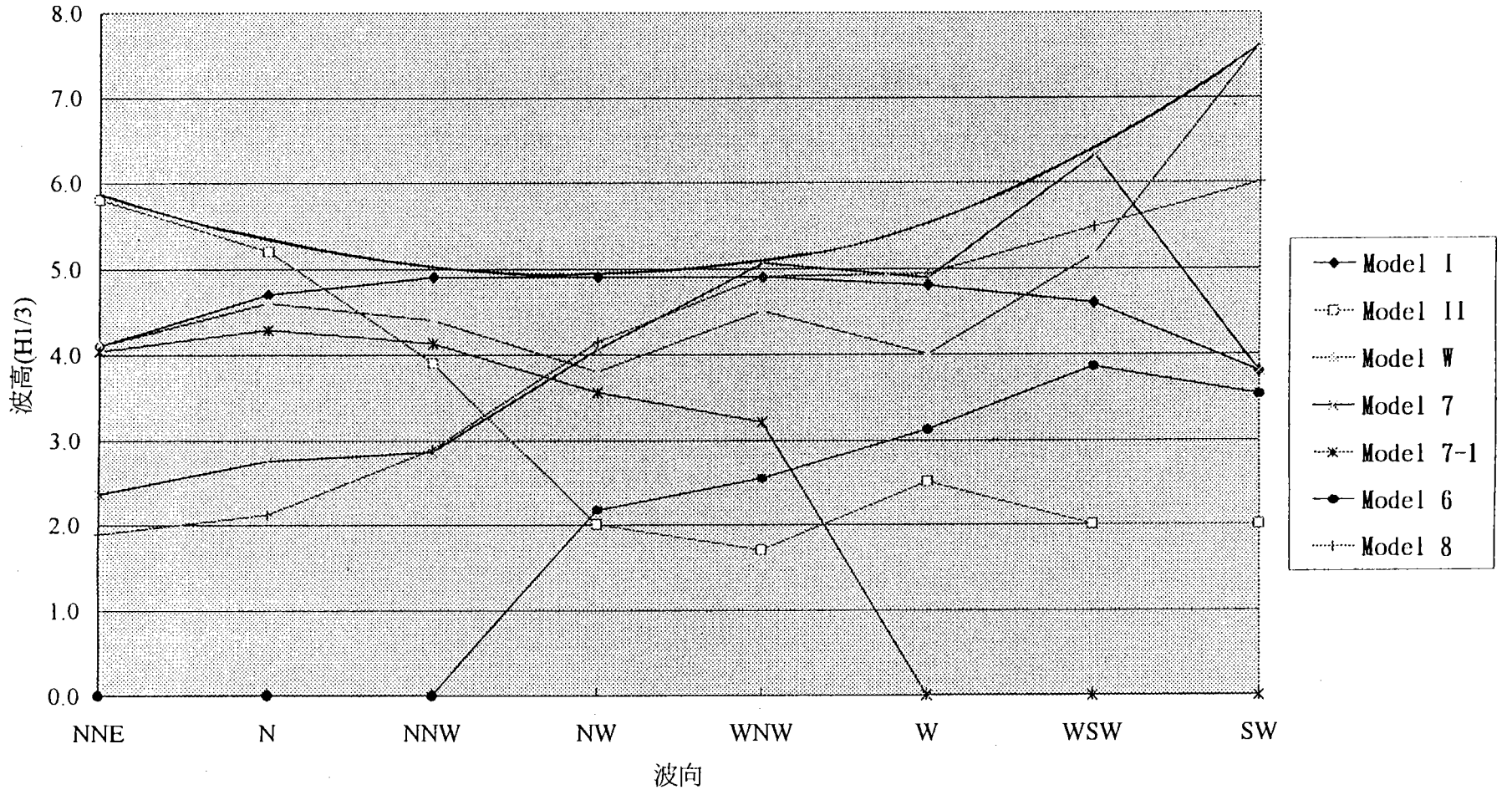


圖6-7-11　各波向示性波高分佈圖

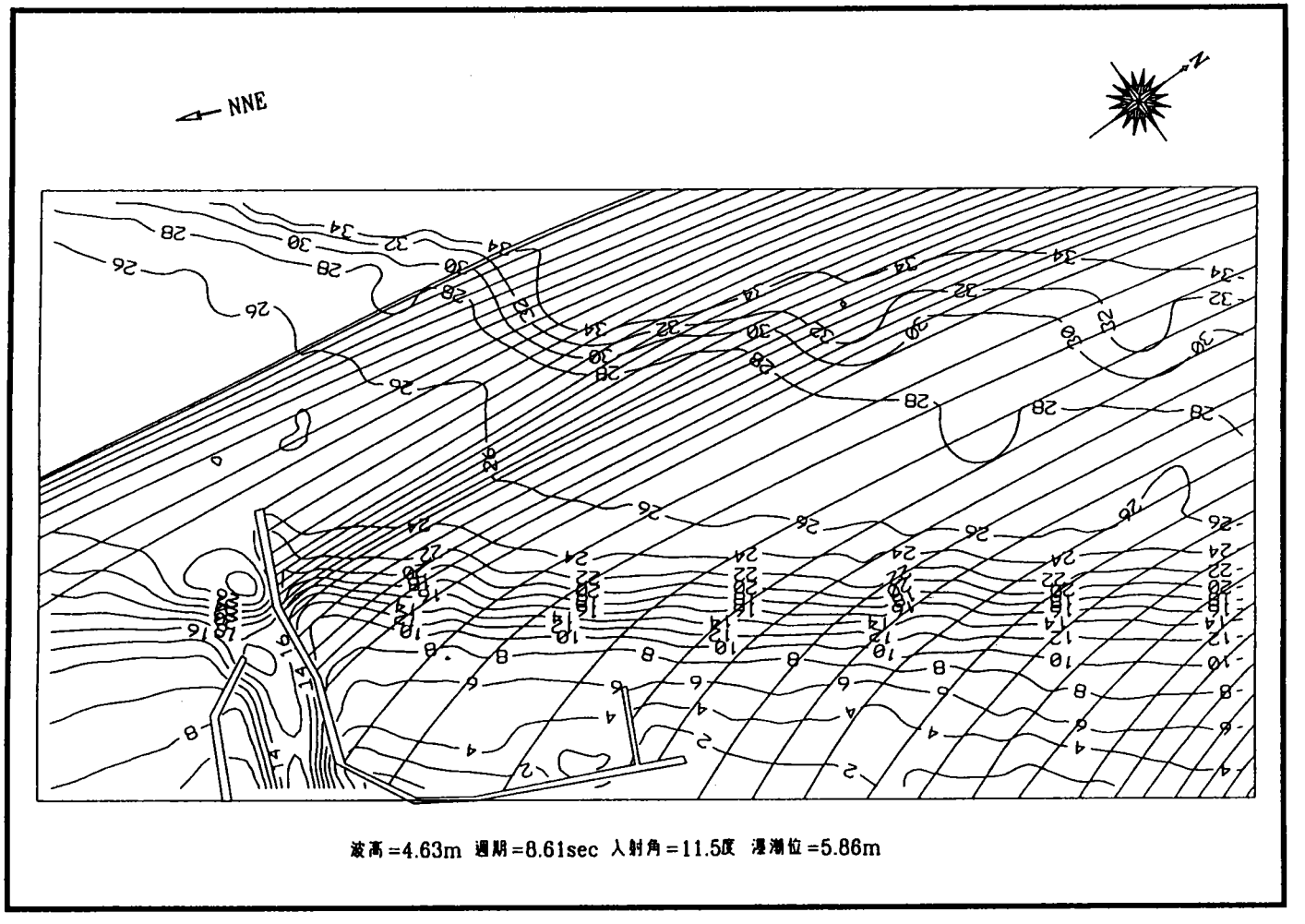


圖6-7-12 NNE向波高折射圖

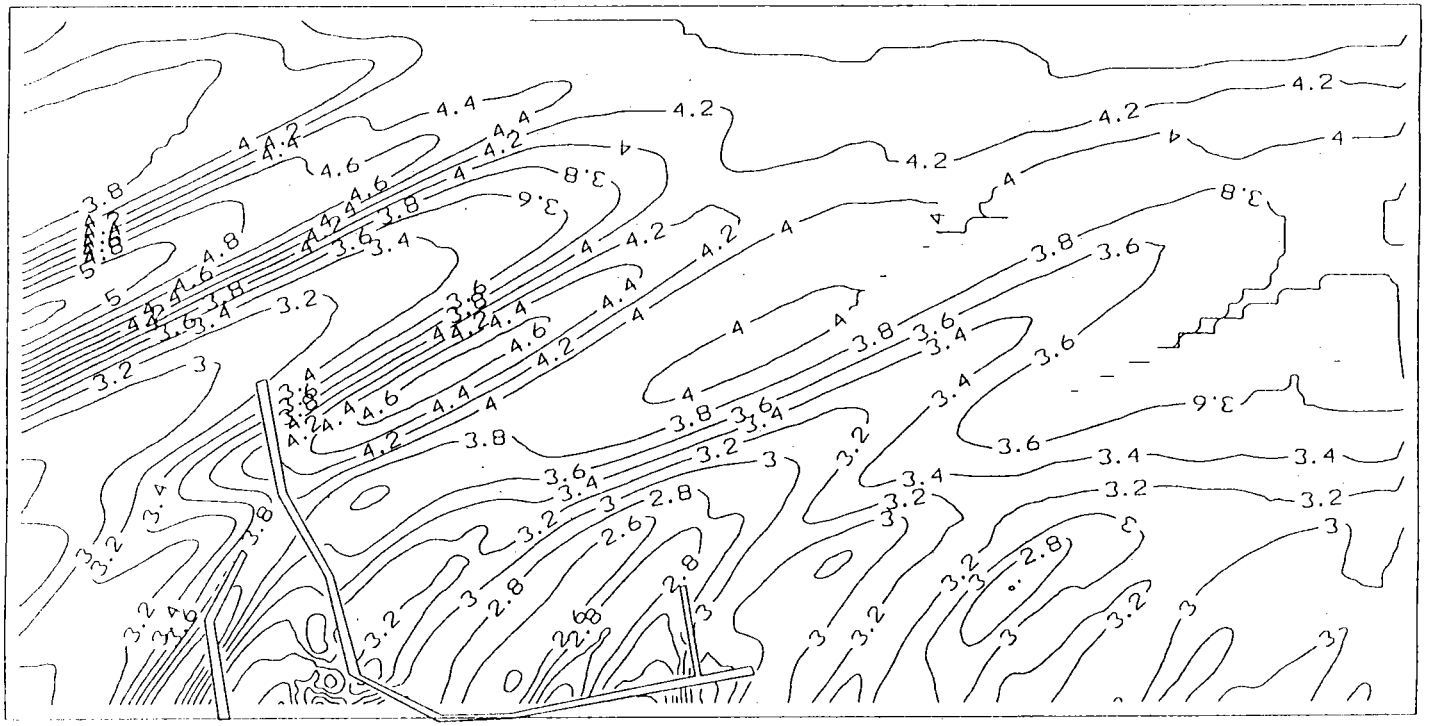


圖6-7-13　NNE向堤前波高分佈圖

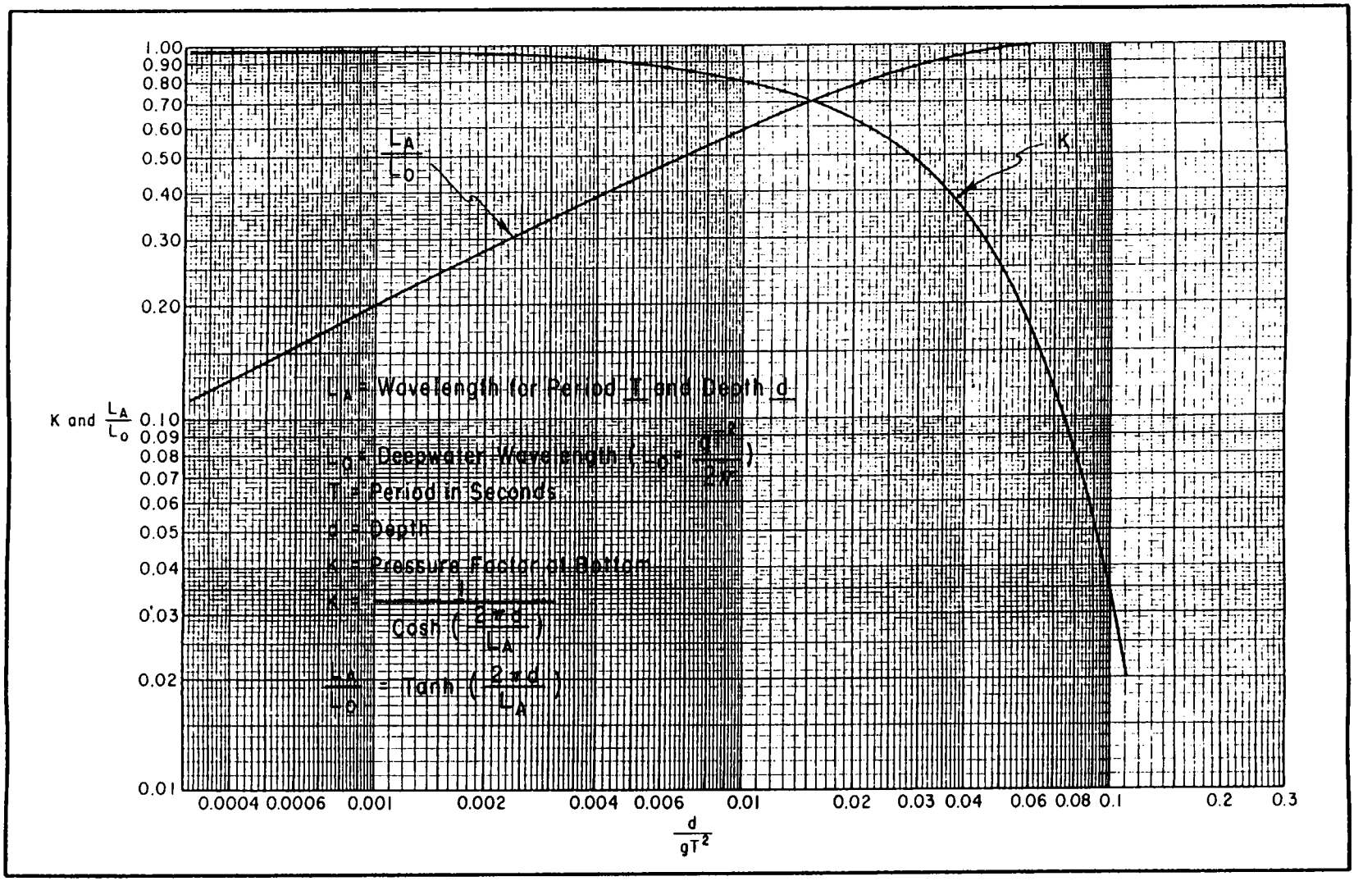


圖6-7-14 L_A/L_{Ao} vs d/gT^2

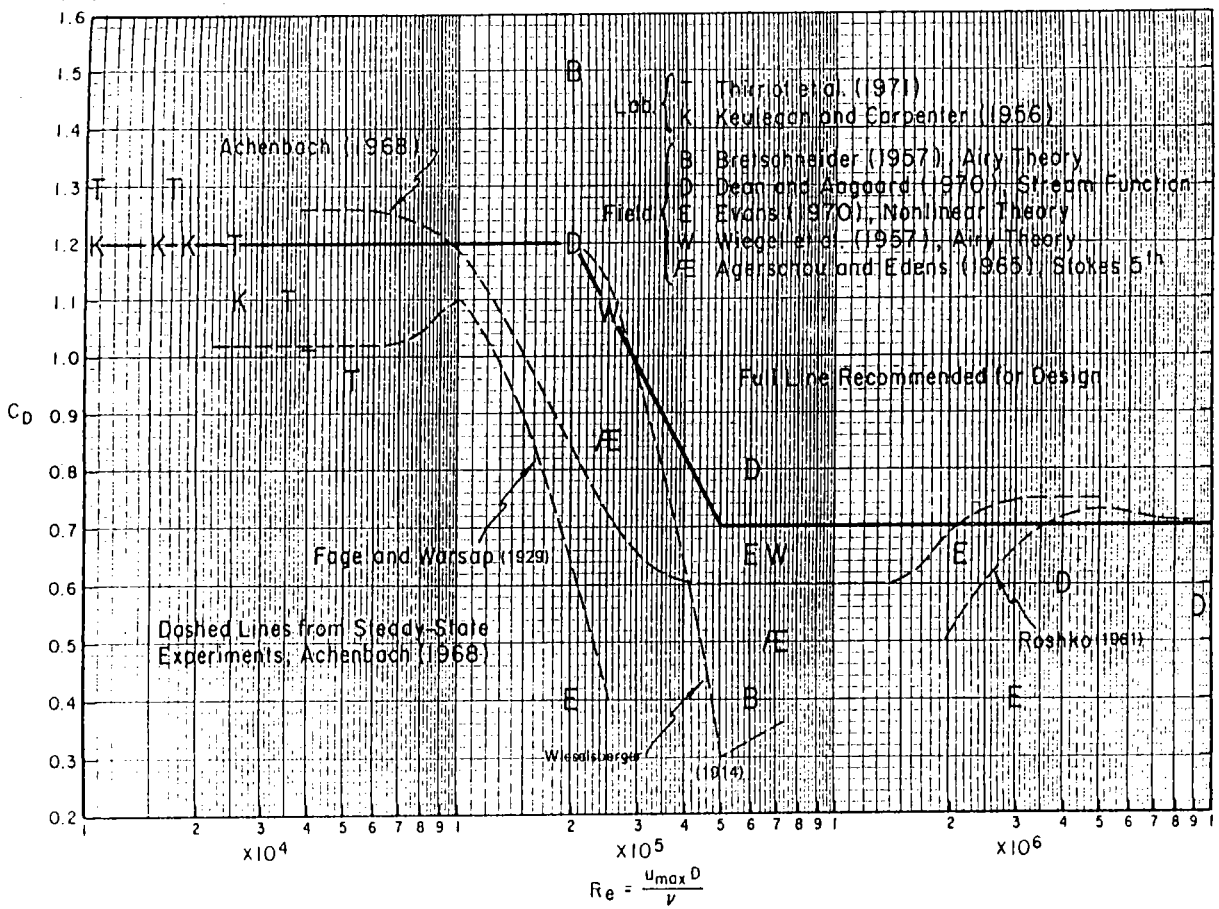


圖6-7-15　拖曳力係數C_D, vs 雷諾數Re

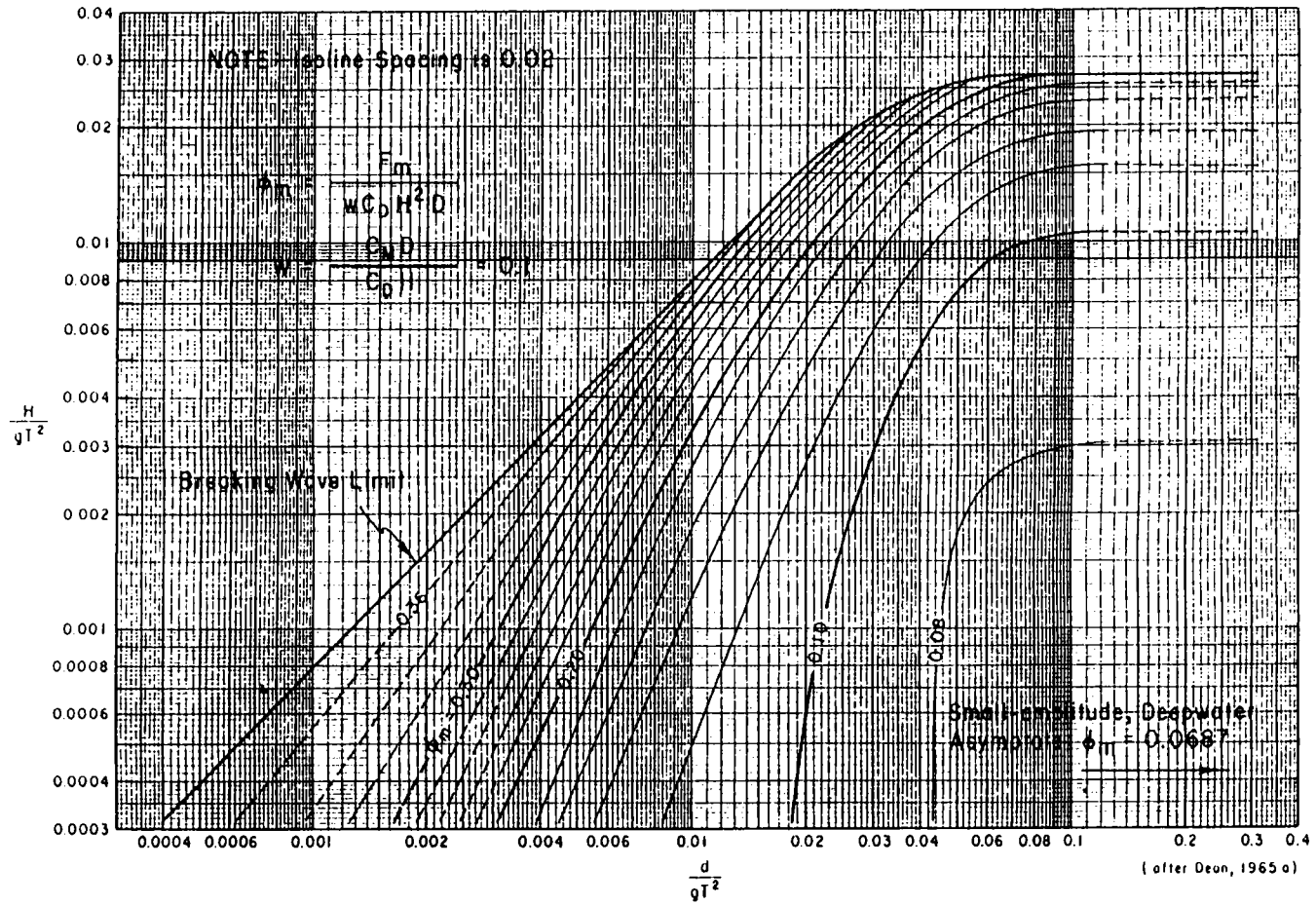


図6-7-16　Φ_m vs H/gT^2 及d/gT^2 (W=0.1)

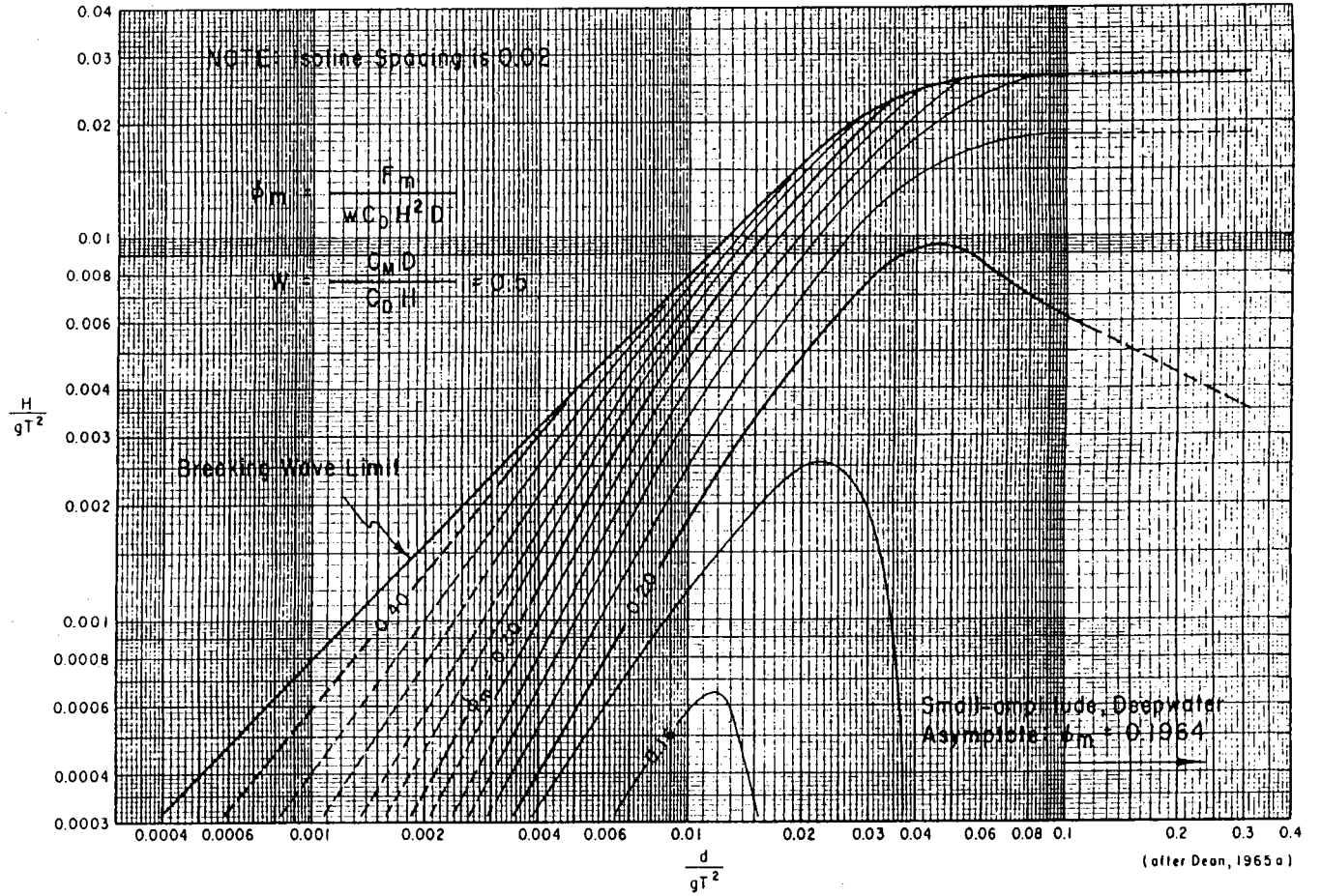


圖6-7-17　Φ_m vs H/gT^2 及d/gT^2 (W=0.5)

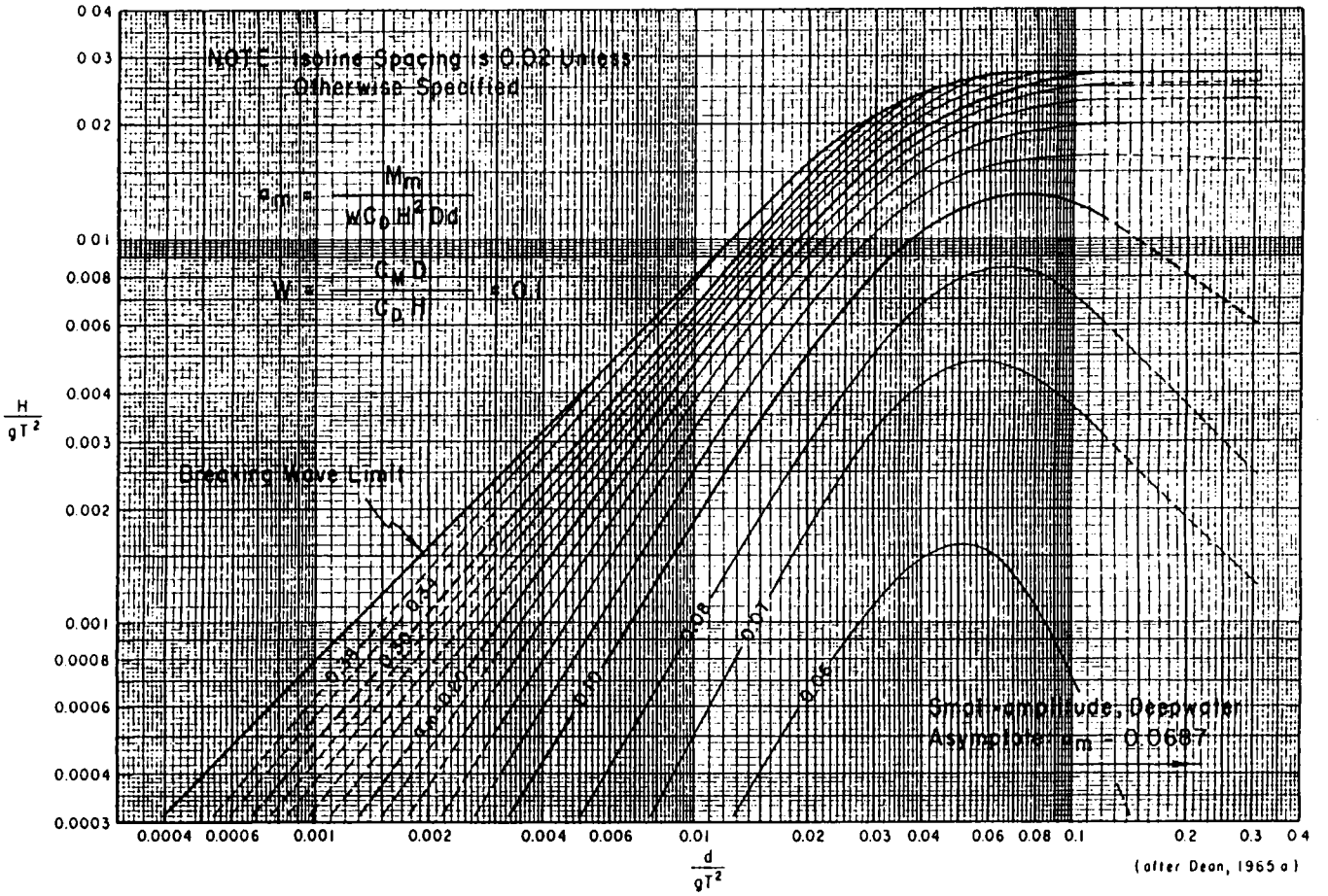


圖6-7-18 a_m vs H/gT^2 及d/gT^2 (W=0.1)

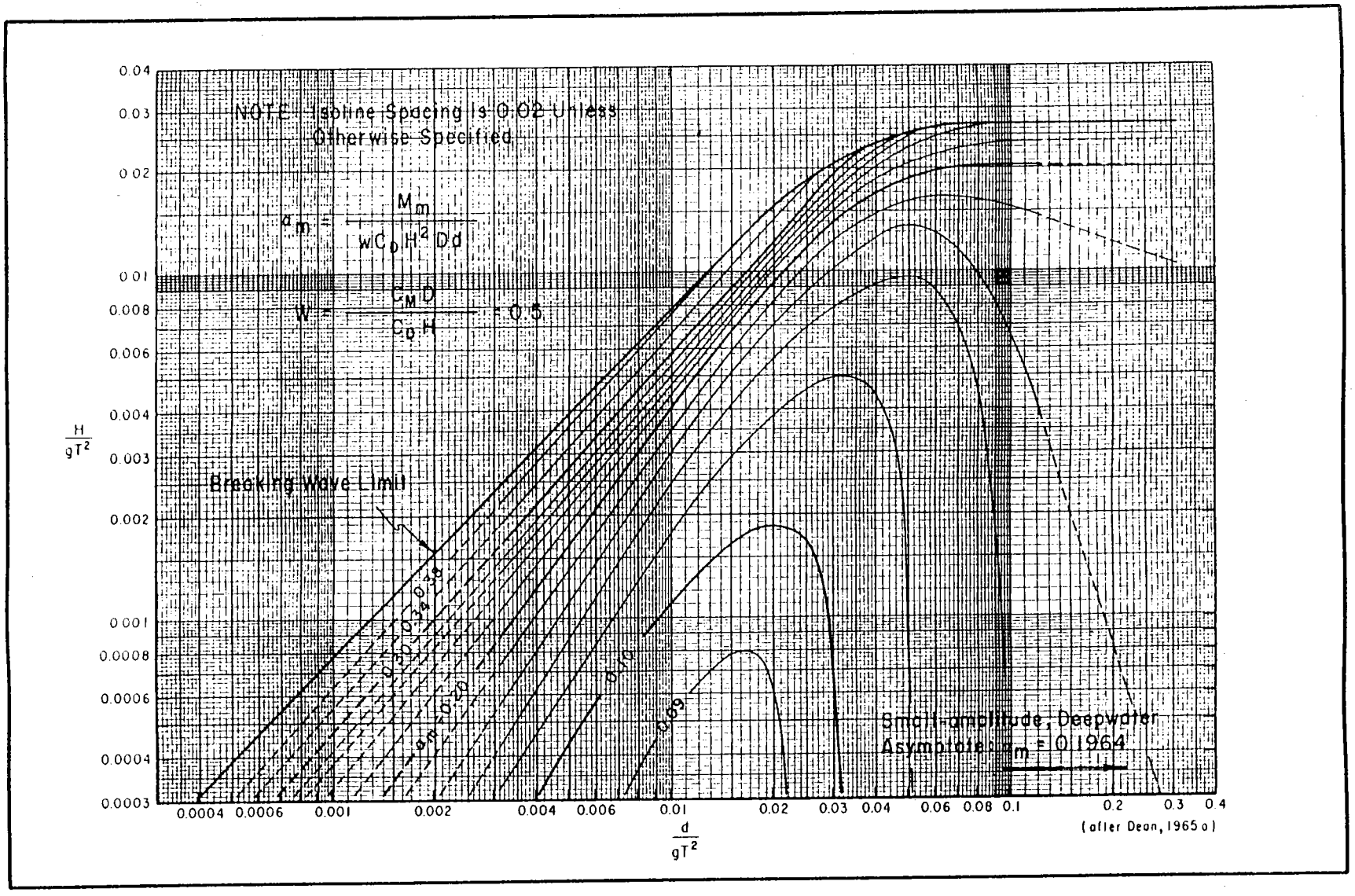


圖6-7-19　a_m vs H/gT^2 及d/gT^2 (W=0.5)

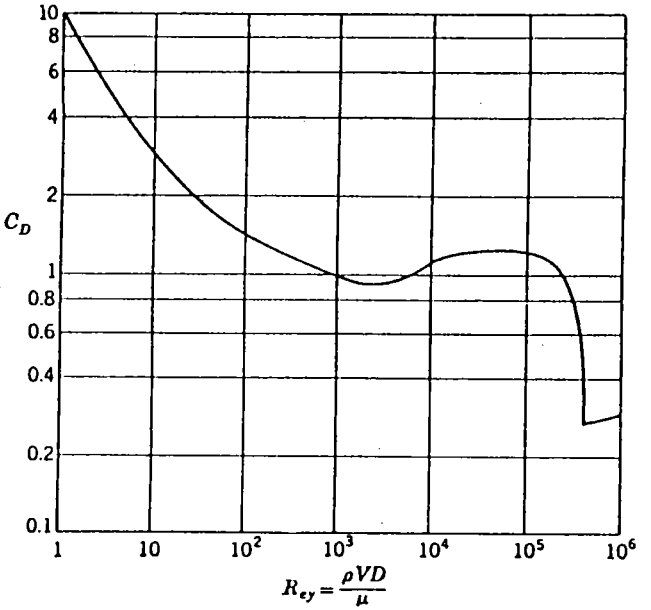


圖6-7-20　流力拖曳力係數C_D vs 雷諾數R_{ey}

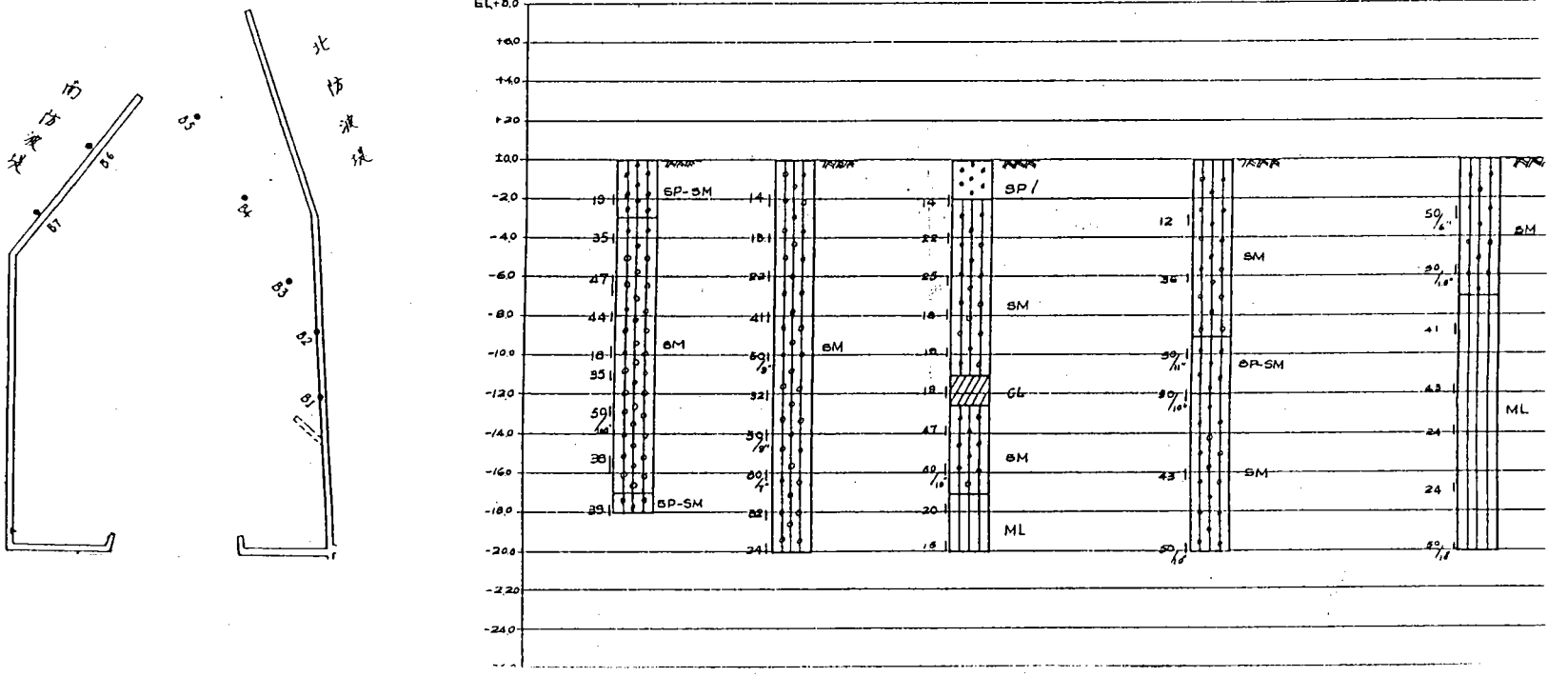
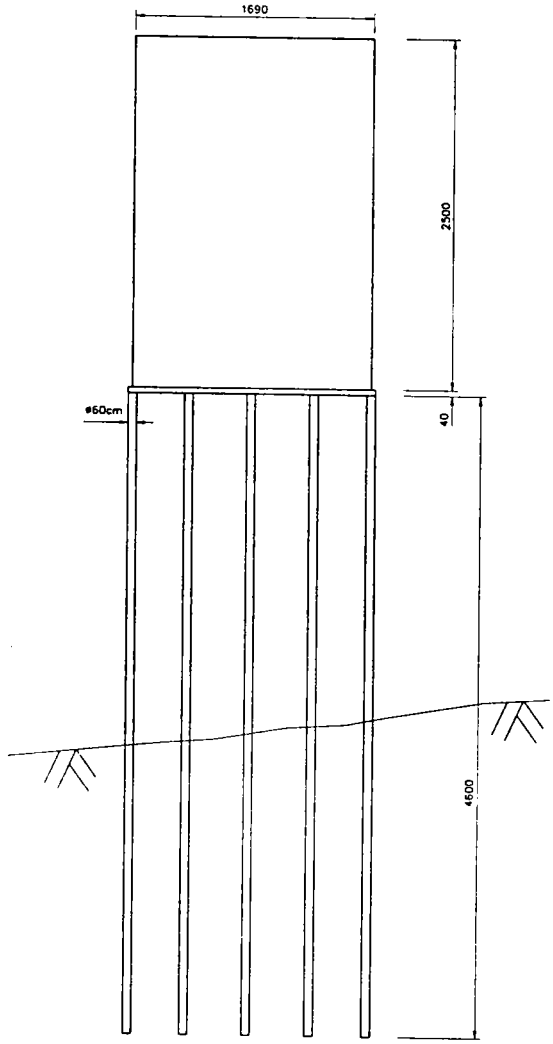
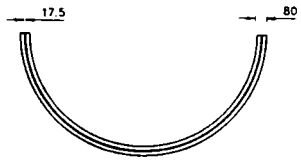


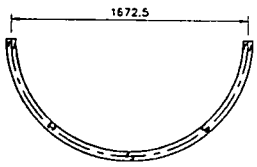
圖6-7-21　北防波堤附近海域鑽探圖



指風箱立面圖



指風箱俯視圖



基礎配置平面圖

圖6-7-22　椿基礎基本設計圖

第七章 港口段航道設施改善對策研究

台中港經核定爲強制引水港。爲進港船舶操航之安全,進港船在錨泊區接到領港進港通知後,始可起錨並航行至進港船備便區不拋錨備便,候領港准許後始可進港。因夜間或遇風浪惡劣等特殊情況,致引水人無法出海登輪時,船舶可與信號台聯絡再確定如何進港。依據以上規定(參考「台中港進出港指南」[6],或本研究3-6-1節),配合本研究流場計算、操船模擬及減風設施可行性之研究結果可知,台中港港口段及航道設施未來最迫切且亟待解決之障礙爲克服冬季季風期領港出海登輪困難與登輪區太接近港口之問題。克服領港登輪問題及改善登輪區位置後,其次待解決的問題爲進港船舶於通過現況南北內防波堤口間,船舶受強風與水流作用而偏北航行之問題。

7-1 改善對策研擬

解決台中港未來對象大型船舶進泊障礙之對策,最根本的除了應使航道滿足大型船舶航行水域基本水深之需求外,首要之對策應是設法克服或減輕風、浪與流對領港登輪及船舶操航進港安全上之不利影響。

7-1-1 風速影響之改善對策

爲減輕冬季強盛季風之影響,本研究曾進行港口段及航道設置減風設施可行性之研究(參見第六章),經評估結果,採行減風設施雖可減輕部分航道水域之風速影響,但因其屏蔽範圍有限,適用期不長、益本比甚低而暫緩採納。由於冬季季風期台中港區之強盛季風係因地理環境及天然氣象因素所造成,欲有效地減輕風速之影響實非局部設施改善即可達成,何況世界各大港口對於大型船舶進泊及相關港埠作業皆訂有其天然力之限制條件,因此,對於台中港之減風對策,本研究建議港務相關單位應積極協調、研議並訂定台中港港口允許大型船舶進出港作業之極限風速條件。

訂定極限風速條件時,除應考量大型船舶進出港之操航安全性外,尚應考量碼頭靠泊及裝卸機具之極限風速限制。因若碼碩靠泊及裝卸機具之極限風速限制高於大型船舶進出港操航之安全風速限制,即使船舶可安全進港,但在靠泊及裝卸機具無法即時配合作業情況下,將僅徒增航商港埠作業成本而已。依據本研究對領港艇及拖船性能調查資料,如表3-6-3及表3-7-1可知,目前台中港領港艇及拖船適合作業之風速限制約在8級風(風速17.2 ~ 20.7m/s,參見表3-6-1)左右,而世界各

大船商及港口設施亦將各類型碼碩裝卸之風力限制訂定如表7-1-1,由表可知,一般裝卸機具之極限作業風力亦在風速8級上下。唯若台中港以8級風速作爲風力之限條件,依表2-2-2及表2-2-3可知,台中港全年冬夏季風速超過8級之機率分別約有7.1%與1.1%,全年受風速影響而必須暫停港埠作業之日數將約達14.76天;而冬季風速超過8級之機率因有7.1%,全冬季僅約達12.78日而已。

7-1-2 波浪影響之改善對策

港口外波浪波高太大時,除會影響領港艇出海意願、安全與航程外,對進港船舶亦會造成各自由度之船舶運動,以致領港艇無法靠近、領港登輪困難、登輪時間延遲及登輪發生危險。

根據蒲福風級表(表3-6-1)可查知,當陸地10公尺高之風力達8級之大風時,深海波高約略爲5.5公尺,最大波高可達7.5公尺。台中港在北外防波堤延伸850公尺後,依據本所ST1, ST2及ST4測站(測站佈置如圖2-2-10)1995年全冬季波浪調查結果(如表7-1-2至表7-1-4)可知,北防沙堤測站(ST1)全冬季波高二公尺以上之機率約爲26.21%,北外防波堤堤頭外測站(ST2)爲56.55%,南外防波堤堤頭以南測站(ST4)爲7.21%,以上三測站全冬季波高大於3公尺之機率分別爲1.17%, 10.27%及0.20%。台中港現況冬季東北季風期間,領港登輪區依進出港指南說明,其位置係在南外防波堤燈塔西南西方0.5浬處(參考圖2-1-3),位於東經120°28'57",北緯24°17'35",距北外防波堤堤頭721公尺,距南外防波堤堤頭927公尺,居處ST2與ST4測站間且恰位於北外防波堤對北向波遮蔽區內。其現況波高遮蔽係數依圖4-6-2a估計應在0.5左右。波高之大小約爲北外防波堤堤頭附近波高一半以上,對北稍偏西向之波浪,北外防波堤對現況領港登輪區波浪之遮蔽效果將有待提昇。參考國外領港登輪作業及國內領港經驗(參見本研究3-6節)得,防波堤遮蔽區示性波高大於1.5,領港艇即無法出海或靠近進港船舶,領港登輪有困難及危險,依此波高限制計算,則現況台中港冬季領港無法登輪執行引水任務之機率,依據ST2冬季波高大於3公尺估算約爲10.27%,換算日數全年約達19天,與冬季以8級風速作爲大型船舶進出港、靠泊及裝卸機具之極限風速限制所得之暫停港埠作業日數相當。克服波浪影響之改善對策,依據本研究真時模擬領港登輪後直接進港之操船結果知道,對於對象大型船舶於風速達8級以上情況進泊,現況領港登輪區將太接近港口。爲大型船舶進泊之安全考量,在無其他港口設施改善配合下,現況領港登輪區宜調整至東經120°28'33",北緯24°17'20",調整後之登輪位置,沿60度航向計算,距現況登輪位置約824公尺,距北外防波堤堤頭1365公尺,距南外防波堤堤頭1622公尺,超出現況北外防波堤對北向波浪遮蔽區約713公尺。此意謂若依現有領港艇性能

、出海意願及現況領港登輪方式與登輪安全考量，則現況北外防波堤將應適度再延長。

由於再延長現有之北外防波堤不僅牽連最佳之延長方向與長度問題，尚有其可能對港區水域之衝擊等相關問題待進一步評估。賸餘之工作多且龐大，實非本研究所能容納。故而將僅就本研究經費及執行期限之許可範圍，試擬沿現況北外防波堤方向再延伸長度600公尺之改善對策。

7-1-3 水流影響之改善對策

台中港大型進港船舶，依據進出港指南之說明，在東北季風期間，當其駛抵南外防波堤燈塔方位080(T)距離一浬處，必需以船首向065(T)對準南北兩外防波堤燈塔之中間，半速航行，保持船速六節以上，爲抵抗風壓必要時也可加速至十節左右，無論在何種情況不可停車並保持良好之舵效。而依據本研究真時模擬接駁領港之操船總航跡(如圖5-10-3)結果，對照圖5-7-1之水流環境後可知，水流與強風20(m/s)之共同作用與影響將使得進港船舶航向保持穩定甚爲困難。航向無法保持穩定之結果將可能使領港艇必須追逐進港船舶，甚至必須駛出防波堤遮蔽區，此外，進港船舶爲努力控制航向，船速必須加快，致使船舶製造有效登輪水域之時空餘裕減少，進而造成領港登輪困難與登輪時間延遲。徜船長對港口環境不夠熟悉，船舶在進港階段極易發生危險。在進港船舶可順利搭接領港並進港之前提下，再依據本研究各航向模擬操船總航跡結果，如圖5-10-3，圖5-10-13及圖5-10-19可知，水流及風速之共同作用，在船舶通過南北內防波堤口附近水域時仍會造成船舶普遍偏北航行之影響，以致有碰撞北內防波堤堤頭、擦撞工作船渠外堤及因停車不及而碰撞8A碼頭等之潛在危機。

根據以上之分析，水流影響之改善對策將分下列兩階段進行：

(1) 進港階段

水流在船舶進港階段之主要影響來自北外防波堤南側逆時鐘方向旋轉之環流(參見本研究4-7節海流數值模擬及5-10操船模擬結果及分析)。由於其係天然潮位變化及防波堤構造物突出所引起，爲促使其環流中心位置向海側移動以減小其對進港航向及船舶之衝擊，改善之對策可配合波浪影響之改善對策，以適度延伸北外防波堤達成。

(2) 通過南北內防波堤口階段

進港船舶以60度航向進港，通過港口進入主航道後，操航人員必須不斷的修正船位，俾使船位能維持在航道中央，但因船舶運動與用舵效之慣性影響，船舶在主航道中常不易依主航道線維持船位，再加以風及水流之影響更使船位普

遍向主航道左側偏移。改善之對策原應針對北內防波堤口附近之港灣設施進行調整，但因淺水渠與工作船渠之外堤恰位於北內防波堤堤頭沿主航道方向線上，能夠改善調整之空間實甚有限，且因船位偏北進港，以致可能碰撞8A碼頭之危險並未消除，替代之改善對策爲促使進港船舶於通過南北內防波堤口前在主航道上及早採用右舵以克服船舶慣性與風及水流之影響而能順利轉入內港航道。但因南內防波堤之顧忌，本項改善對策因此建議須拆除部分南內防波堤以爲因應。依據操船模擬近岸之危險估計原則，只要船舷與障礙構造物能保持一倍之船寬距離，則障礙物存在之威脅將可消除，據此，拆除南內防波堤之長度，以大型船舶船寬33公尺估算，其約須50公尺。

7-1-4 其他改善對策

在未對風、波浪及水流之主要影響執行改善措施前，可採行之其他改善對策如下：

(1) 港口與南北內防波堤口間航道水域積極浚深

大型船舶60度航向進港，通過港口後，因其必須轉向進入主航道線，部分操船模擬之航跡顯示，因操航用舵延遲船舶會向北偏離航道而於接近北外防波堤前方轉向。爲使可能之航道水域不致發生船舶擱淺之事故，航道水域應就可能範圍積極浚深。

(2) 拖船於漁港口處備便推頂助航

一般拖船的操作方式有兩種：一爲推頂，一爲拖拉。推頂係由拖船船首直接頂住進港船舶船體以發揮其推力；拖拉則必須先由拖船帶纜再發揮其拉力或拖力。兩者在操作上各有其優缺點：拖船推頂時，因未帶纜，故機動性較強，但進港船舶船速一般必須低於五節方易發揮推頂之作用；帶纜拖拉時，因作用力臂長，故扭力大，拖拉作用強，唯必須有較大的運轉空間，尤其在帶纜過程，進港船舶亦須減速，且必須有帶纜之容許操作時間。基於以上之考量，爲輔助進港船舶在通過南北內防波堤前能穩定航向，免於受風及水流影響而偏北航行以致發生危險，在不影響船舶進港操航範圍內拖船可外航至北防波堤堤跟與漁港港口附近備便，俾能發揮拖船推頂助航功能並及時協助大型船舶順利轉向進入內港口主航道。

(3) 拖船於南外防波堤堤口內備便拖拉助航

雖然拖船可用於輔助大型船舶進港，但因航向60度與進港船速之顧慮，由拖船自港外協助大型船舶進港實甚危險，尤其風大流急時，不僅對進港船舶無法提供幫助反倒增加操航安全之顧忌。可行之方式爲拖船於南外防波堤堤口內備

便並帶纜,拖船航行於進港船舶後側或船舷側,以拉力協助大型船舶發揮舵效或拖力協助調整船首向,使其能於主航道上穩定航向,進港後尙可協助停船及迴轉,進而減少大型船舶之停船距離及碰撞8A碼頭之危險。本對策由於主航道的寬度限制,因此,需要配置多少艘拖船、拖船之馬力、配置之正確位置以及操作方式與配合等問題尙須進行模擬試驗才能測知,而此項試驗較爲複雜,其進行必須台中港領港人員費時費事的協助。另外,拖船之工作人員必須經過良好的訓練,熟練與迅速的帶纜操作可減少船位與船首向受強風與強流的影響,並可避免因船速之減慢所產生之危機。

(4) 提昇領港艇性能

爲使領港人員能及早登輪執行引水任務,領港艇耐風浪特性與船型應再提昇。對於艇員薪資、待遇、獎金及保險等亦應適度提高,俾激勵艇員出海意願。

(5) 建置導航管理系統

配合台中港船舶交通管理系統(VTMS)之建置,將海氣象資訊納入資料庫並以即時(Real Time)方式提供引水人員、船長、領港艇員及拖船作業人員等關於水流、潮位、波浪、風速與能見度等相關之資訊,俾能對海況作正確之判斷及採行必要之應變措施。

(6) 加強海氣象資料調查

建立海氣象資料即時觀測網,充實海氣象資料庫,俾供將來研議相關改善措施之參考與依據。現況海氣象資料之引用,在風速資料方面大多引用北防波堤堤跟處風速測站爲依據。爲能充分取得海上實際之風速資料,建請港務當局能利用現況北外防波堤之離岸特性,於其堤頭與堤身上建置標準的風速測站。此風速測站或風速計不僅可提供真實的海上風速資料,尙可做爲導航標竿使用,更可提昇船舶進港之安全。

(7) 船舶進港與領港登輪方式調整

台中港因其特殊地理環境與天然條件之限制,在冬季遇鋒面過境期間,經常是風大、浪高、流急,在現況尙無其他港灣相關設施改善及限制措施訂定前,爲克服大型船舶於海氣象條件不佳情況下全天候進泊之要求,研議可能採行進港及登輪之對策如圖7-1-1所示。在圖7-1-1中,進港船舶係採二階段進港方式進行,第一階段船舶沿現況錨泊區北側外緣以60度方向對準南防波堤堤頭燈塔前進,船速仍保持在6節以上,距南防波堤堤頭約0.5浬處減速並以左舵向外海轉向,轉向點參考圖7-1-1,拖船可於北外防波堤遮蔽區內備便以推頂方式協助迴轉及避免大型船舶因轉向而靠近北防波堤,領港人員可於防波堤遮蔽區

內安全地登輪，(參考7-1-1登輪位置)。本階段之操航方式主要係在接駁領港人員並使其能安全順利地抵達駕駛台，船舶不直接進港。船舶在轉向駛離港口及防波堤遮蔽區期間，估計NNE或NE向之強風與逆時鐘環流(漲流)或向港口外水流(退潮)之作用將可在船舶轉向及駛離港口期間化阻力爲助力，船舶轉向及領港登輪預期將可更順利安全地完成。海氣象條件極端惡劣時，爲使大型貨櫃輪及汽利車船可順利U-Turn轉向，本階段進港之船舶可採前進並拋錨方式，將錨鍊延伸於船舶後側，並在防波堤遮蔽區內將船停住，再用車舵及絞錨鍊作原地調頭轉向並作下風(Lee)接上領港，完成第一階段之進港準備。第二階段因領港人員已抵達駕駛台，進港船舶可在領港有效地指導下採現況船舶60°進港航向不必搭接領港而直接以較快船速進港，此階段中，若拖船已外航至港口備便協助第一階段船舶之轉向，此時可在回港階段再駛往漁港口處備便(如其他改善對策(2)所述)以協助進港船順利通過南北內防波堤口水域，其後並可於迴船池上協助進港船舶迴轉及靠泊碼頭。以上進港船舶兩階段之進港方式實爲台中港現階段爲克服海氣象條件不良時領港登輪困難所僅能試行之改善對策，其成功之要素當然必須取決於船長之進泊意願與其操船技藝之配合。

7-2 改善對策之方案研擬與規劃

本研究以上針對台中港現況所研擬之改善對策，主要係依據減風設施可行性、波浪及海流數值模擬計算與真時操船模擬之研究結果。其中，風速以8級強風上限選訂，水流以月大潮高低潮期間計算，操船模擬以平均風速20m/s，波浪爲大浪(波高約2.5公尺)，水流爲順流與頂流下操航。因此，在本研究中所謂「惡劣海氣象條件」係以月大潮期間，水流具順流或頂流型態，波浪達大浪標準，風速爲8級以上強風爲界定。

依據惡劣海氣象條件下總計進港116航次出港4航次之真時模擬操航結果研判，只要海氣象條件良好，引水人員能順利登輪執行領港任務，操船技術熟練，海氣象資訊充分，拖船提供必要協助，進港船舶能發揮其預期應有之性能，則台中港現況港口段及航道之港灣設施與佈置對於進泊規劃之對象大型船舶而言，其安全性及可行性應可被接受與認同。唯其主航道中線以北至北防波堤間之水域仍須積極大範圍浚深。

在惡劣海氣象條件下，依據港口段航道設施所研擬之改善對策，在輕重緩急次序上，本研究將改善對策規劃爲近程改善方案與遠程改善方案兩類，俾利進行評估比較。

（一）近程改善方案與規劃

配合本研究第7-1-4節所研提之其他改善對策。近程綜合之改善方案如下：

1. 近程改善方案一

本方案主要在調整船進港與領港登輪方式，作業方式參見本研究第7-1-4節之(7)所述。現有之港灣設施不做調整，方案佈置如7-2-1所示。由於主航道之寬度依規範計算應大於138公尺，即航道中線距離16米水深線應至少70公尺，且考慮船舶在轉向點附近可能受風而向南偏移，因此16米水深線至少應離航道中線300公尺左右，另港口內主航道附近水域亦應大範圍浚深至15米。航線及航道浚深範圍參考圖7-2-1所示。

2. 近程改善方案二

全如近程改善方案一，但在拖船無法提供協助下，南內防波堤自堤頭起向南拆除50公尺。方案佈置亦如圖7-2-1。

3. 近程改善方案三

本方案主要在提昇拖船使用率並發揮拖船助航功能與避免船舶在通過南北內防波堤口附近近水域發生海事危險。作業方式參見本研究第7-1-4節第(2)及(3)項改善對策所述，領港艇性能及耐浪性應配合提昇，尤其必須訂定船舶進港之極限海氣象限制條件，藉以克服大型船舶進港階段之問題。

（二）遠程改善方案與規劃

配合本研究對台中港現況風、浪及水流之改善對策，再考量台中港將於民國九十五年闢建第二港口之計畫，遠程綜合之改善方案如下：

1. 遠程改善方案一

將規劃進港之對象大型船舶，不論海氣象條件優劣，皆統合於未來第二港口進出。藉以徹底解決現況港口進泊大型船舶所面臨之各項問題及顧忌。且第二港口應避免現況風、浪及水流對領港登輪及船舶操航之影響。

2. 遠程改善方案二

考量登輪區波浪受防波堤屏蔽之效果，依第7-1-2節波浪影響之改善對策，適度再延伸現有北外防波堤，並依第7-1-3節水流影響之改善對策，拆除南內防波堤50公尺。主航道以北水域積極大範圍浚深至15米。本方案在本研究中爲評估比較之需要，北外防波堤試行沿現有堤向再延伸600公尺。方案佈置如圖7-2-2所示。

3. 遠程改善方案三

全如遠程改善方案二，但將再延伸之北外防波堤向北偏移適當距離，堤身南側

拋置消波塊以消除偏西向波浪沿堤侵擾港區水域之顧忌。本方案在本研究中爲評估比較之需要，再延伸之北外防波堤試行向北偏移之距離爲50公尺。方案佈置如圖7-2-3所示。

7-3 改善對策方案之評估與比較

7-3-1 近程改善方案評估與比較

本研究研提之近程改善方案有三案，皆以現有之港灣設施不做調整爲原則。茲就各案之執行效益，預期之困難，待配合措施，對現有港區水域之影響及工程經費等分別評估比較如下：

（一）近程改善方案一

1. 執行效益：可有效克服風、浪與水流之綜合影響，引水人員可安全順利登輪，減低現有領港艇之出海危險，發揮拖船功能及提高其使用率。
2. 預期困難：錨泊區北緣必須南移，進港船舶必須能順利轉向，拖船必須發揮預期之輔助功能。
3. 待配合措施：藉操船模擬確認轉向點、船速與登輪位置及內防波堤障礙，實施拖船與領港人員訓練並加強其協調及配合之默契，充分提供海氣象即時資訊，補設必要導航燈標。
4. 對港區水域影響：如現況，無負面影響。
5. 工程經費：估算如表7-3-1，約需貳億參仟萬元。

（二）近程改善方案二

1. 執行效益：可有效克服風、浪與水流之綜合影響，引水人員可安全順利登輪，減低現有領港艇之出海危險，拖船使用依賴較輕，港口流速稍減弱。
2. 預期困難：錨泊區北緣必須南移，進港船舶必須能順利轉向，拖船必須發揮預期之輔助功能。
3. 待配合措施：藉操船模擬確認轉向點、船速與登輪位置及內防波堤障礙，實施拖船與領港訓練並加強其協調及配合之默契，充分提供海氣象即時資訊，補設必要導航燈標。
4. 對港區水域影響：以颱風波浪週期10秒及12秒波向WSW進行數值計算，結果分別如圖7-3-1及圖7-3-2所示，將其與現況（圖4-6-4與圖4-6-5）比較得港內波高變化極小。港口主航道上之流速比較如圖7-3-3，除南北內防波堤口間流速因堤口寬度增加而稍爲減小外，其餘位置流速不受影響。
5. 工程經費：估算如表7-3-1，約需參億貳仟萬元。

(三) 近程改善方案三

1. 執行效益:訂定大型船舶進港之極限海氣象條件,自根本解決風、浪及海流之威脅,免除改善對策抉擇困擾與顧慮,提昇船舶通過南北內防波堤口之安全度。
2. 預期困難:極限海氣象條件研議協調費時,且牽連港務相關部門甚多,航商利益與港埠績效難以兼顧,協商不易。拖船配合意願亦待提昇。
3. 待配合措施:召開協商會議,徵詢拖船配合意願。進行操船模擬確認極限條件。
4. 對港內水域影響:如現況,無負面影響。
5. 工程經費:估算如表7-3-1,約需捌仟萬元。

依據評估比較結果,對於以上三案之執行先後次序,本研究建議以近程方案三爲最優先,近程方案一次之,近程方案二於試行近程方案一後再考量。

7-3-2 遠程改善方案評估與比較

本研究研提之遠程改善方案亦有三案,遠程改善方案一,雖可徹底解決現況港口進泊大型船舶所面臨之各項問題及顧忌,但必須配合未來第二港口闢建實施,遠程方案二及方案三主要之改善效益爲對北向波浪提供足夠波浪遮蔽區,俾使現況港口在惡劣海氣象條件下,領港艇可無顧忌地外航接近進港船舶,領港登輪困難與危險及登輪區太接近港口之問題可根本有效地解決。在對現有港區水域影響方面,因方案二及方案三之改善對策皆牽連現有港灣設施之調整,故將調整港灣設施後其對港區水域波浪與水流之影響分別評估如下:

(1) 波浪影響評估

北外防波堤試行沿現有堤向延伸600公尺後,其對正北向波浪之遮蔽效果可以單堤之波浪繞射圖表示如圖7-3-4。將操船模擬結果建議調整登輪位置點繪於圖上可知,其波高之繞射係數約爲0.75,對於NNW入射之波向,如圖7-3-5所示,則將毫無遮蔽性可言,由此可見其延伸長度仍明顯不足,最佳之延伸長度與方向尚待未來後續研究進一步確認。對於W, WSW及SW向颱風波浪之影響,依據圖7-3-6至圖7-3-8以波浪徑向法(Wave Ray Method)評估結果,其對現況港區水域將不致造成更惡劣影響,此可由WSW波向颱風波浪之數值計算結果,如圖7-3-9及圖7-3-10,比較現況港區水域之遮蔽計算結果,如圖4-6-4及圖4-6-5,得證。

(2) 水流影響評估

北外防波堤試行沿現有堤向延伸600公尺;南內防波堤拆除50公尺後,其在冬季季風期,風速平均15m/s,月大潮期間半日,(12小時)水流之計算逐時模擬結果如圖7-3-11(a)至(m)所示。將其與現況水流計算模擬結果,如圖4-7-18(a)至(m),對照比較後得知,環流流場、大小與中心位置及主航道水域之流速大小皆因防波堤設施調整而有所變動。選取調整後新登輪區,現況登輪區,港口主航道入口、港口內主航道中央、內港口南北內防波堤口中點及港內中泊渠口等位置,如圖7-3-12,進行現況與設施改善後流速比較,結果分別如圖7-3-13(a)至(f)所示。由圖7-3-13(a)可知,防波堤設施改善後,新登輪區(實線)流速明顯比設施改善前(虛線)同位置之流速爲小,與現況登輪區流速(如圖7-3-13(b)實線)比較,在漲潮段平潮時刻附近仍偏大,偏大之流速最大可達30cm/s左右,同時流向偏差爲180度,即設施改善前,舊登輪區在平潮時受向北較小流速作用,改善後新登輪區受向南較大流速作用。在現況登輪區與內外港口間主航道線上之流速,由圖7-3-13(b)至(e)可明顯比較出,設施改善後(實線)主航道線上之流速大部分時間皆比設施改善前(虛線)同位置之流速大,最大偏幅可達20cm/s左右,流向變動不大。設施改善後,流速明顯增強之位置爲現況港內中泊渠口附近(如圖7-3-13f),流速在約滿潮後一小時左右達到最大,雖然流向變化不大,但流速增大幅度可達30cm/s。綜合以上水流之比較結果可知,北外防波堤再延伸雖能使環流中心偏離60度進港航線,但因防波堤過度的突出伸展,在漲潮時反而促使環流強度增強,逆時鐘旋轉之環流甚至可抽動部分港內水域之水體而使主航道線上流速普遍增強,此點在延伸北外防波堤時須格外謹慎小心應對。尤其在內港口南北內防波堤口間,因北外防波堤再延伸使向港外流動之水流強度增加,其對進港船舶偏北航行之影響程度仍需待未來後續研究進一步評估,也因此拆除南內防波堤部分將顯得格外重要。

依據以上波浪及水流之影響評估結果,遠程改善方案二與方案三未來預期之困難將爲港口內主航道上流速之增加,待配合措施則爲藉操船模擬確認船舶通過南北內防波堤口附近受水流影響偏北之程度與再改善對策。至於各方案相關之工程經費估算如表7-3-2,遠程方案約需貳拾億元,遠程方案三約需貳拾肆億元。

根據評估比較結果,對於以上三遠程方案執行之先後次序,本研究建議以遠程方案一爲最優先,遠程方案二次之,遠程方案三可配合遠程方案二一併考量。

7-4 綜合評估與建議

台中港現況港口及航道設施,在惡劣海氣象條件下,主要面對之問題及必須克服解決之障礙,經整理如下:

(1) 領港艇外航至防波堤遮蔽區外甚爲冒險。
(2) 領港艇靠近進港對象大型船舶不易。
(3) 引水人員登輪困難且易生危險。
(4) 登輪區太靠近港口。
(5) 引水人員因登輪困難以致登輪時間延遲,致使部分船舶必須自行操航進入港口,引水人員調整船位及航向之時空餘裕不足。
(6) 大型船舶在進港階段常受風、浪及水影響而無法保持穩定航向,船長進港心理壓力甚大,領港登輪及領港艇配合更加困難。
(7) 大型進港船舶通過南北內防波堤口附近水域易受風及水流作用而偏北航行,北內防波堤口附近港灣設施對進港船舶操航安全具潛在之威脅。
(8) 拖船僅提供轉向及靠泊協助,未發揮助航功能。
(9) 無充分即時之海氣象資訊供港埠相關作業人員參考,致使無法及早採行應變及配合措施。
(10) 尙無惡劣海氣象極限限制條件規範,暫停港埠作業條件無具體依據。

針對以上之問題與障礙,本研究共提列三近程改善方案及三遠程改善方案,遠程改善方案主要在補近程改善方案之不足。倘近程改善方案可順利推展進行,則遠程改善方案將可備而不用。在近程改善方案中,經評估以近程改善方案三爲最佳,所需經費最少,效果最大。近程改善方案二居次,所需經費有限,預計成效卻甚良好。建請港務當局未來可就近程改善方案三及方案二持續研究努力,俾能使台中港營運績效可大幅地提昇。

表7-1-1　各類型碼頭之風力限制

（資料來源：中華顧問工程司，1992年）

碼頭類別	極限作業風速 （蒲福氏風力級數Bft）	台中港之年超越頻率 （%）
穀類	8	3.5
煤	8/9	2.3
油	8/9	2.3
散雜貨、水泥	7/8	6.6
人學品、液貨	8	3.5
貨櫃	8或9	3.5或1.4

表7-1-2(a)　ST.1波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國83年10月～民國84年3月）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	9.08	9.08	0.63	0.63	6.78	6.78	7.02	7.02	5.02	5.02	24.47	24.47	8.83	8.83
0.5~1.0	18.50	27.58	19.37	20.00	14.57	21.35	18.07	25.09	16.89	21.91	29.79	54.26	19.53	28.37
1.0~1.5	11.17	38.75	34.17	54.17	18.34	39.69	19.30	44.39	23.52	45.43	20.36	74.62	21.14	49.51
1.5~2.0	21.29	60.04	25.67	79.84	19.35	59.04	29.30	73.69	33.79	79.22	16.11	90.73	24.25	73.76
2.0~2.5	32.46	92.50	18.74	98.58	27.89	86.93	20.35	94.04	18.95	98.17	4.26	94.99	20.44	94.20
2.5~3.0	6.63	99.13	1.42	100.00	12.06	98.99	5.44	99.48	1.83	100.00	2.28	97.27	4.94	99.15
3.0~3.5	0.87	100.00	0.00	100.00	1.01	100.00	0.53	100.01	0.00	100.00	2.43	99.70	0.81	99.95
3.5~4.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.00	0.30	100.00	0.05	100.00
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-2(b)　ST.1波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國84年10月～民國85年3月）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	4.37	4.37	2.51	2.51	0.00	0.00	1.19	1.19	9.20	9.20	17.43	17.43	5.78	5.78
0.5~1.0	7.86	12.23	15.24	17.75	11.75	11.75	18.28	19.47	13.72	22.92	22.70	40.13	14.93	20.71
1.0~1.5	23.73	35.96	25.74	43.49	16.45	28.20	28.68	48.15	9.64	32.56	24.46	64.59	21.45	42.16
1.5~2.0	41.34	77.30	29.73	73.22	33.12	61.32	34.32	82.47	25.40	57.96	26.08	90.67	31.66	73.82
2.0~2.5	19.21	96.51	20.86	94.08	22.22	83.54	13.08	95.54	25.69	83.65	7.70	98.37	18.13	91.95
2.5~3.0	3.06	99.57	5.18	99.26	15.17	98.71	3.27	98.81	11.09	94.74	1.62	100.00	6.56	98.51
3.0~3.5	0.44	100.00	0.74	100.00	1.28	100.00	1.19	100.00	5.11	99.85	0.00	100.00	1.46	99.97
3.5~4.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.15	100.00	0.00	100.00	0.03	100.00
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-2(c)　ST.1波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國83年及84年之平均）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	6.73	6.73	1.57	1.57	3.39	3.39	4.11	4.11	7.11	7.11	20.95	20.95	7.31	7.31
0.5~1.0	13.18	19.91	17.31	18.88	13.16	16.55	18.18	22.28	15.31	22.42	26.25	47.20	17.23	24.54
1.0~1.5	17.45	37.36	29.96	48.83	17.40	33.95	23.99	46.27	16.58	39.00	22.41	69.61	21.30	45.83
1.5~2.0	31.32	68.67	27.70	76.53	26.24	60.18	31.81	78.08	29.60	68.59	21.10	90.70	27.96	73.79
2.0~2.5	25.84	94.51	19.80	96.33	25.06	85.24	16.71	94.79	22.32	90.91	5.98	96.68	19.28	93.08
2.5~3.0	4.84	99.35	3.30	99.63	13.62	98.85	4.35	99.14	6.46	97.37	1.95	98.63	5.75	98.83
3.0~3.5	0.65	100.00	0.37	100.00	1.15	100.00	0.86	100.00	2.56	99.93	1.22	99.85	1.13	99.96
3.5~4.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.08	100.00	0.15	100.00	0.04	100.00
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-3(a)　ST.2波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國83年10月～民國84年3月）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	3.01	3.01	0.00	0.00	1.74	1.74	3.48	3.48	0.77	0.77	3.08	3.08	2.01	2.01
0.5~1.0	7.48	10.49	7.70	7.70	10.60	12.34	11.03	14.51	8.60	9.37	24.64	27.72	11.68	13.69
1.0~1.5	4.39	14.88	15.26	22.96	18.29	30.63	14.22	28.73	17.67	27.04	21.56	49.28	15.23	28.92
1.5~2.0	5.53	20.41	29.33	52.29	13.93	44.56	18.87	47.60	26.42	53.46	13.04	62.32	17.85	46.77
2.0~2.5	23.25	43.66	25.93	78.22	17.42	61.98	28.59	76.19	33.18	86.64	16.49	78.81	24.14	70.92
2.5~3.0	46.99	90.65	18.52	96.74	27.29	89.27	19.45	95.64	12.44	99.08	7.25	86.06	21.99	92.91
3.0~3.5	7.72	98.37	3.26	99.34	10.45	99.72	4.35	100.00	0.92	100.00	8.15	94.21	5.81	98.61
3.5~4.0	1.38	99.75	0.00	99.34	0.29	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	4.30	98.51	1.00	99.60
4.0~4.5	0.24	99.99	0.00	99.34	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.91	99.42	0.19	99.79
4.5~5.0	0.00	99.99	0.00	99.34	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.36	99.78	0.06	99.85

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-3(b)　ST.2波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國84年10月～民國85年3月）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.54	8.17	8.17	7.63	7.63	2.72	2.72
0.5~1.0	9.18	9.18	7.60	7.60	1.64	1.64	9.26	9.80	9.80	17.97	17.61	25.24	9.18	11.91
1.0~1.5	6.58	15.76	12.40	20.00	8.08	9.72	18.80	28.60	10.16	28.13	18.31	43.55	12.39	24.29
1.5~2.0	21.78	37.54	15.60	35.60	13.29	23.01	18.94	47.54	5.44	33.57	19.97	63.52	15.84	40.13
2.0~2.5	34.79	72.33	32.00	67.60	30.96	53.97	25.34	72.88	11.07	44.64	23.99	87.51	26.36	66.49
2.5~3.0	23.56	95.89	26.00	93.60	23.42	77.40	17.17	90.05	21.23	65.87	9.02	96.53	20.07	86.56
3.0~3.5	4.11	100.00	5.80	98.74	14.38	91.78	7.22	97.28	19.78	85.65	3.19	99.72	9.08	95.53
3.5~4.0	0.00	100.00	0.60	99.34	8.22	100.00	2.72	100.00	14.16	99.82	0.28	100.00	4.33	99.86
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	99.34	0.00	100.00	0.00	100.00	0.18	100.00	0.00	100.00	0.03	99.89
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	99.34	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.89

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-3(c)　ST.2波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國83年及84年之平均）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	1.51	1.51	0.00	0.00	0.87	0.87	2.01	2.01	4.47	4.47	5.36	5.36	2.37	2.37
0.5~1.0	8.33	9.84	7.65	7.65	6.12	6.99	10.15	12.16	9.20	13.67	21.13	26.48	10.43	12.80
1.0~1.5	5.49	15.32	13.83	21.48	13.19	20.18	16.51	28.67	13.92	27.59	19.94	46.42	13.81	26.61
1.5~2.0	13.66	28.98	22.47	43.95	13.61	33.79	18.91	47.57	15.93	43.52	16.51	62.92	16.85	43.45
2.0~2.5	29.02	58.00	28.97	72.91	24.19	57.98	26.97	74.54	22.13	65.64	20.24	83.16	25.25	68.70
2.5~3.0	35.28	93.27	22.26	95.17	25.36	83.33	18.31	92.85	16.84	82.48	8.14	91.30	21.03	89.73
3.0~3.5	5.92	99.19	4.53	99.04	12.42	95.75	5.79	98.64	10.35	92.83	5.67	96.97	7.44	97.07
3.5~4.0	0.69	99.88	0.30	99.34	4.26	100.00	1.36	100.00	7.08	99.91	2.29	99.26	2.66	99.73
4.0~4.5	0.12	100.00	0.00	99.34	0.00	100.00	0.00	100.00	0.09	100.00	0.46	99.71	0.11	99.84
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	99.34	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.18	99.89	0.03	99.87

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-4(a)　ST.4波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國83年10月～民國84年3月）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	21.46	21.46	6.25	6.25	9.38	9.38	9.60	9.60	8.88	8.88	27.39	27.39	13.83	13.83
0.5~1.0	17.62	39.08	45.56	51.81	27.23	36.61	23.82	33.42	32.87	41.75	39.15	66.54	31.04	44.87
1.0~1.5	24.52	63.60	39.80	91.61	29.35	65.96	32.52	65.94	43.30	85.05	21.45	87.99	31.82	76.69
1.5~2.0	23.37	86.97	8.39	100.00	26.17	92.13	21.13	87.07	13.55	98.60	4.26	92.25	16.15	92.84
2.0~2.5	6.90	93.87	0.00	100.00	6.05	98.18	11.14	98.21	1.40	100.00	3.10	95.35	4.77	97.60
2.5~3.0	4.98	98.85	0.00	100.00	1.82	100.00	1.79	100.00	0.00	100.00	4.52	99.87	2.19	99.79
3.0~3.5	1.15	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.13	100.00	0.21	100.00
3.5~4.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-4(b)　ST.4波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國84年10月～民國85年3月）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	7.24	7.24	5.97	5.97	1.82	1.82	7.09	7.09	7.80	7.80	13.50	13.50	7.24	7.24
0.5~1.0	35.93	43.17	31.94	37.91	21.22	23.04	32.89	39.98	16.02	23.82	41.25	54.75	29.88	37.11
1.0~1.5	44.81	87.98	50.69	88.60	49.74	72.78	36.63	76.61	23.26	47.08	37.50	92.25	40.44	77.55
1.5~2.0	11.20	99.18	11.11	99.71	19.79	92.57	14.44	91.05	27.16	74.24	7.50	99.75	15.20	92.75
2.0~2.5	0.82	100.00	0.28	100.00	5.34	97.91	5.88	96.93	16.43	90.67	0.00	99.75	4.79	97.54
2.5~3.0	0.00	100.00	0.00	100.00	2.08	100.00	3.07	100.00	8.50	99.17	0.00	99.75	2.27	99.82
3.0~3.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.84	100.00	0.00	99.75	0.14	99.96
3.5~4.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.75	0.00	99.96
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.75	0.00	99.96
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.75	0.00	99.96

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-1-4(c)　ST.4波浪站全冬季各月份示性波高發生率

（民國83年及84年之平均）

	10月		11月		12月		1月		2月		3月		全冬季	
波高區間 m	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	發生百分率%	累積百分率%	平均發生率%	平均累積率%
0.0~0.5	14.35	14.35	6.11	6.11	5.60	5.60	8.35	8.35	8.34	8.34	20.45	20.45	10.53	10.53
0.5~1.0	26.78	41.13	38.75	44.86	24.23	29.83	28.36	36.70	24.45	32.79	40.20	60.65	30.46	40.99
1.0~1.5	34.67	75.79	45.25	90.11	39.55	69.37	34.58	71.28	33.28	66.07	29.48	90.12	36.13	77.12
1.5~2.0	17.29	93.08	9.75	99.86	22.98	92.35	17.79	89.06	20.36	86.42	5.88	96.00	15.67	92.79
2.0~2.5	3.86	96.94	0.14	100.00	5.70	98.05	8.51	97.57	8.92	95.34	1.55	97.55	4.78	97.57
2.5~3.0	2.49	99.43	0.00	100.00	1.95	100.00	2.43	100.00	4.25	99.58	2.26	99.81	2.23	99.80
3.0~3.5	0.58	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.42	100.00	0.07	99.88	0.18	99.98
3.5~4.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.88	0.00	99.98
4.0~4.5	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.88	0.00	99.98
4.5~5.0	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.88	0.00	99.98

（資料來源：港灣技術研究所，民國85年）

表7-3-1　近程改善方案工程費估算

單位：萬元

工程項目	單位	單價	方案一		方案二		方案三	
			數量	複價	數量	複價	數量	複價
航道水域浚深	萬m^3	130.0	110	14300	110	14300	30	3900
導航燈標	式	500.0	5	2500	5	2500	0	0
海氣象觀測系統	式	1500.0	2	3000	2	3000	1	1500
操船模擬研究費	式	350.0	4	1400	4	1400	4	1400
南內堤拆除	公尺	155.0	0	0	50	7750	0	0
工程研究設計監造及行政管理費	8%	總價	1	1696		2316		544
合計				22896		31266		7344

表7-3-2　遠程改善方案工程費估算

單位：萬元

工程項目	單位	單價	方案一		方案二		方案三	
			數量	複價	數量	複價	數量	複價
航道水域浚深	萬m^3	130.0	0	0	30	3900	30	3900
南內堤拆除	公尺	155.0	0	0	50	7750	50	7750
北防波堤延伸	公尺	280.0	0	0	600	168000	600	168000
消波塊拋放	公尺	72.0	0	0	0	0	600	43200
操船模擬研究費	式	350.0		0	3	1050	3	1050
工程研究設計監造及行政管理費	8%	總價		0		14456		17912
合計				0		195156		241812

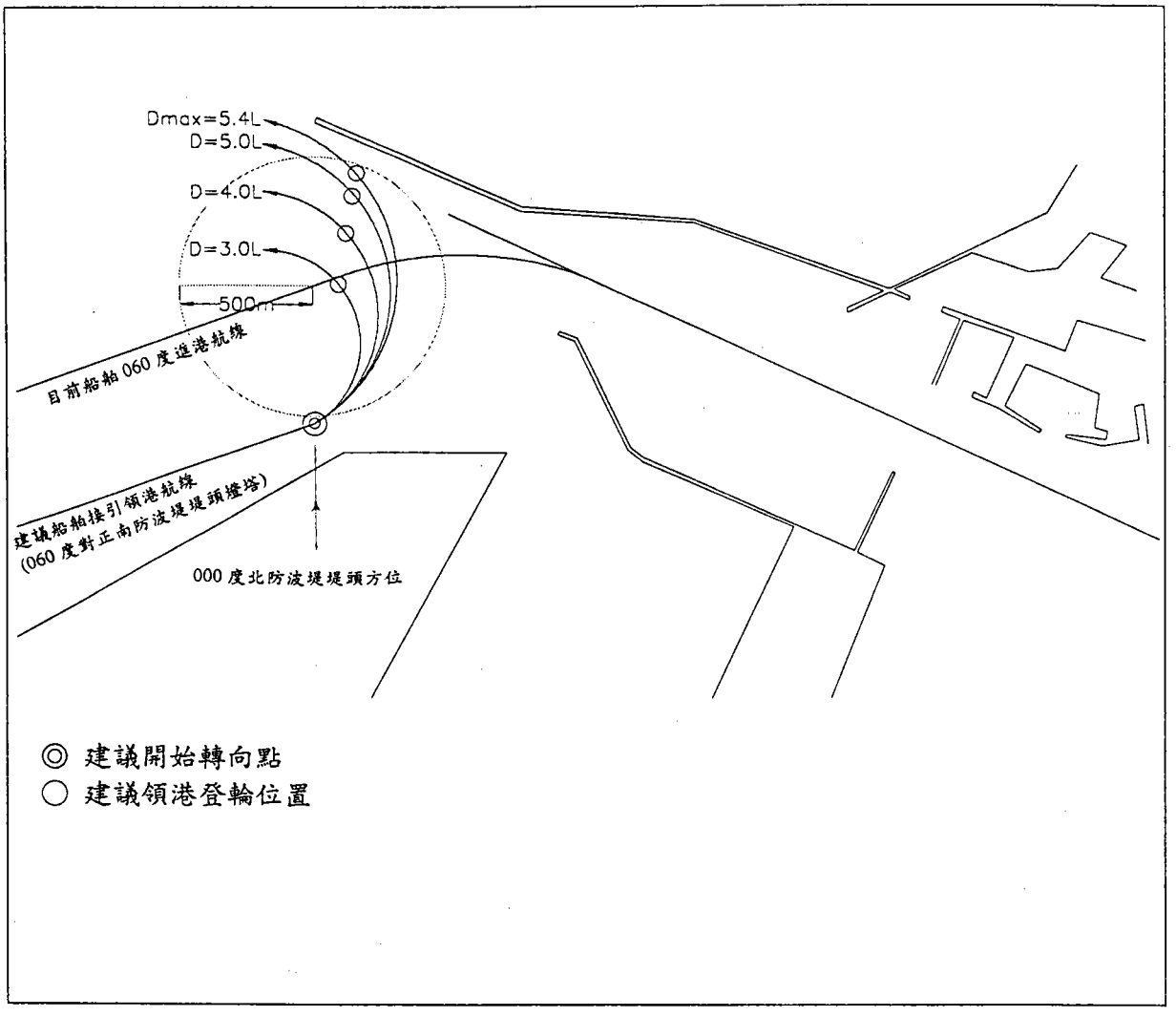


圖7-1-1a　間接進港之操船與登輪

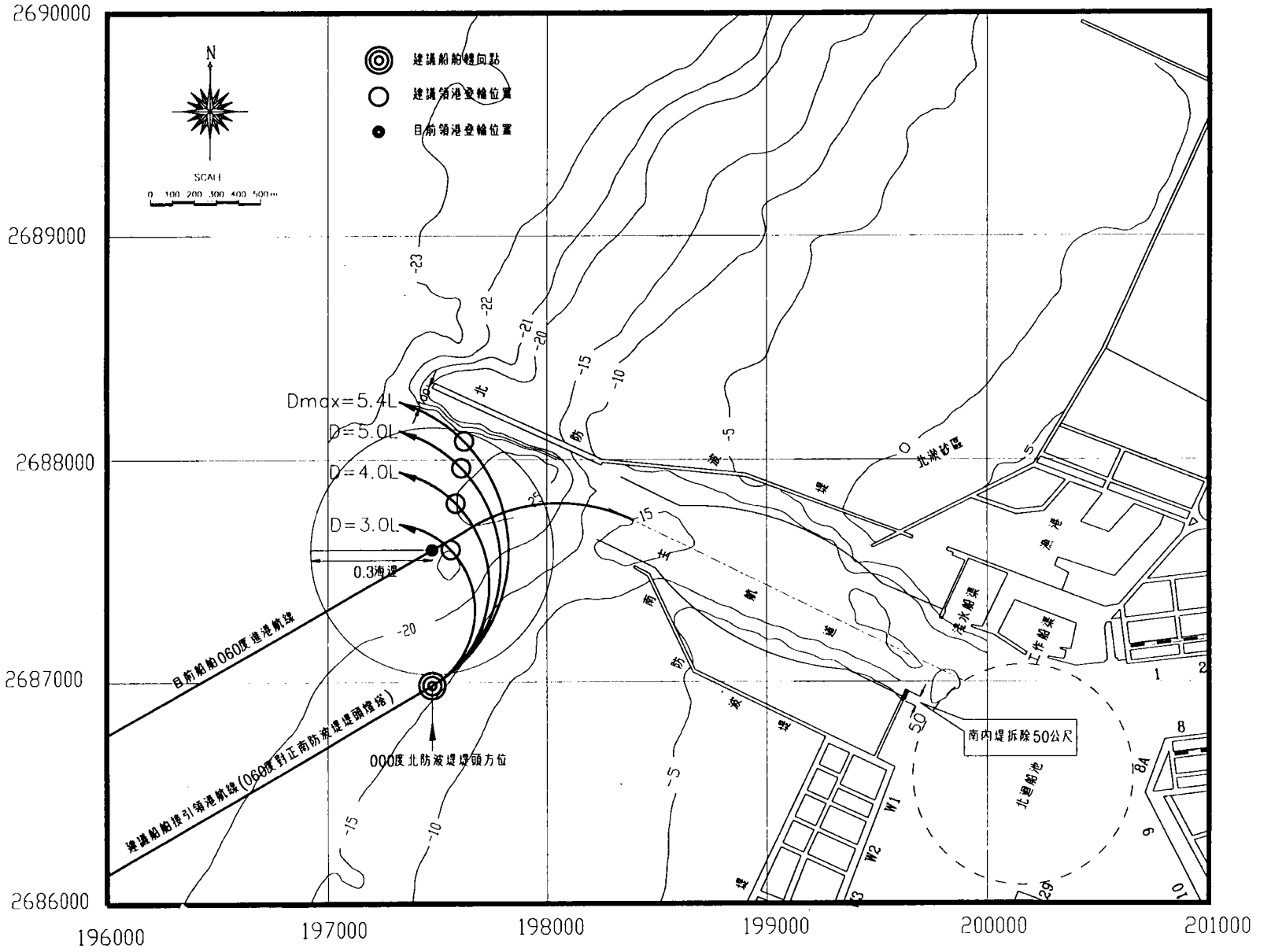


圖7-1-1b　間接進港之操航與配置

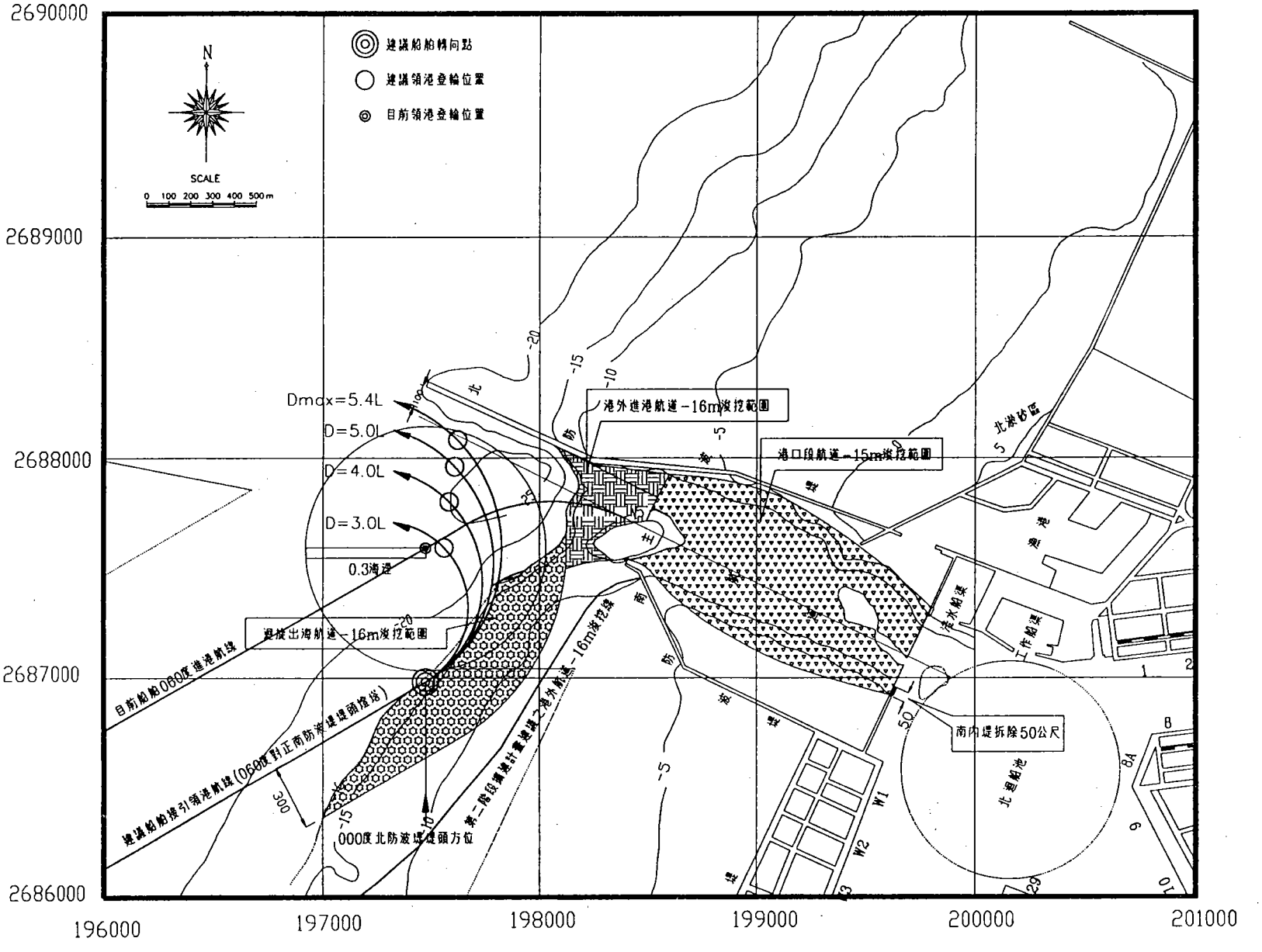


圖7-2-1　近程改善方案一及方案二配置圖

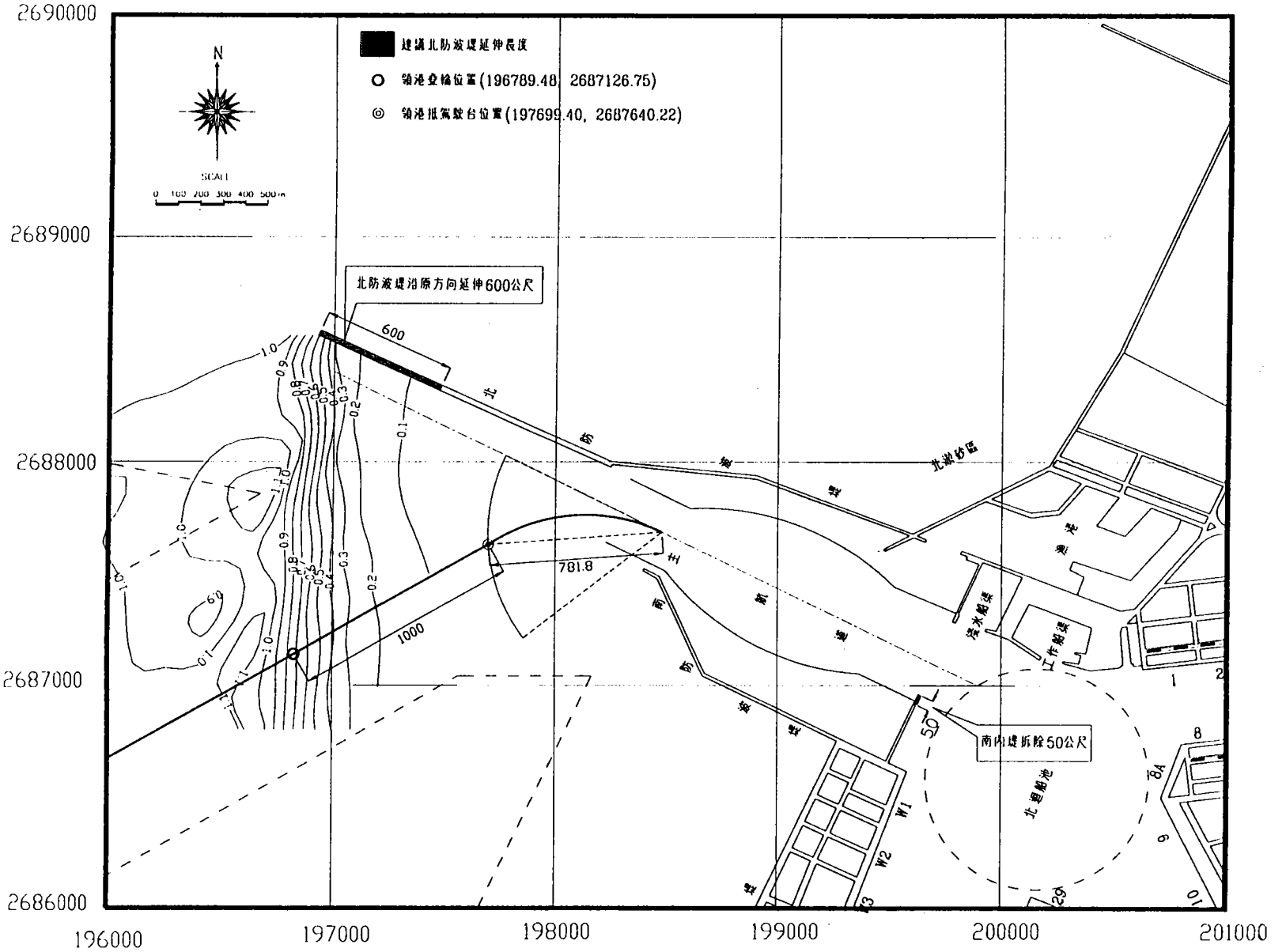


圖7-2-2　遠程改善方案二配置圖

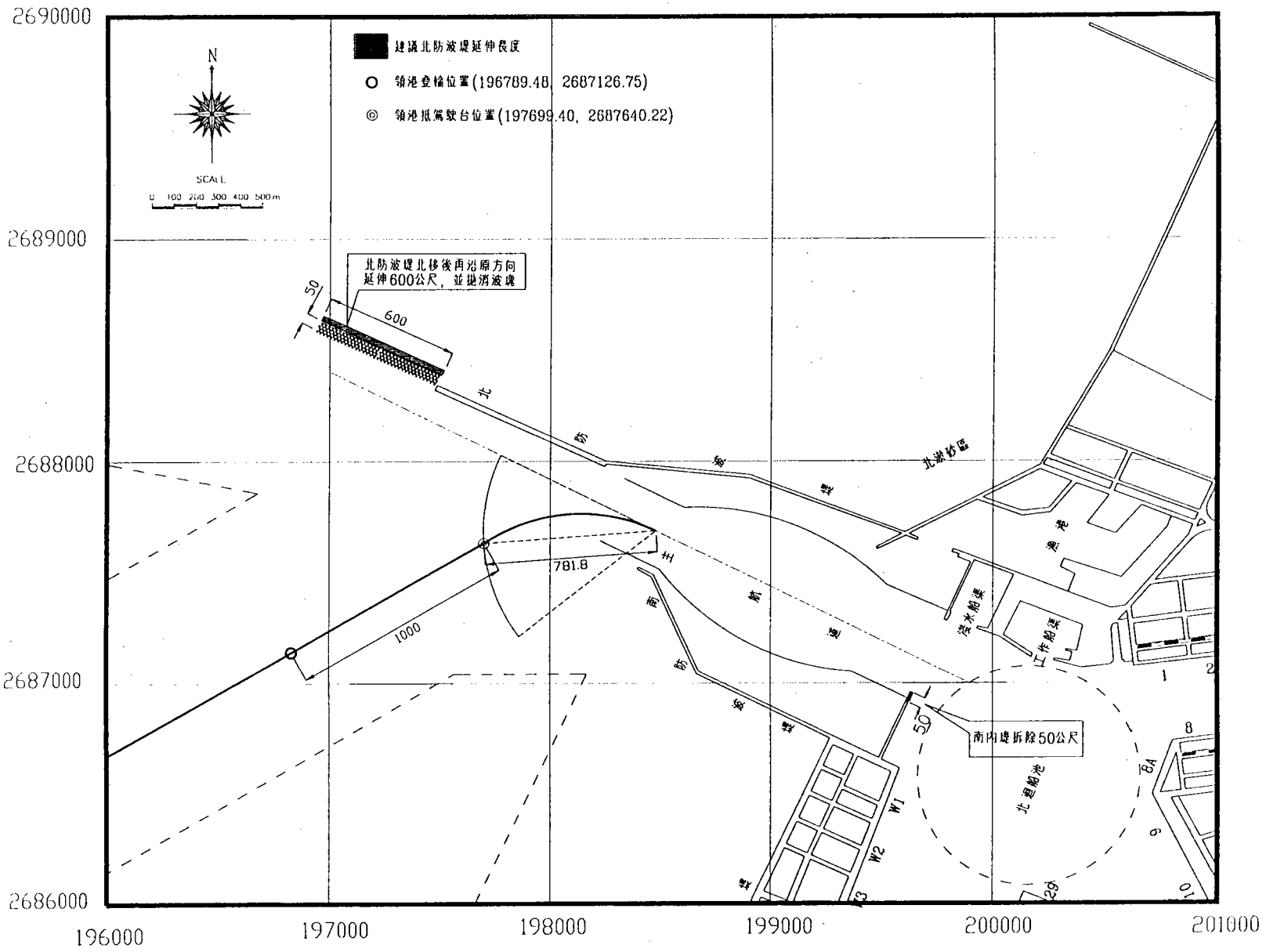


圖7-2-3　遠程改善方案三配置圖

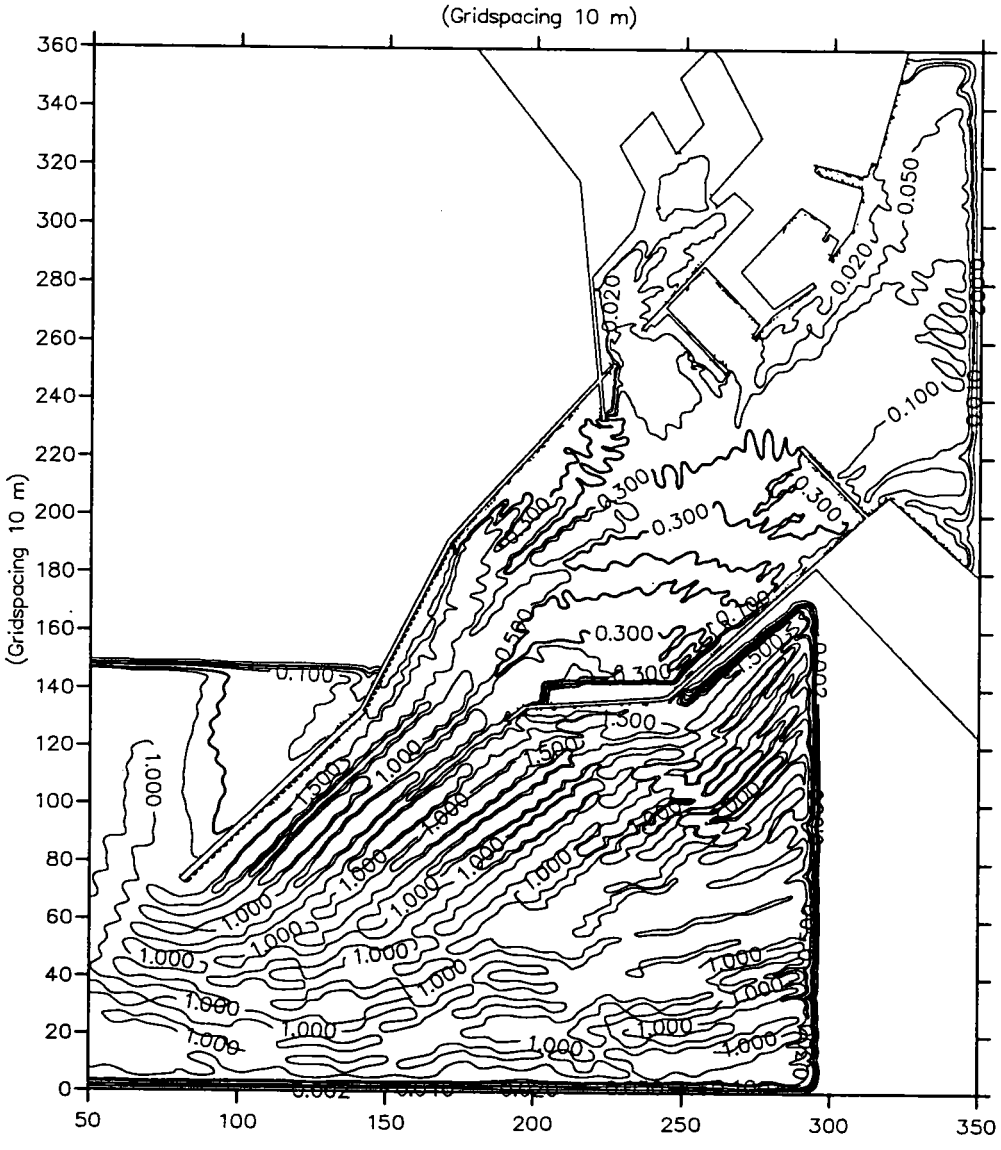


圖7-3-1a　台中港現況南內堤拆除50公尺颱風波浪
週期10秒，WSW波向計算之kd圖

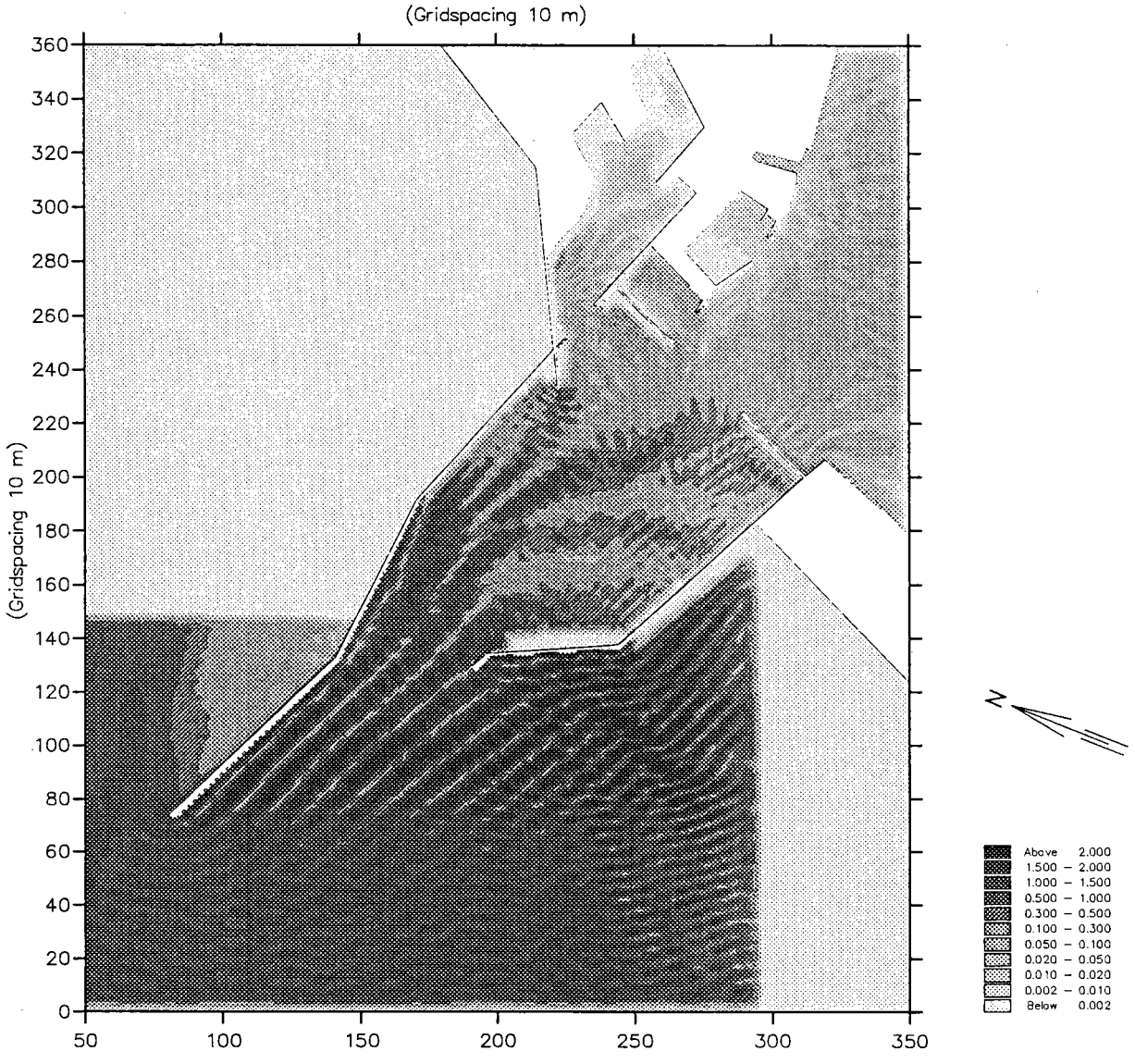


圖7-3-1b　台中港現況南內堤拆除50公尺颱風波浪
週期10秒，WSW波向計算之kd灰階圖

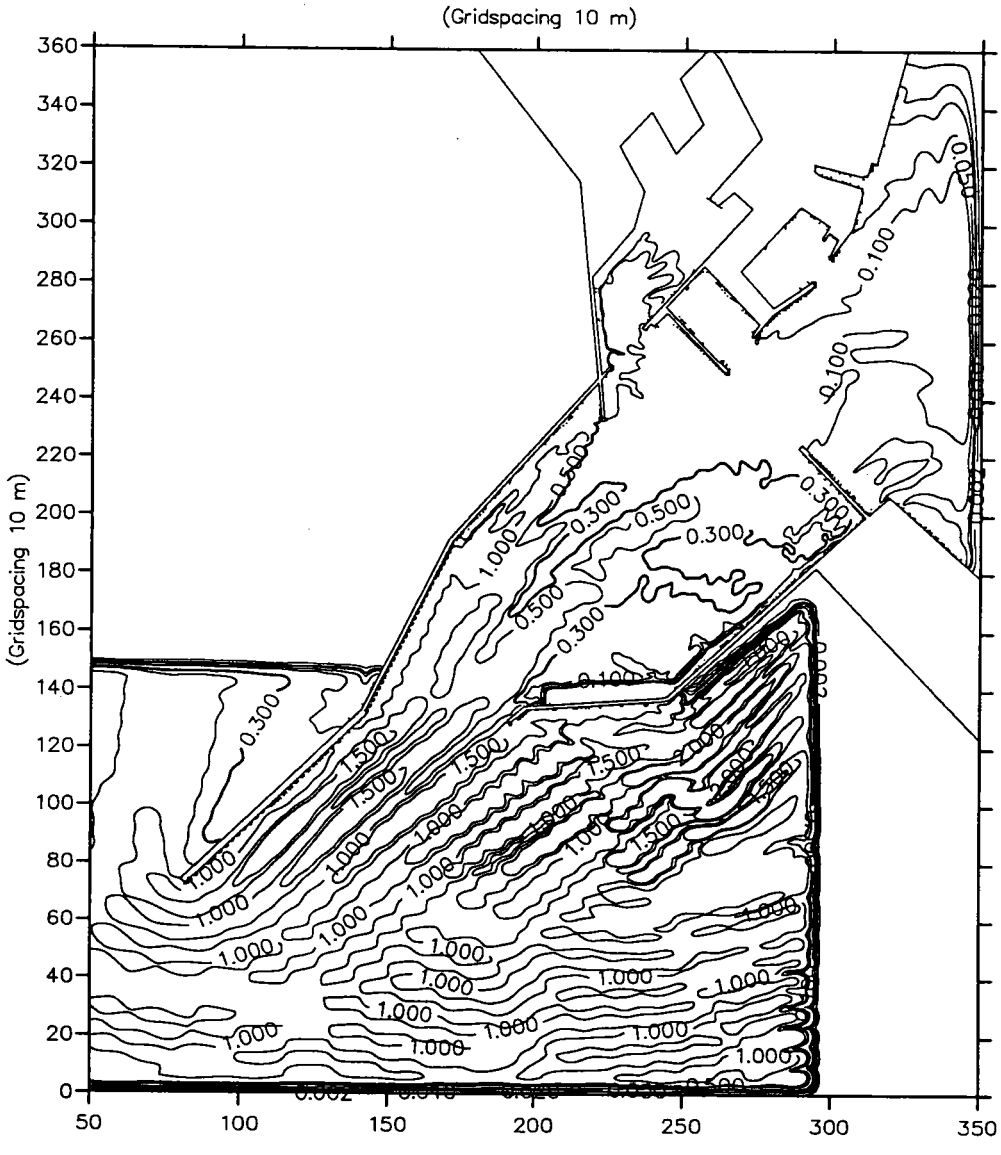


圖7-3-2a　台中港現況南內堤拆除50公尺颱風波浪
週期12秒，WSW波向計算之kd圖

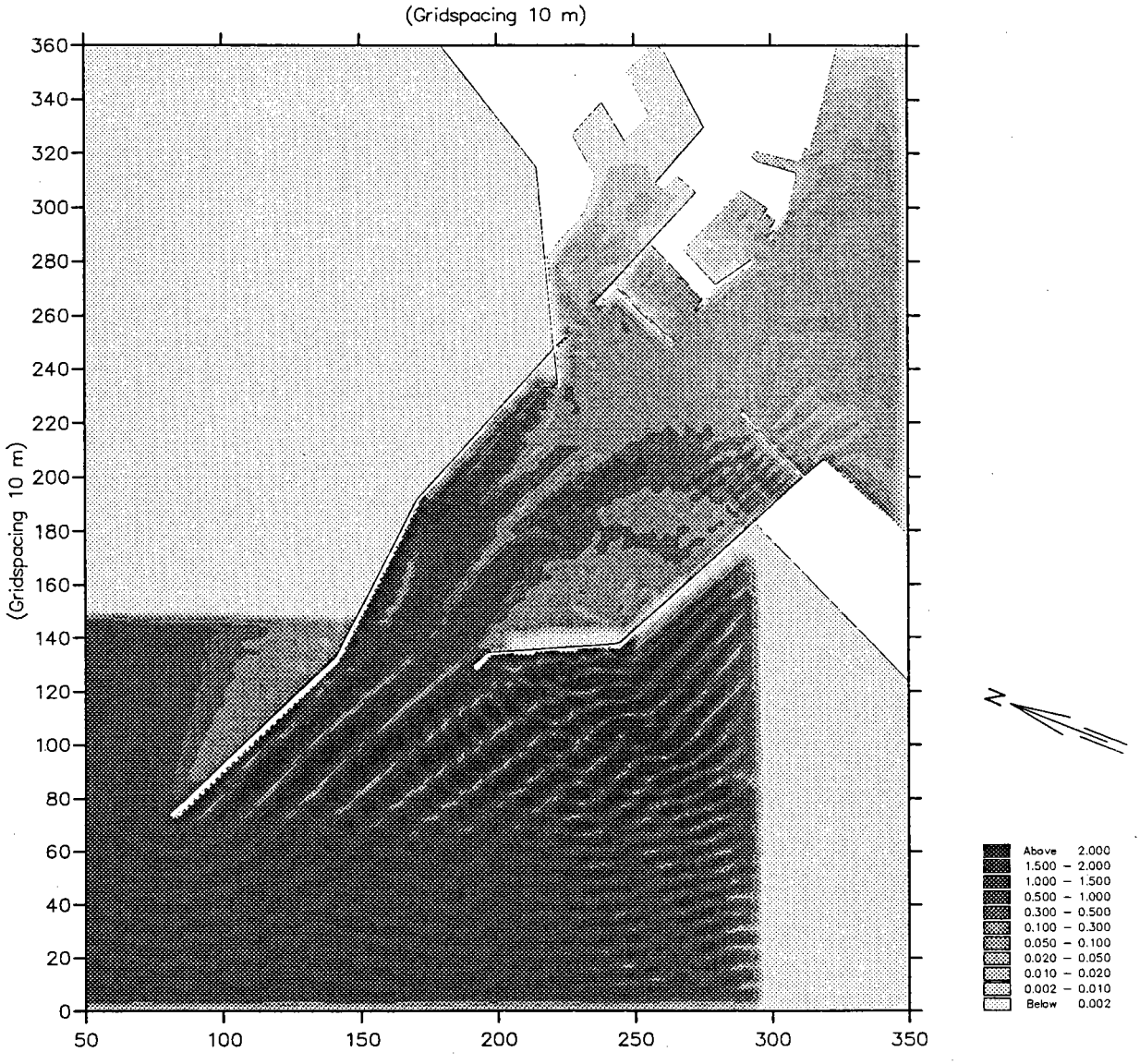


圖7-3-2b　台中港現況南內堤拆除50公尺颱風波浪
週期12秒，WSW波向計算之kd灰階圖

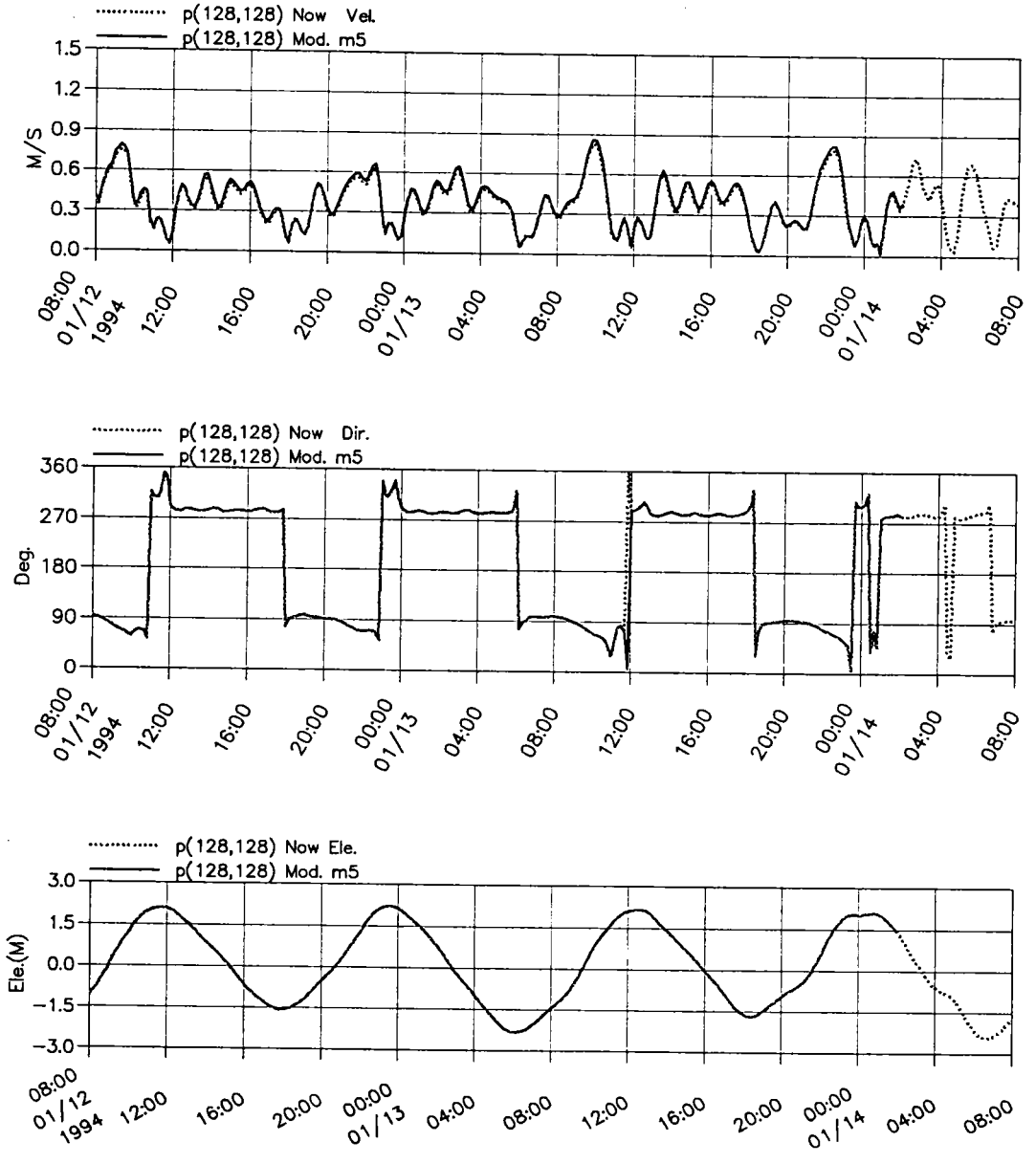


圖7-3-3a 台中港冬季現況與南內防波堤拆除50公尺
港口主航道上之流況比較

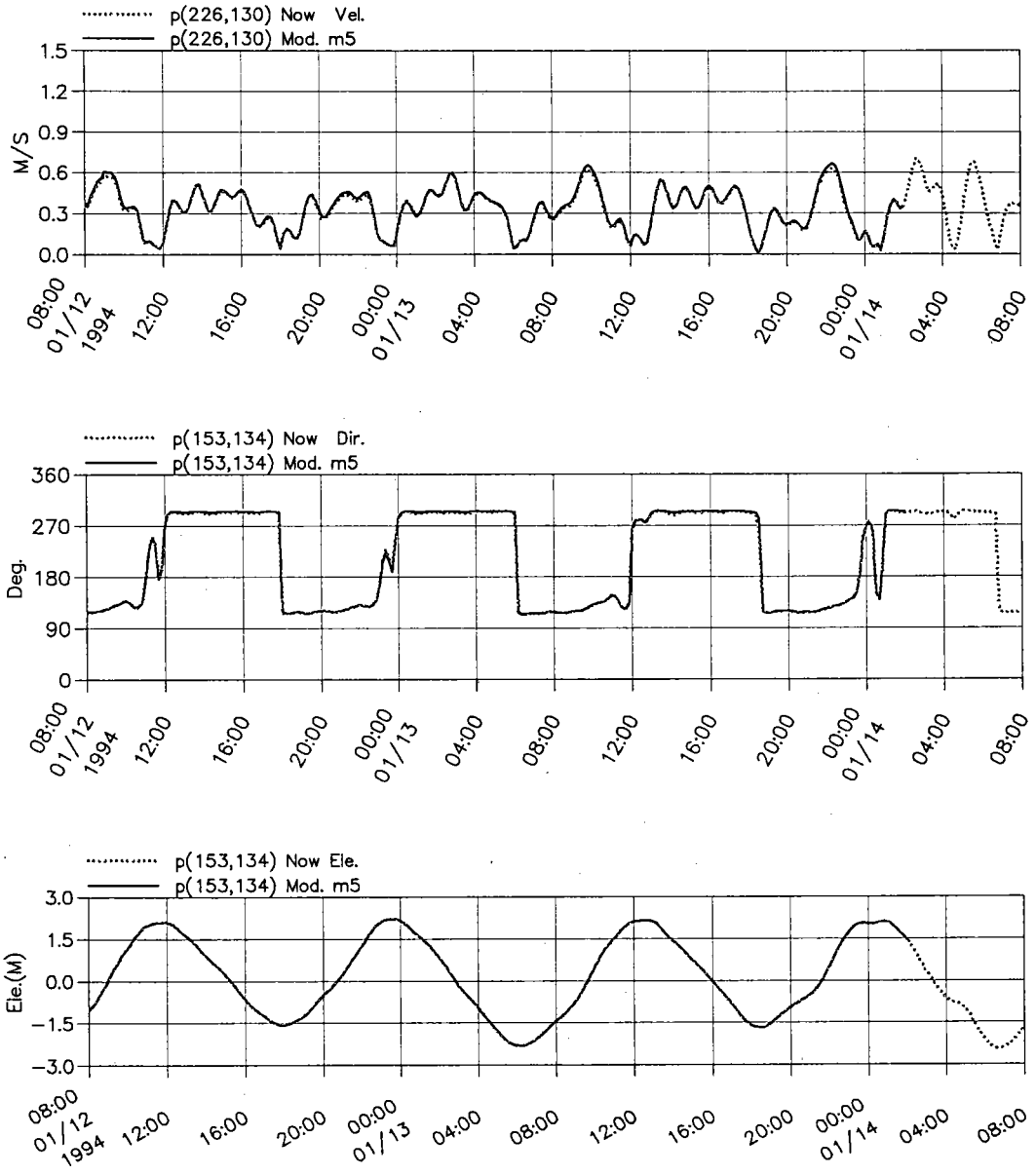


圖7-3-3b　台中港冬季現況與南內防波堤拆除50公尺
港口內主航道中點之流況比較

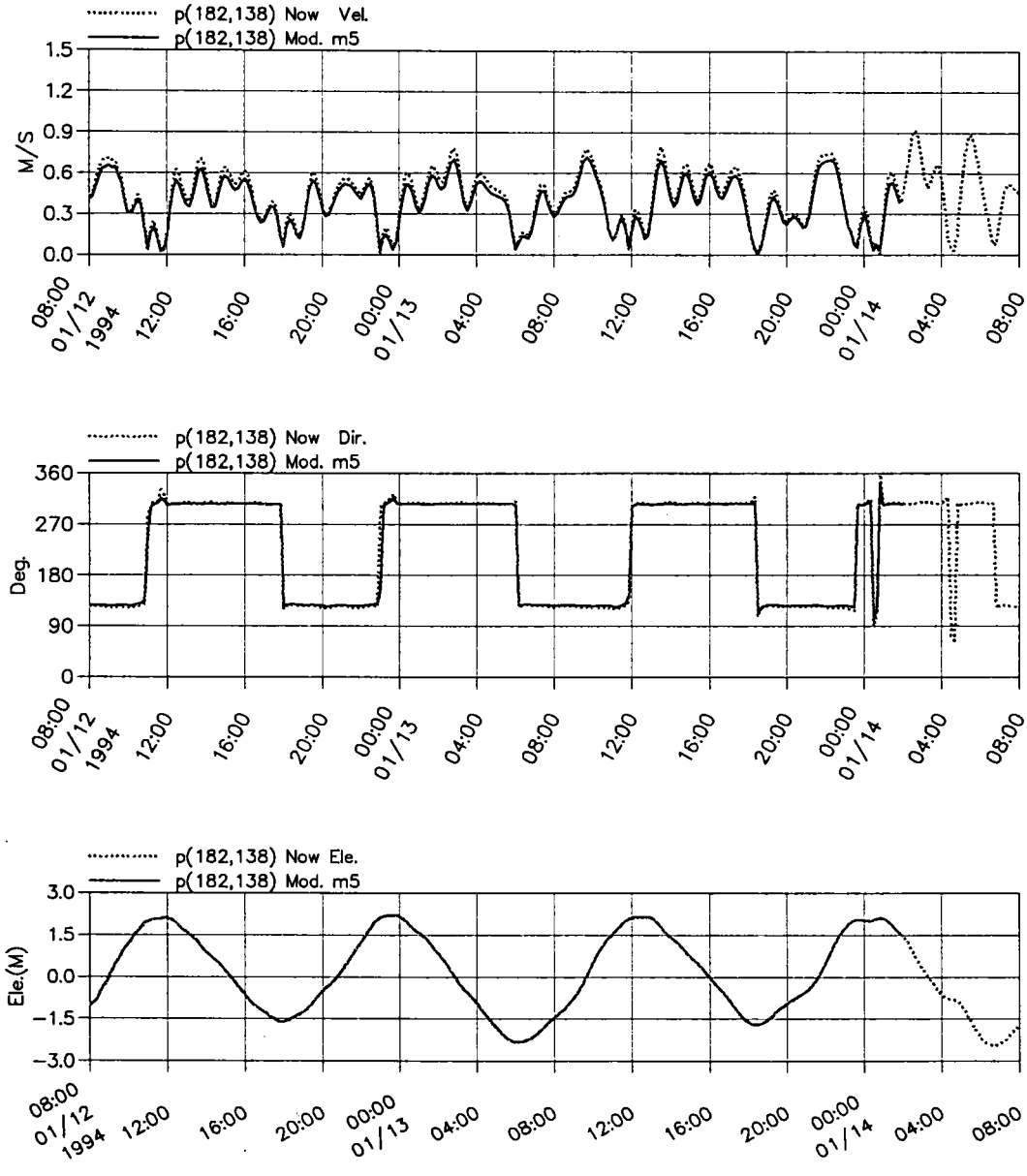


圖7-3-3c 台中港冬季現況與南內防波堤拆除50公尺
內港口南北堤口中點之流況比較

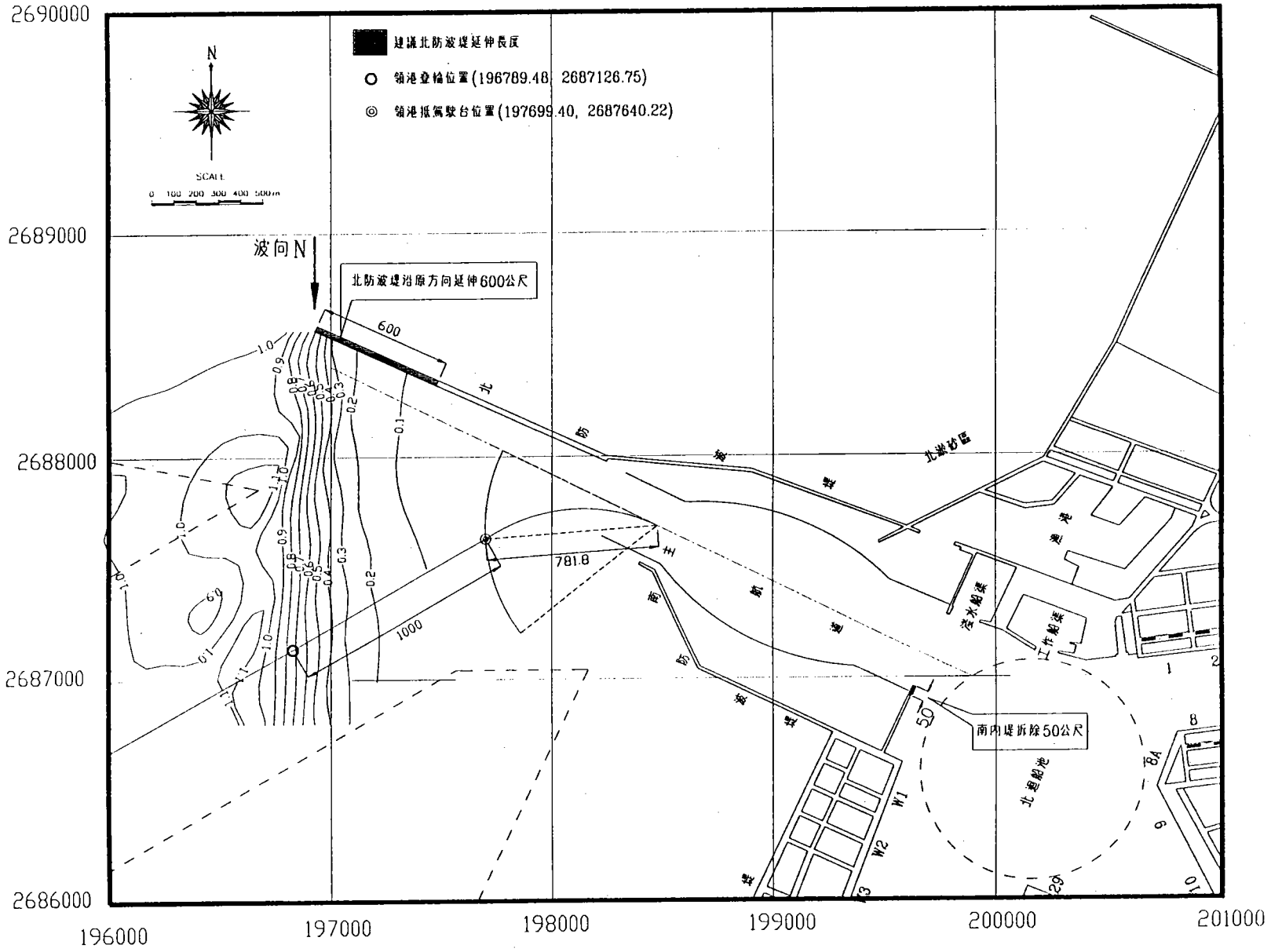


圖7-3-4 遠程改善方案二及方案三N向波浪繞射係數圖

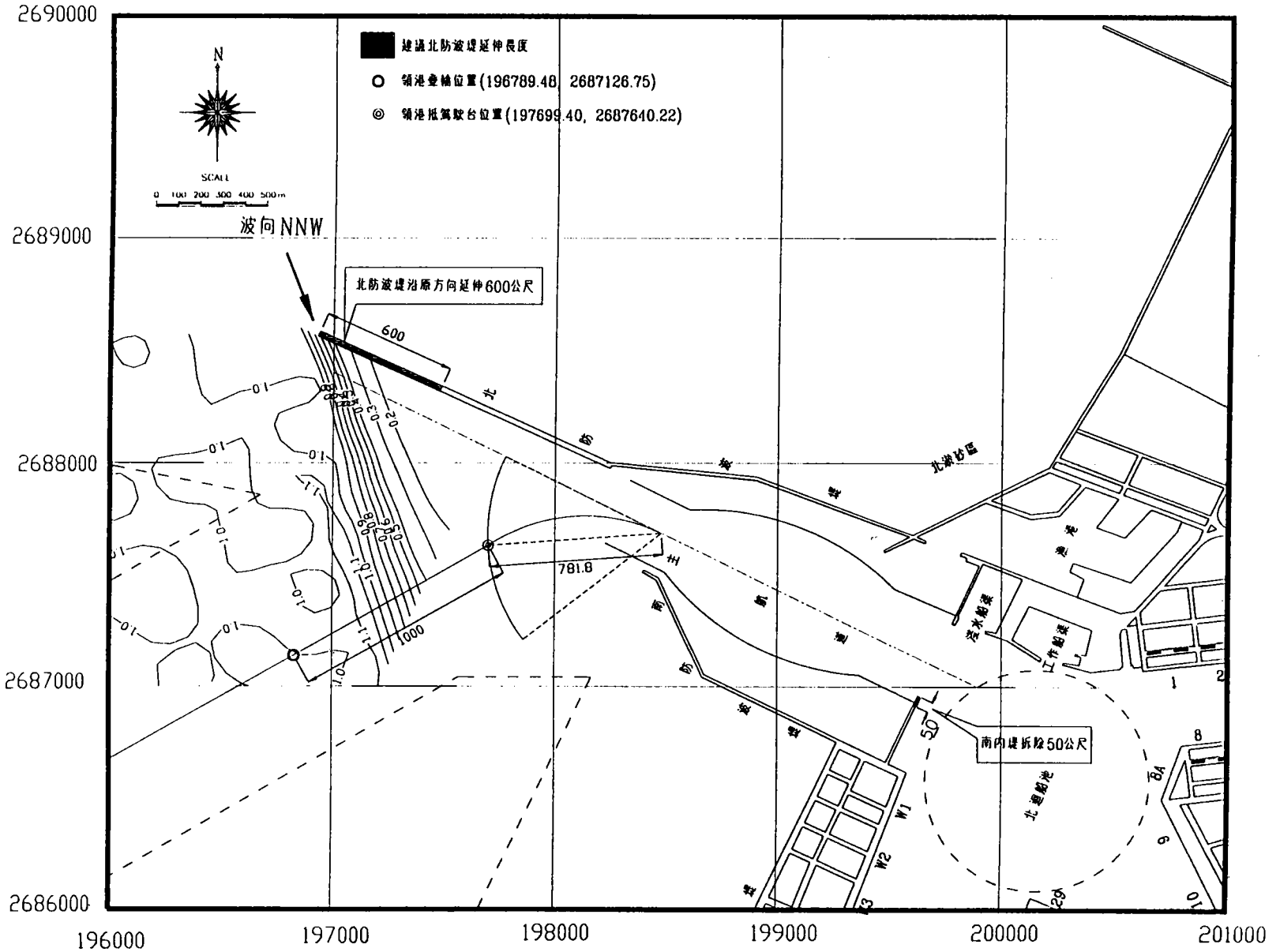


圖7-3-5 遠程改善方案二及方案三NNW向波浪繞射係數圖

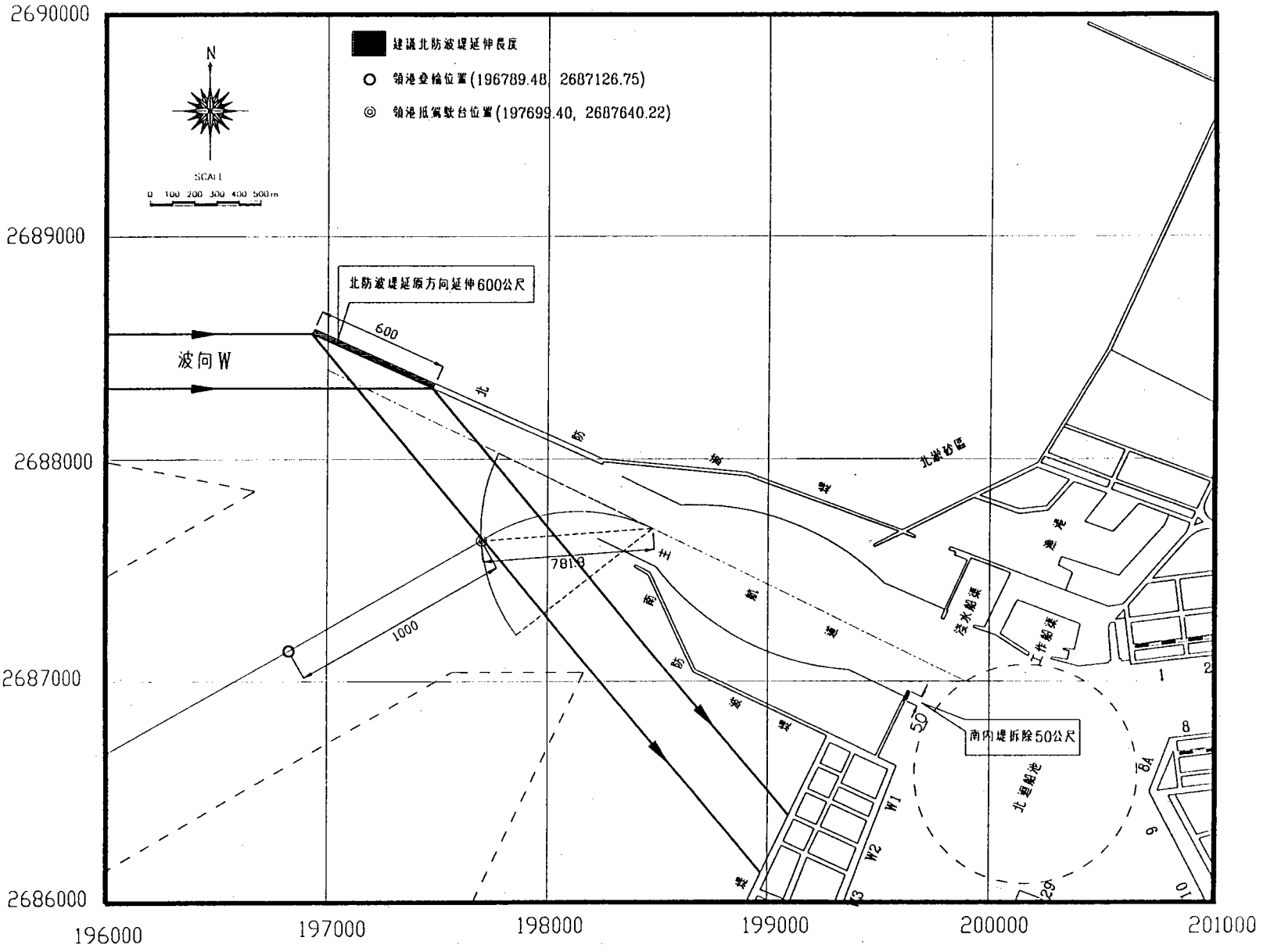


圖7-3-6 遠程改善方案二及方案三W向波浪入射反射圖

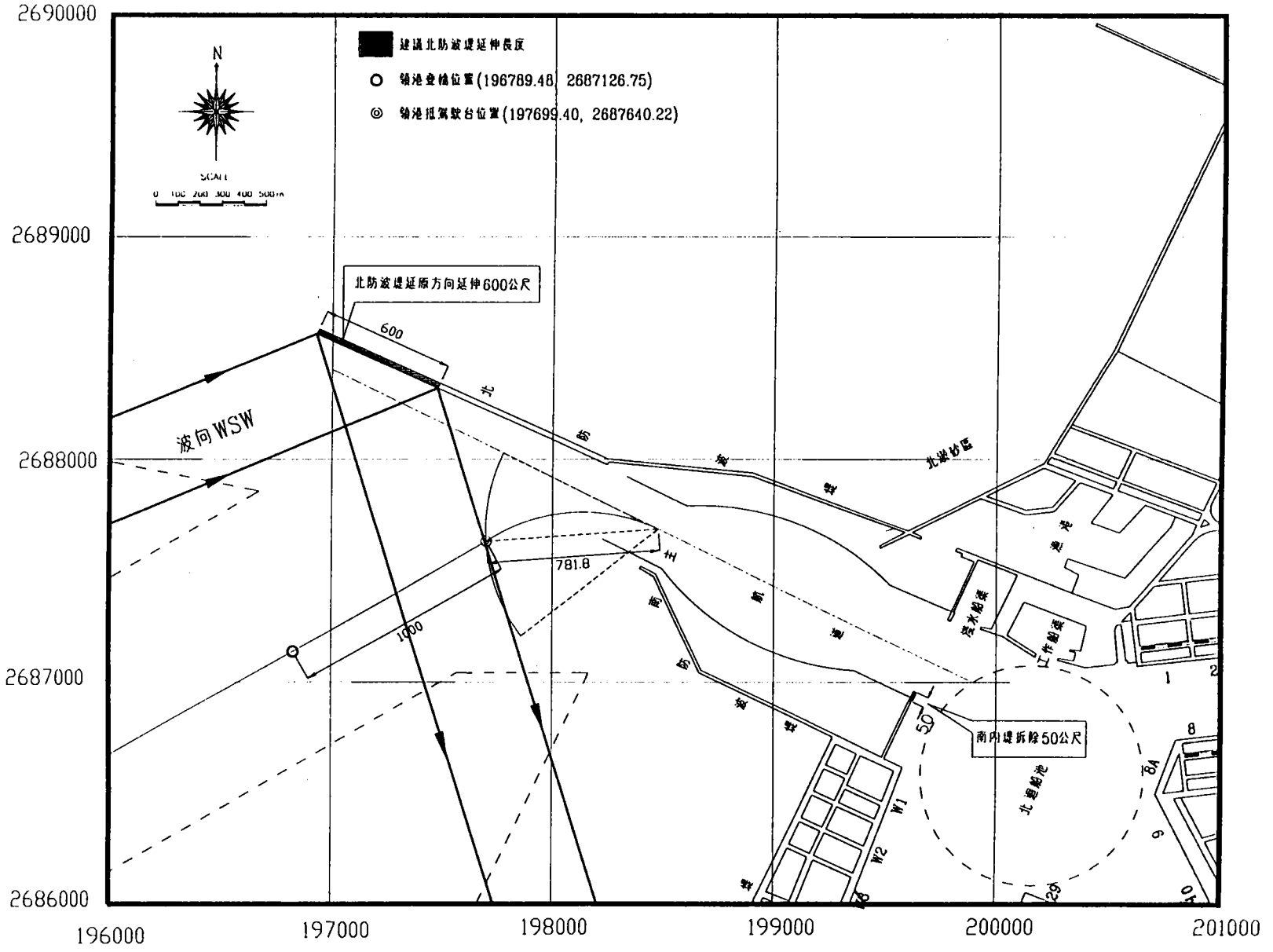


圖7-3-7 遠程改善方案二及方案三WSW向波浪入射反射圖

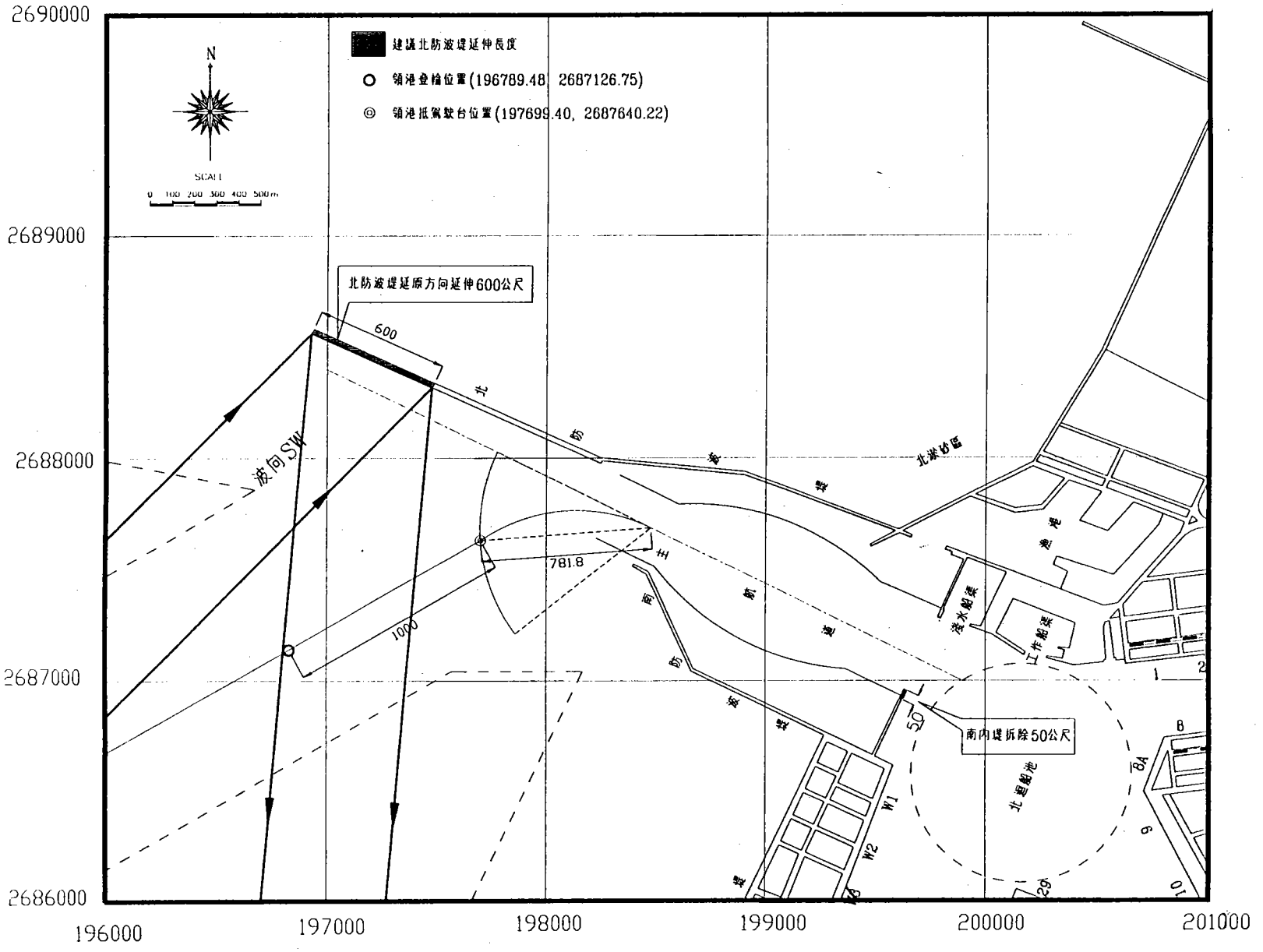


圖7-3-8 遠程改善方案二及方案三SW向波浪入射反射圖

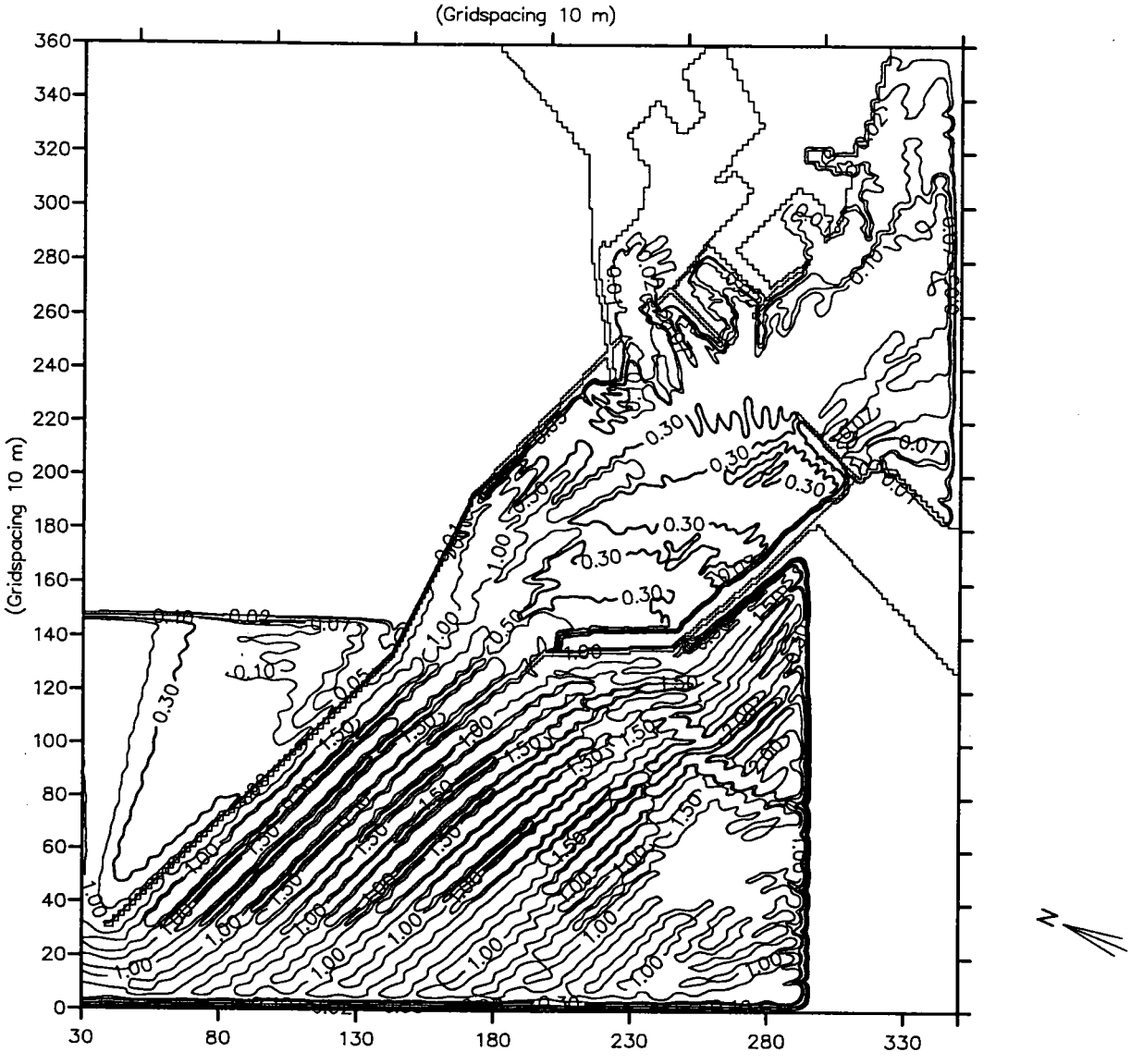


圖7-3-9a　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
颱風波浪週期10秒，WSW波向計算之kd圖

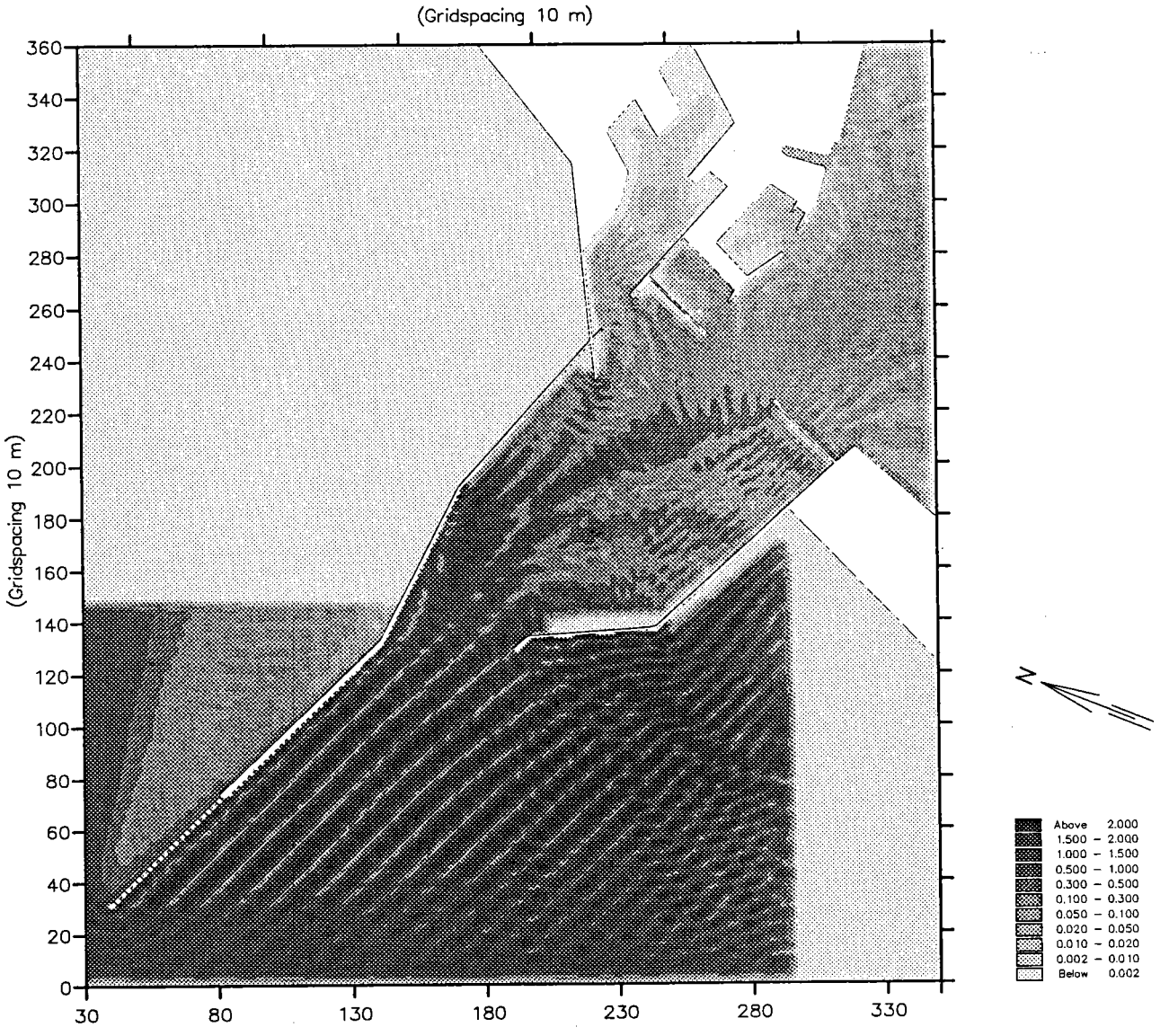


圖7-3-9b　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
颱風波浪週期10秒，WSW波向計算之kd灰階圖

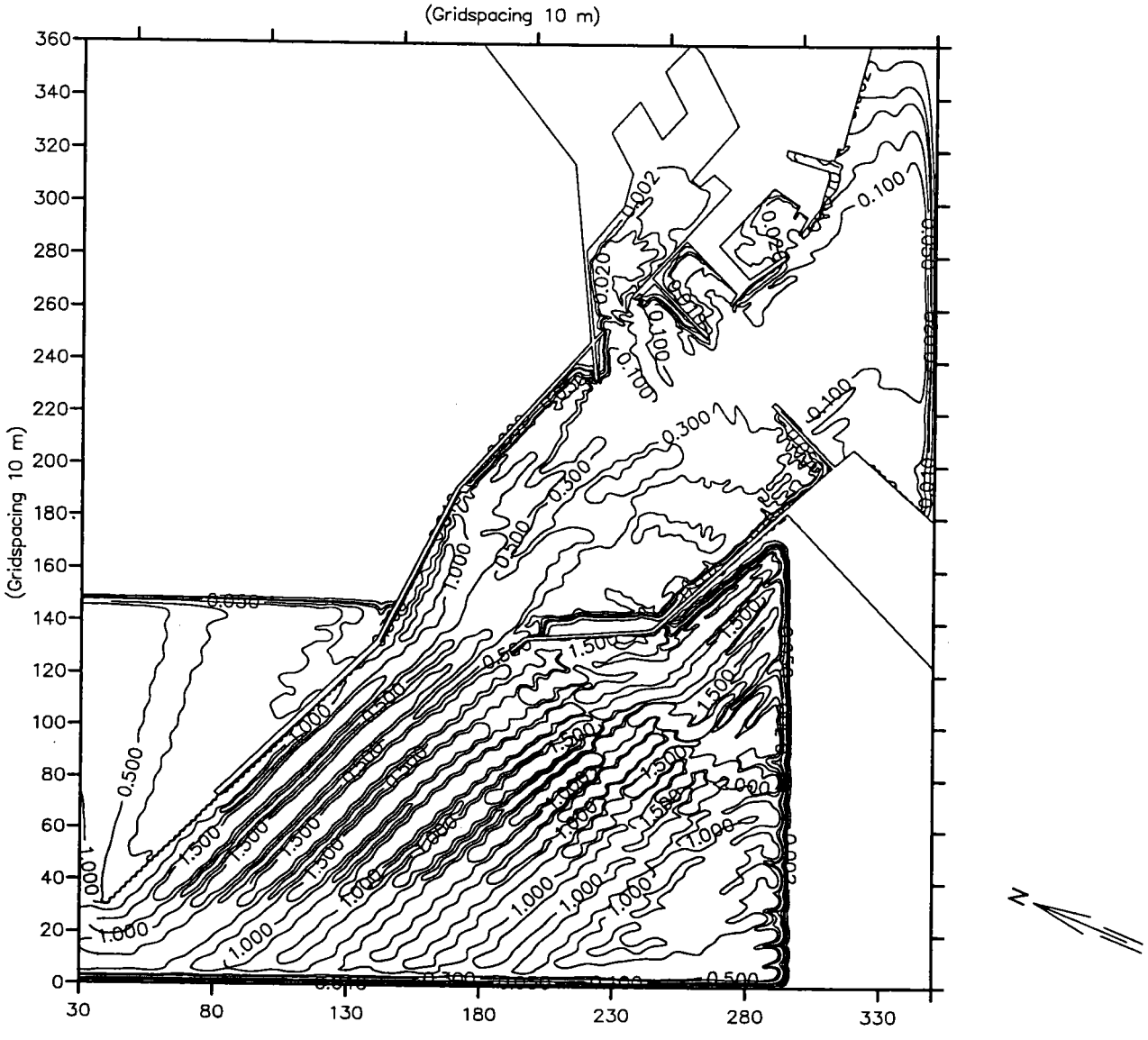


圖7-3-10a　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
颱風波浪週期12秒，WSW波向計算之kd圖

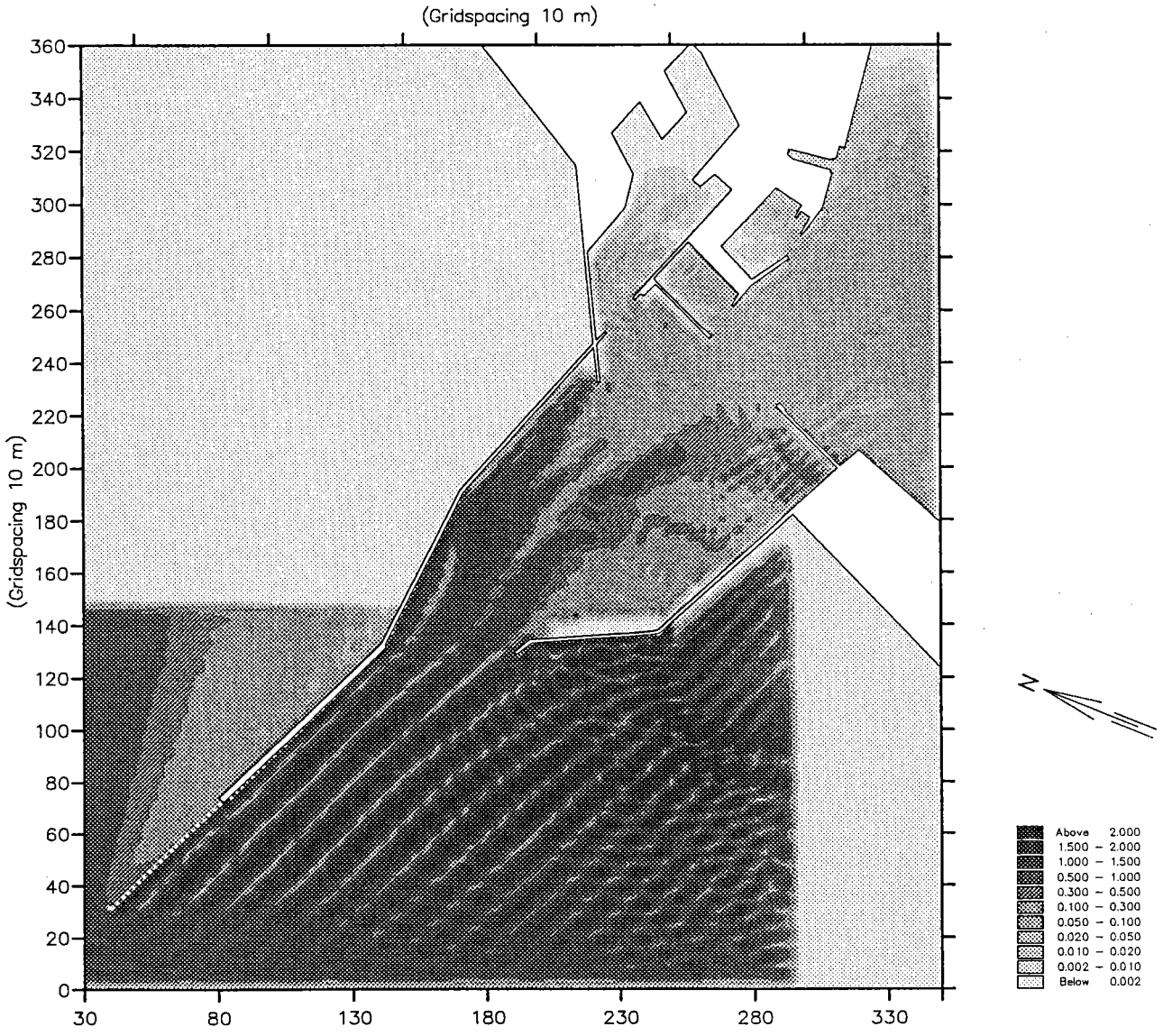


圖7-3-10b　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
颱風波浪週期12秒，WSW波向計算之kd灰階圖

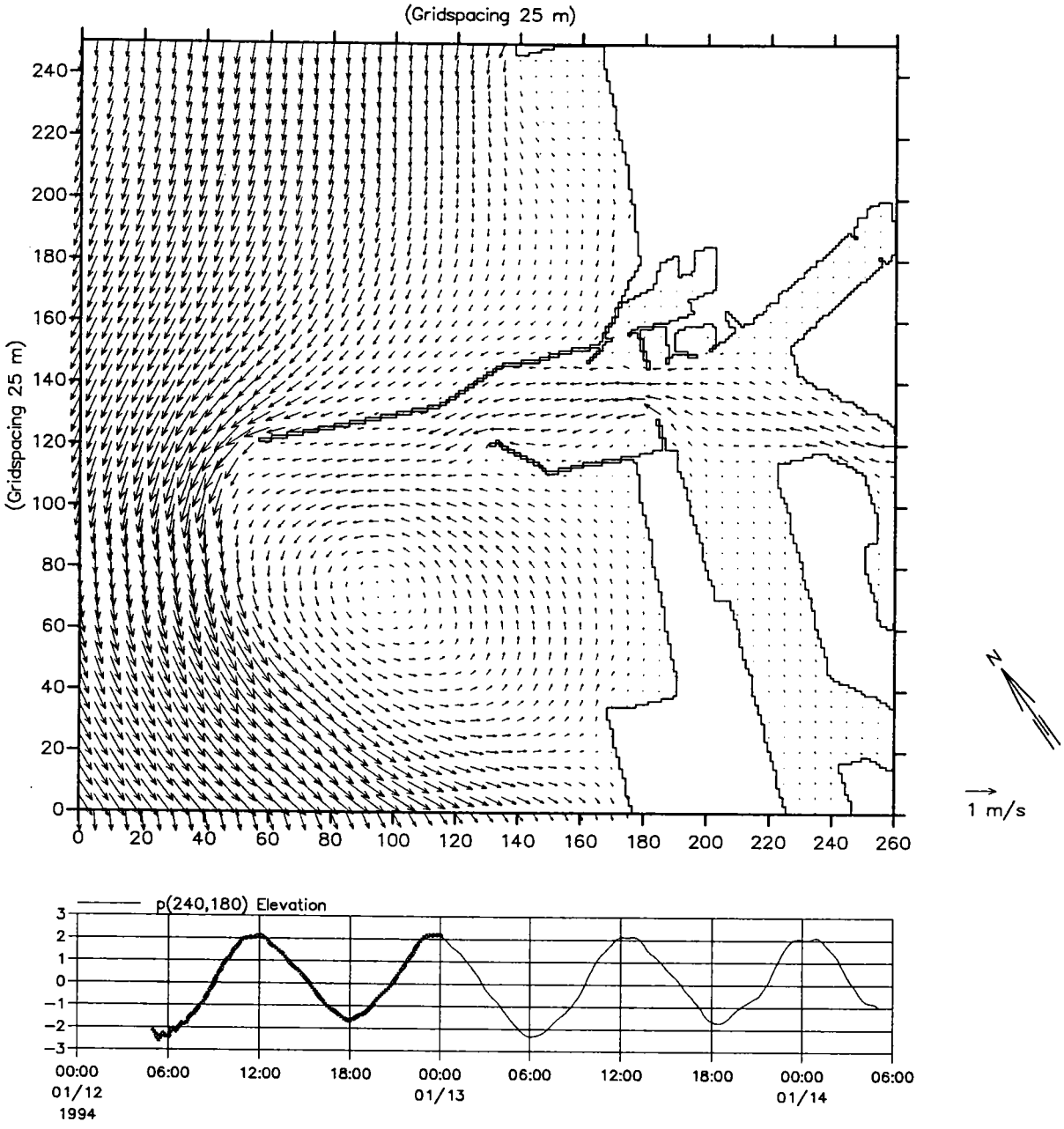


圖7-3-11a　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 00:00:00)

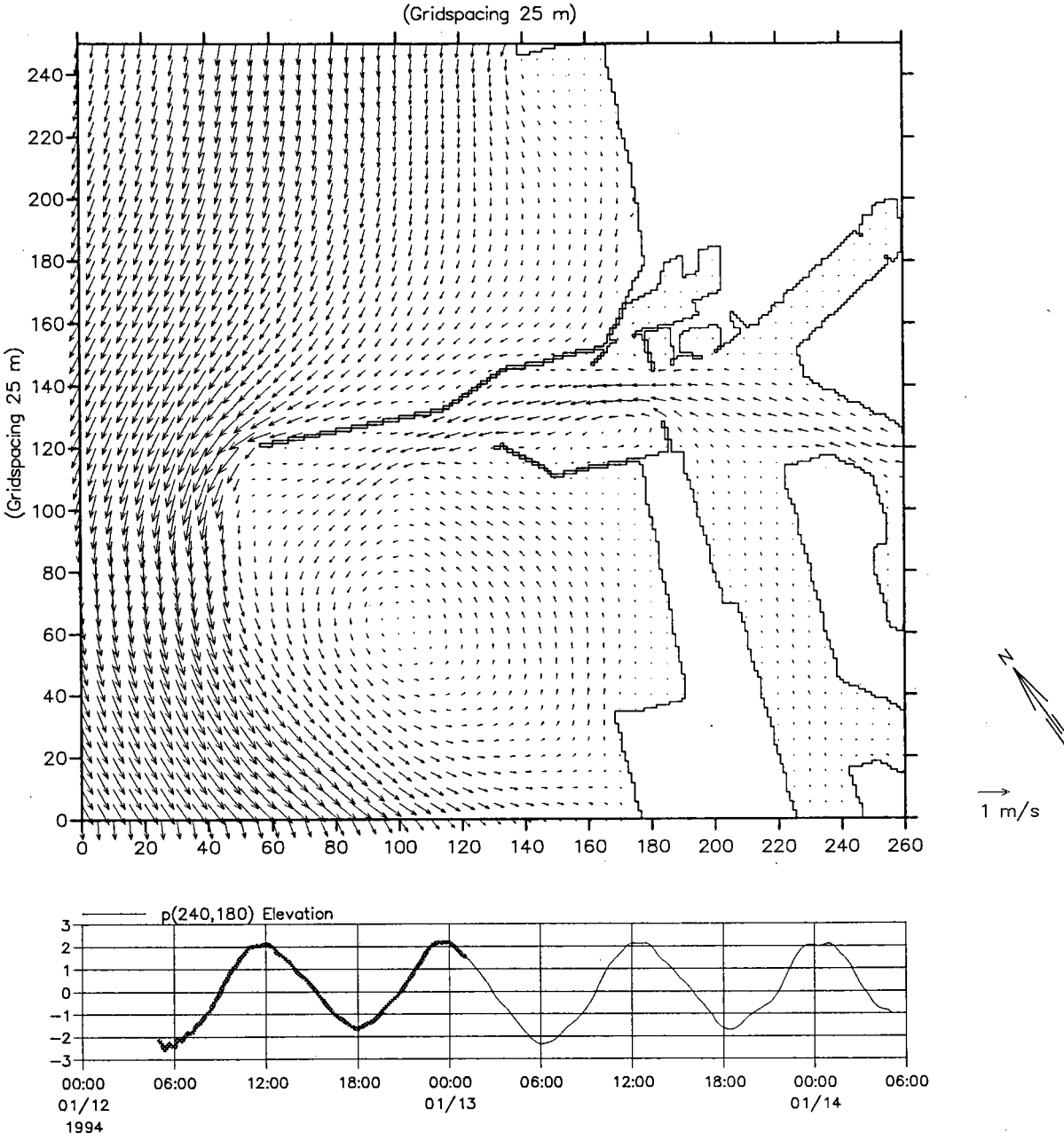


圖7-3-11b　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 01:00:00)

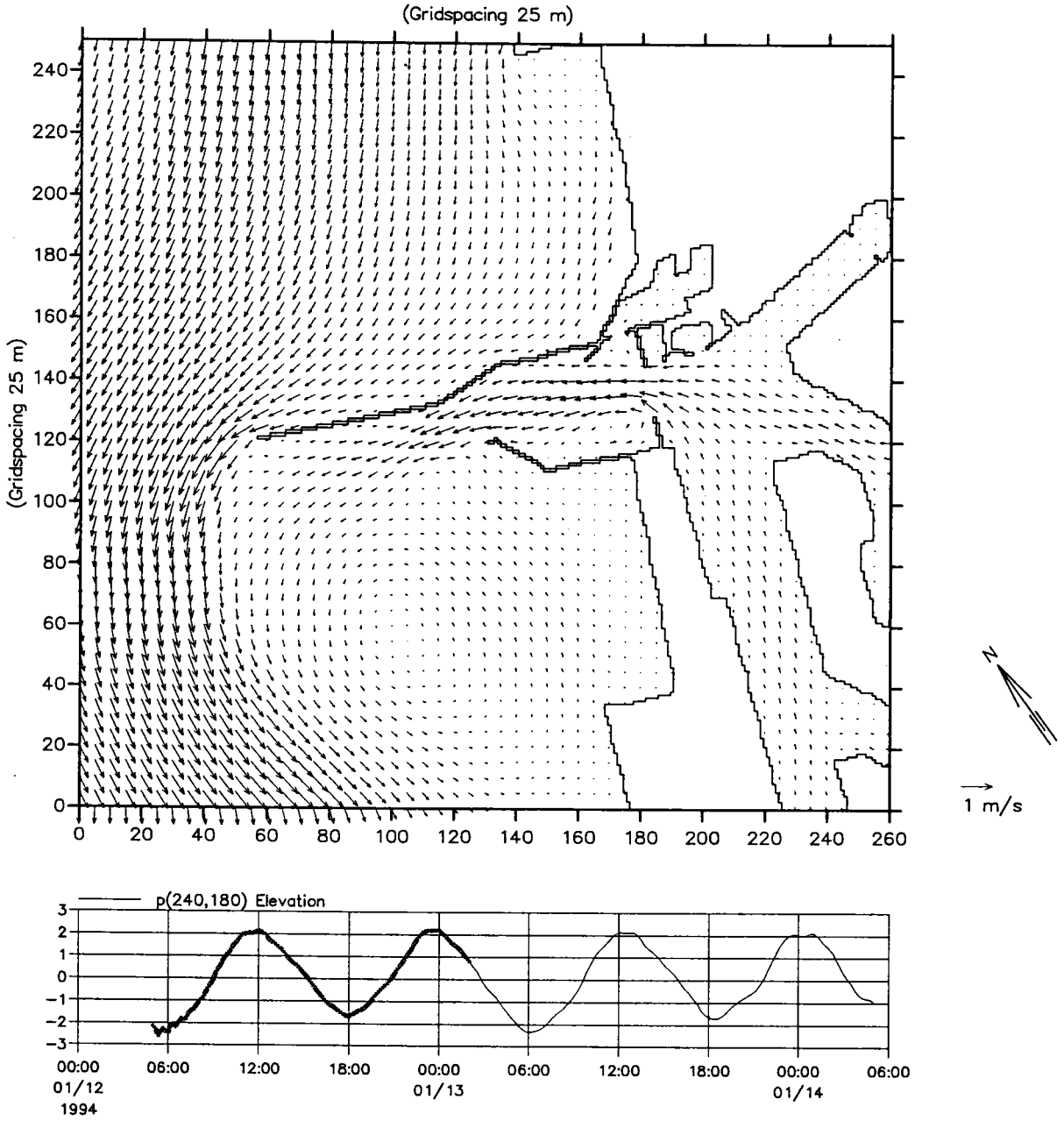


圖7-3-11c　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 02:00:00)

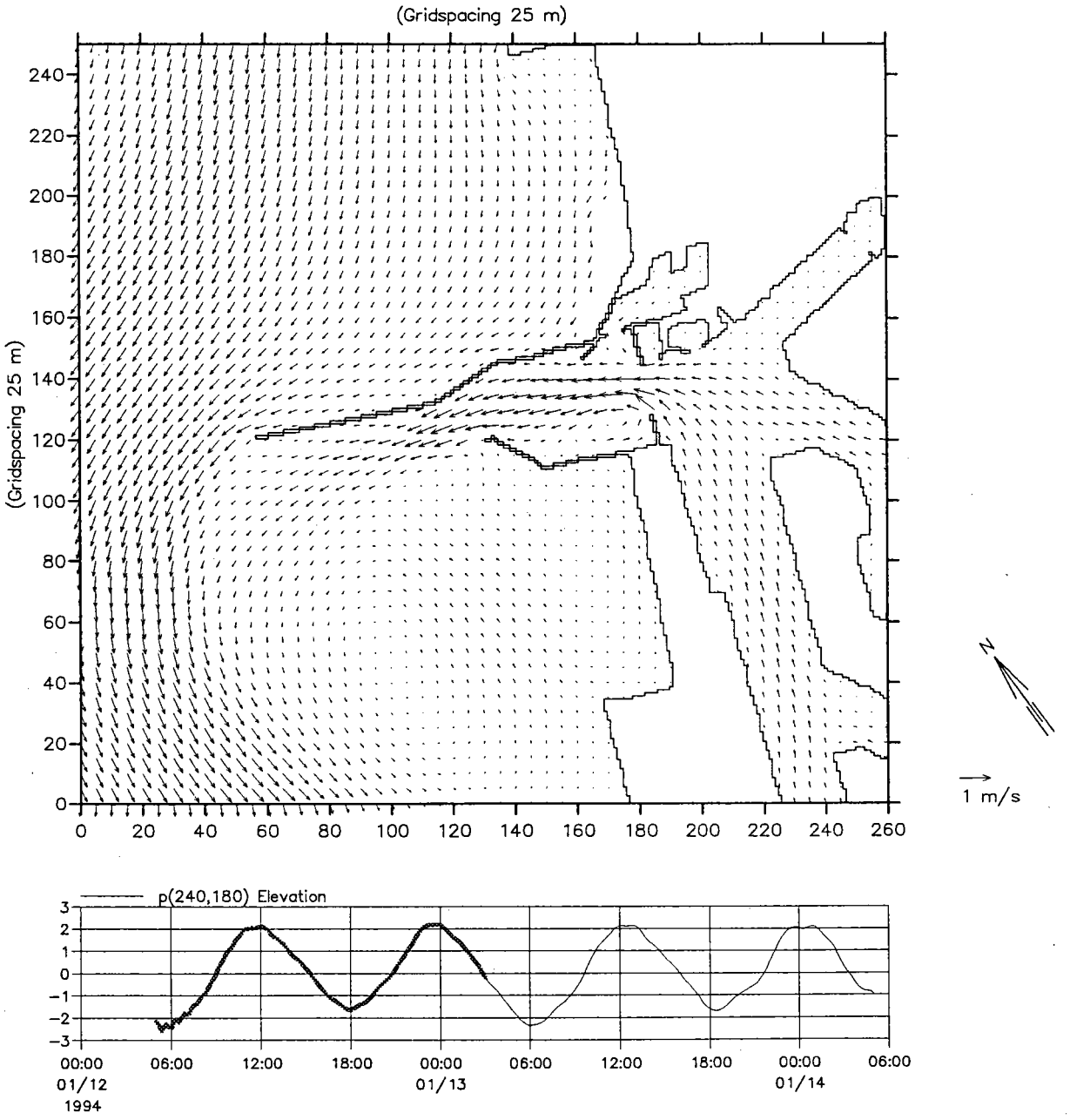


圖7-3-11d　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 03:00:00)

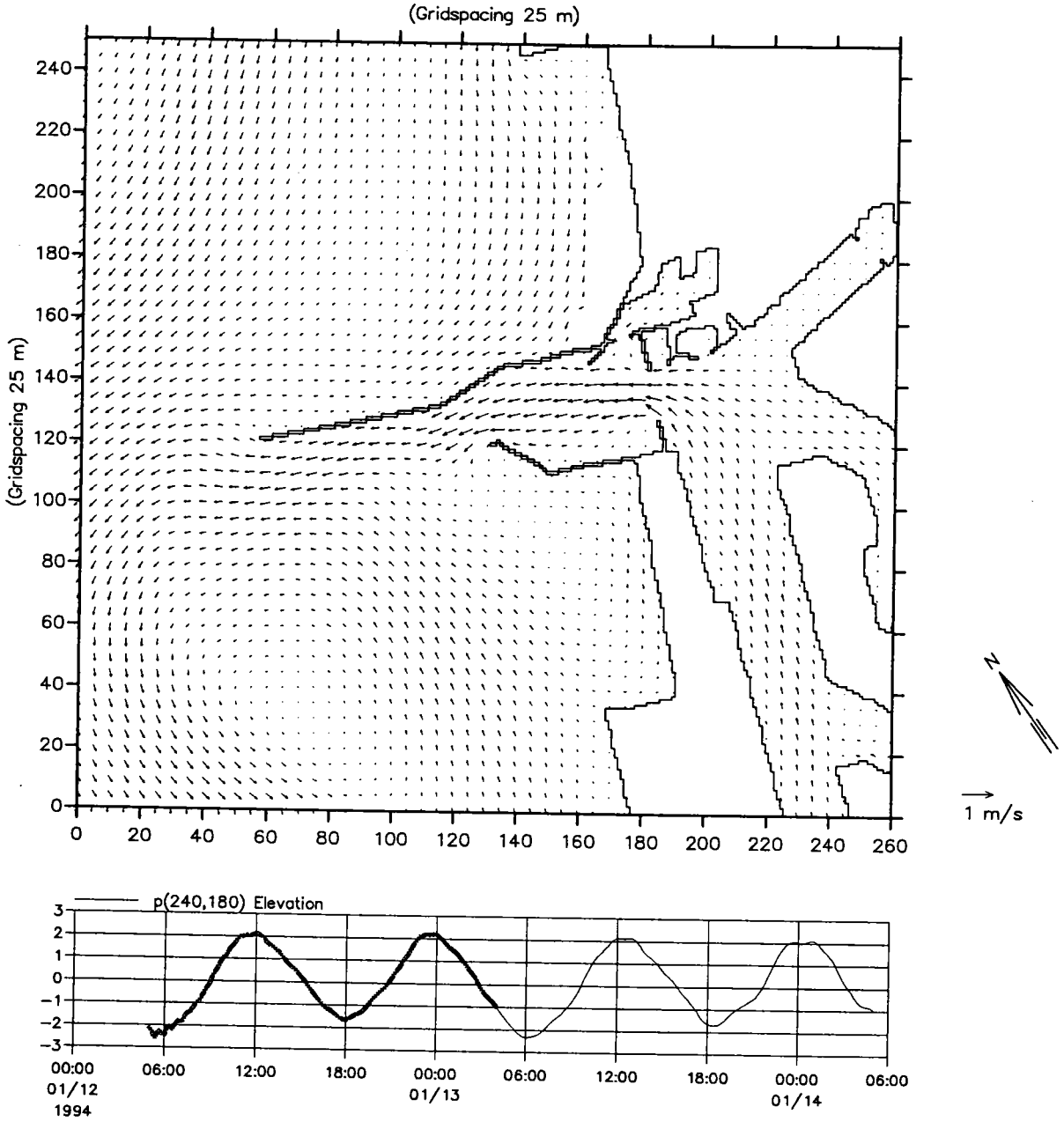


圖7-3-11e　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 04:00:00)

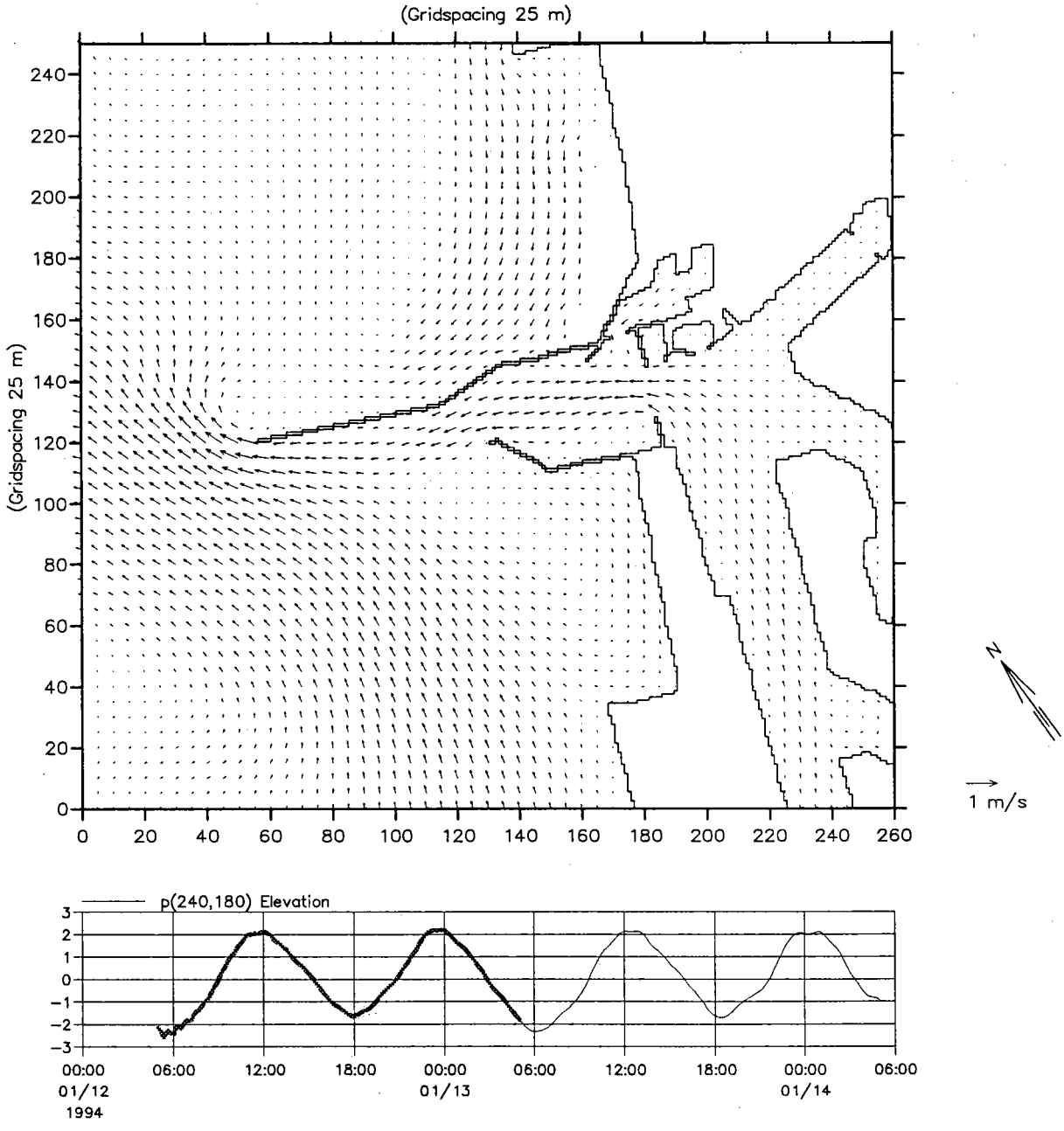


圖7-3-11f　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 05:00:00)

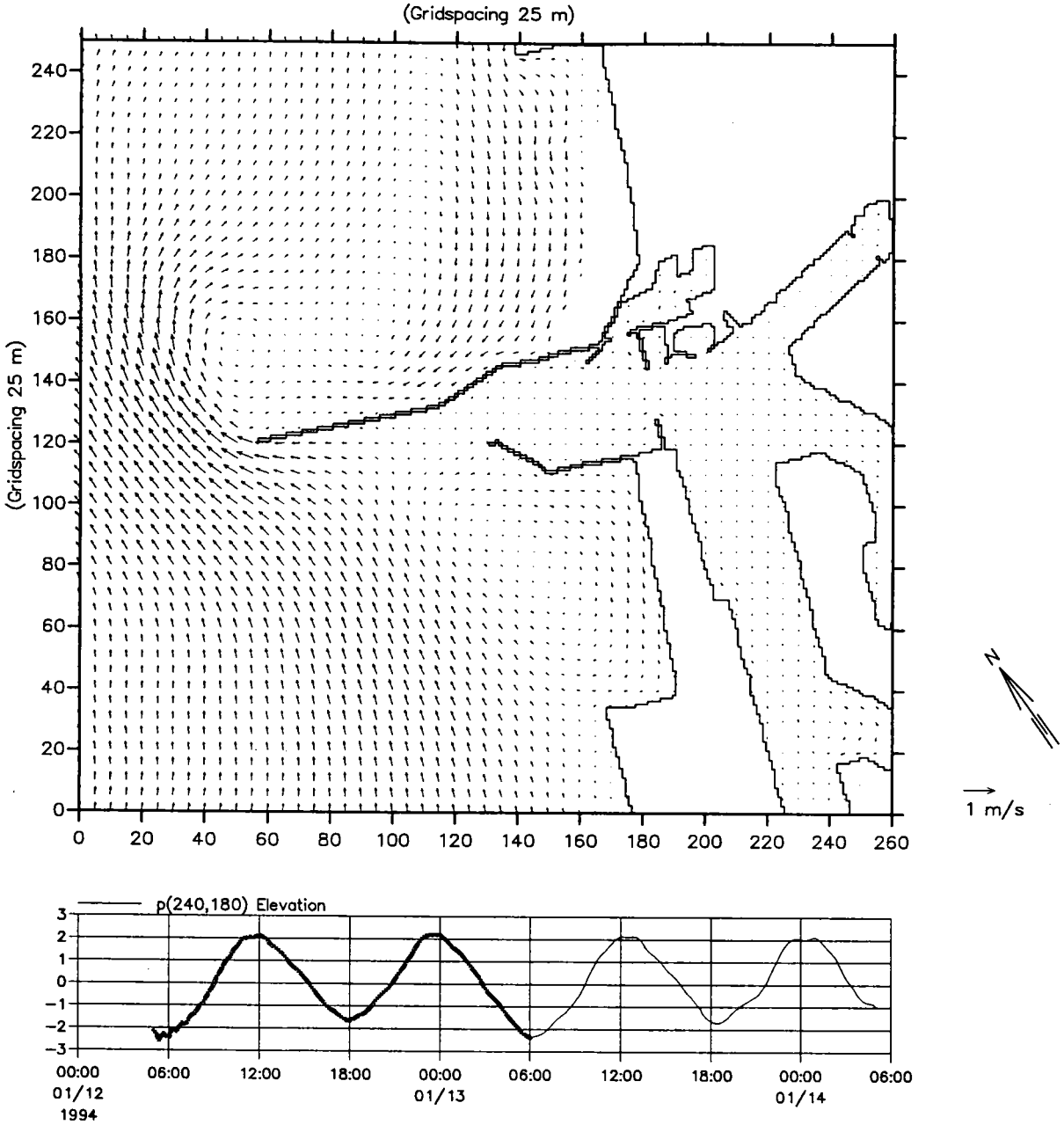
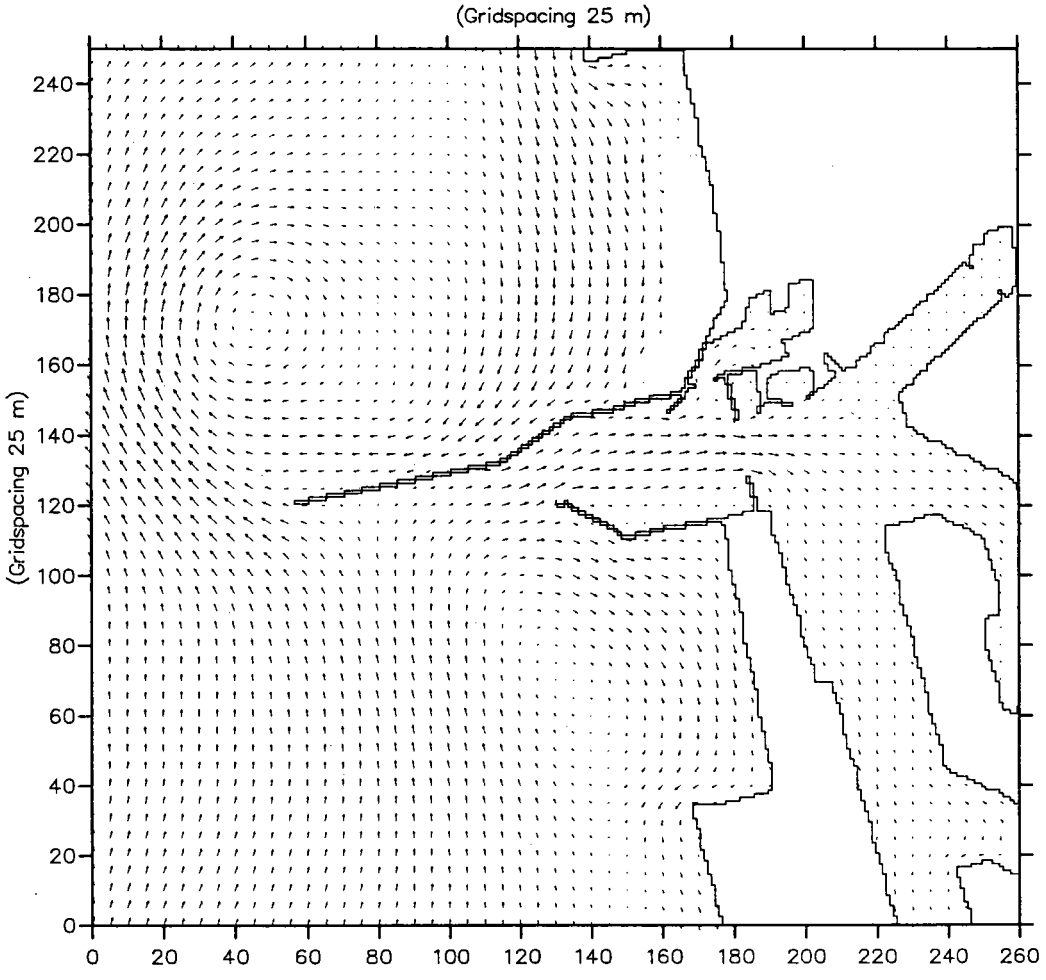


圖7-3-11g　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 06:00:00)



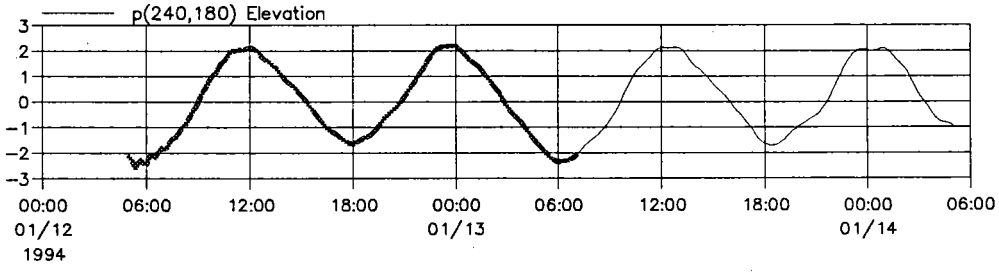


圖7-3-11h　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 07:00:00)

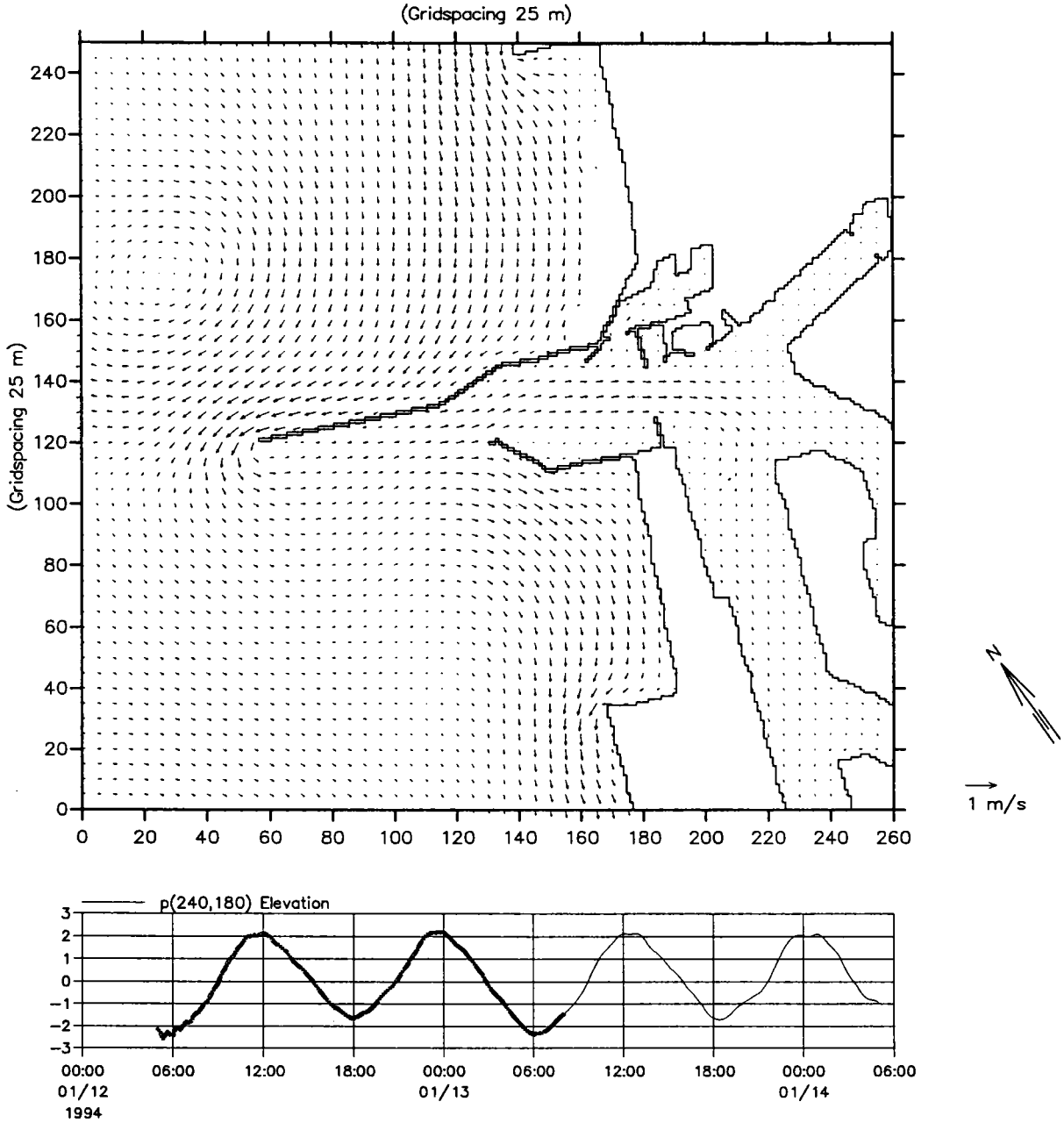


圖7-3-11i　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 08:00:00)

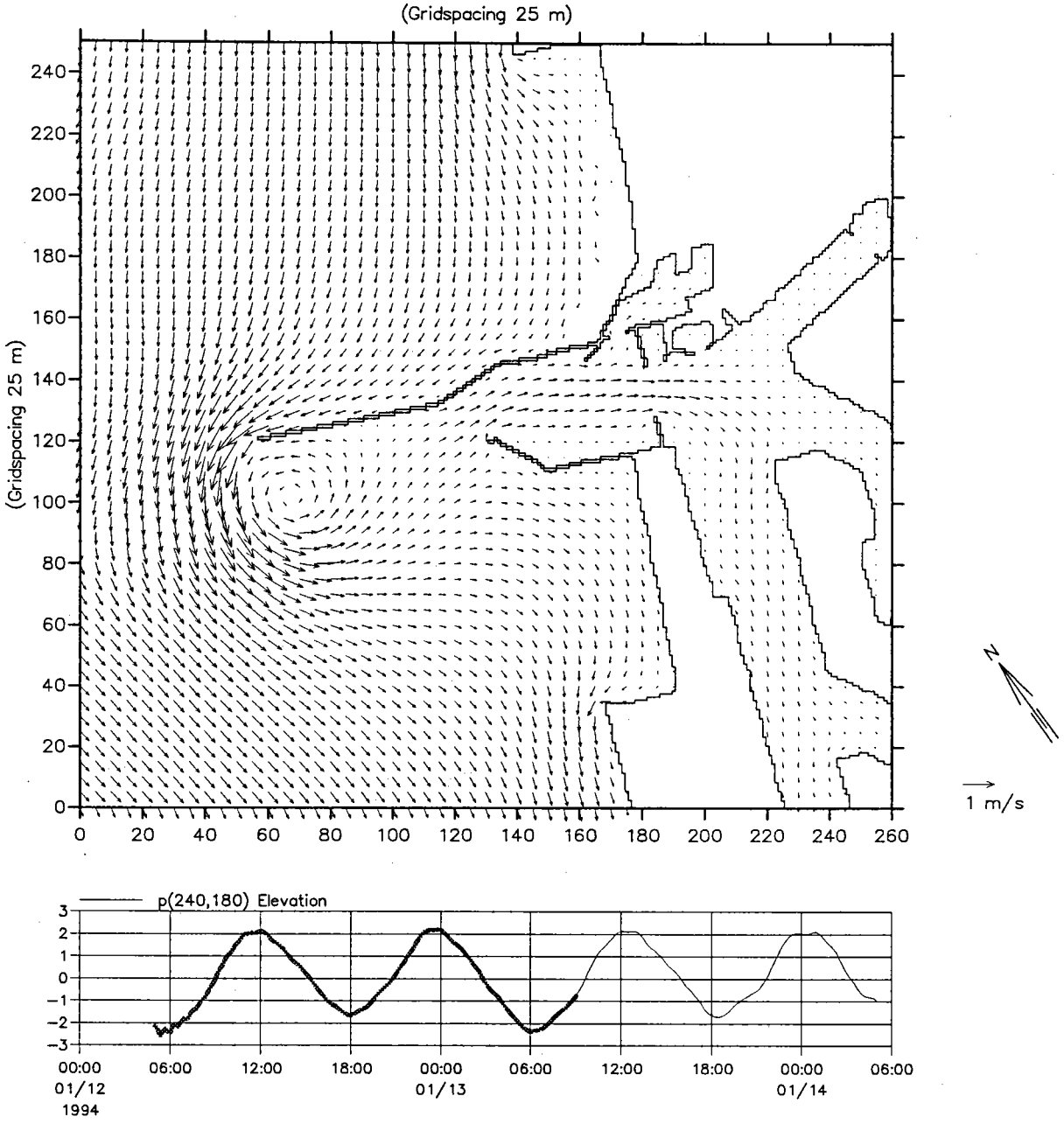


圖7-3-11j　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 09:00:00)

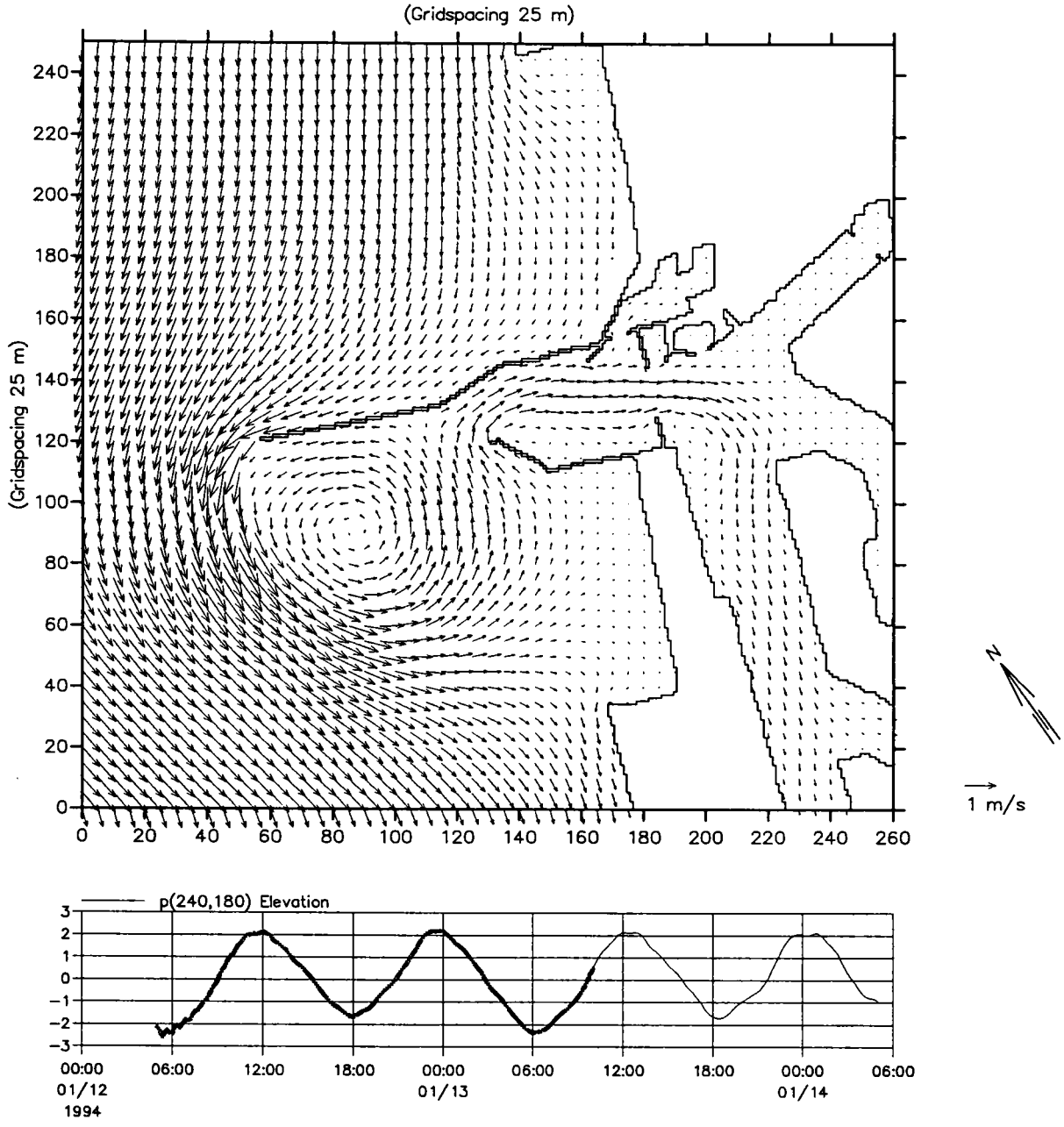


圖7-3-11k　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 10:00:00)

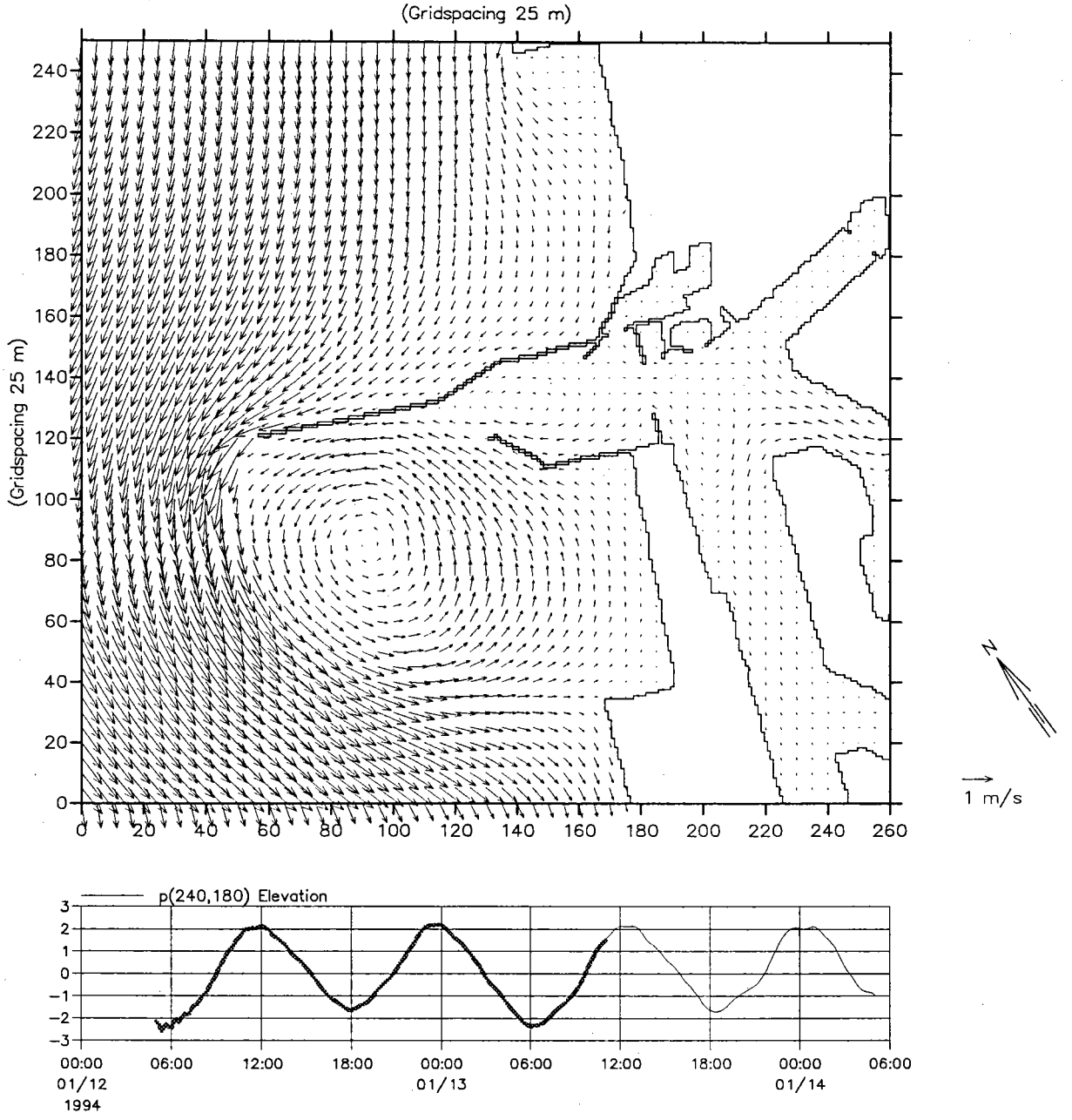


圖7-3-11ℓ　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 11:00:00)

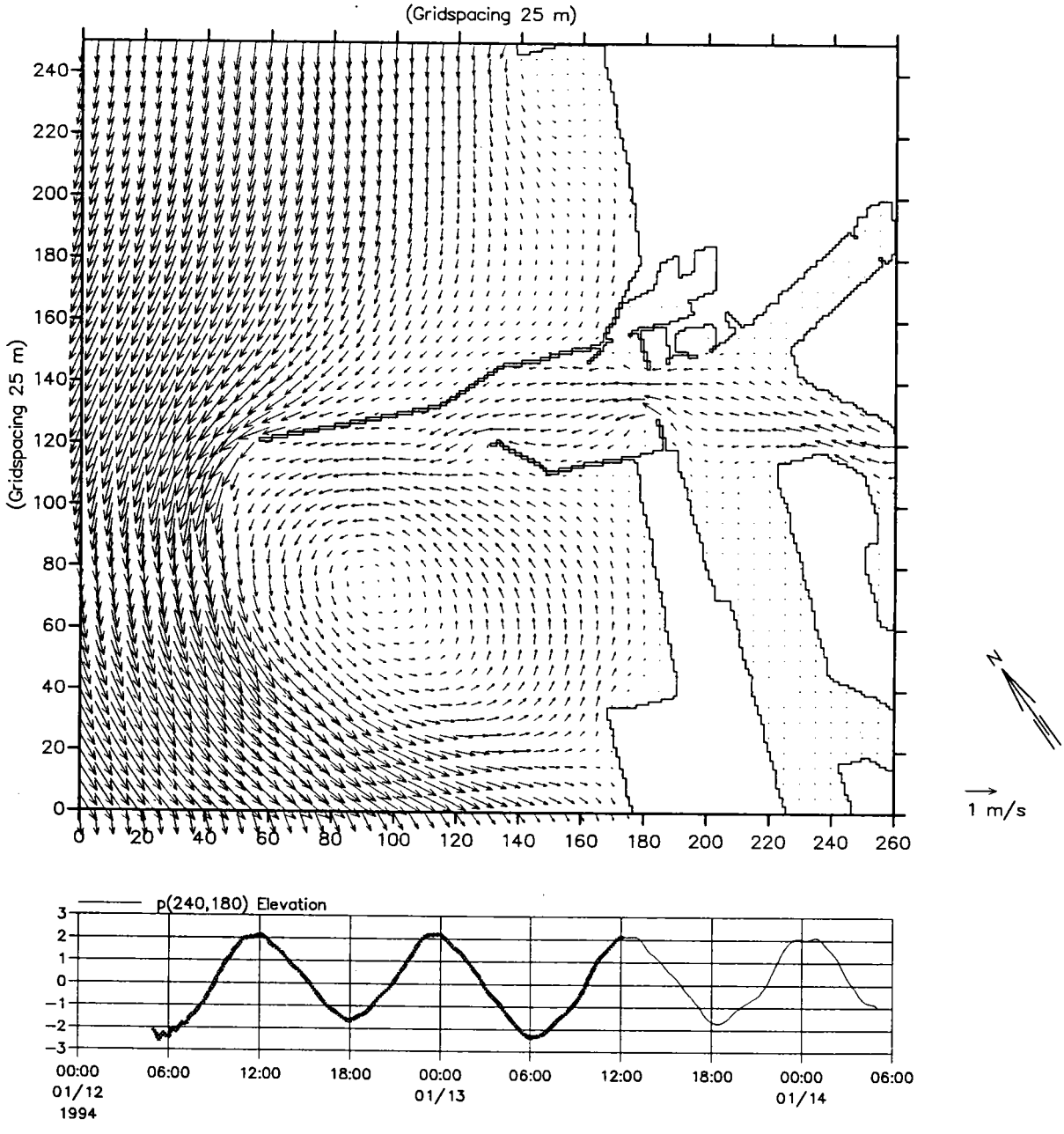


圖7-3-11m　台中港北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺
冬季平均風速15m/sec月大潮期間之流場計算模擬
(1994/01/13 12:00:00)

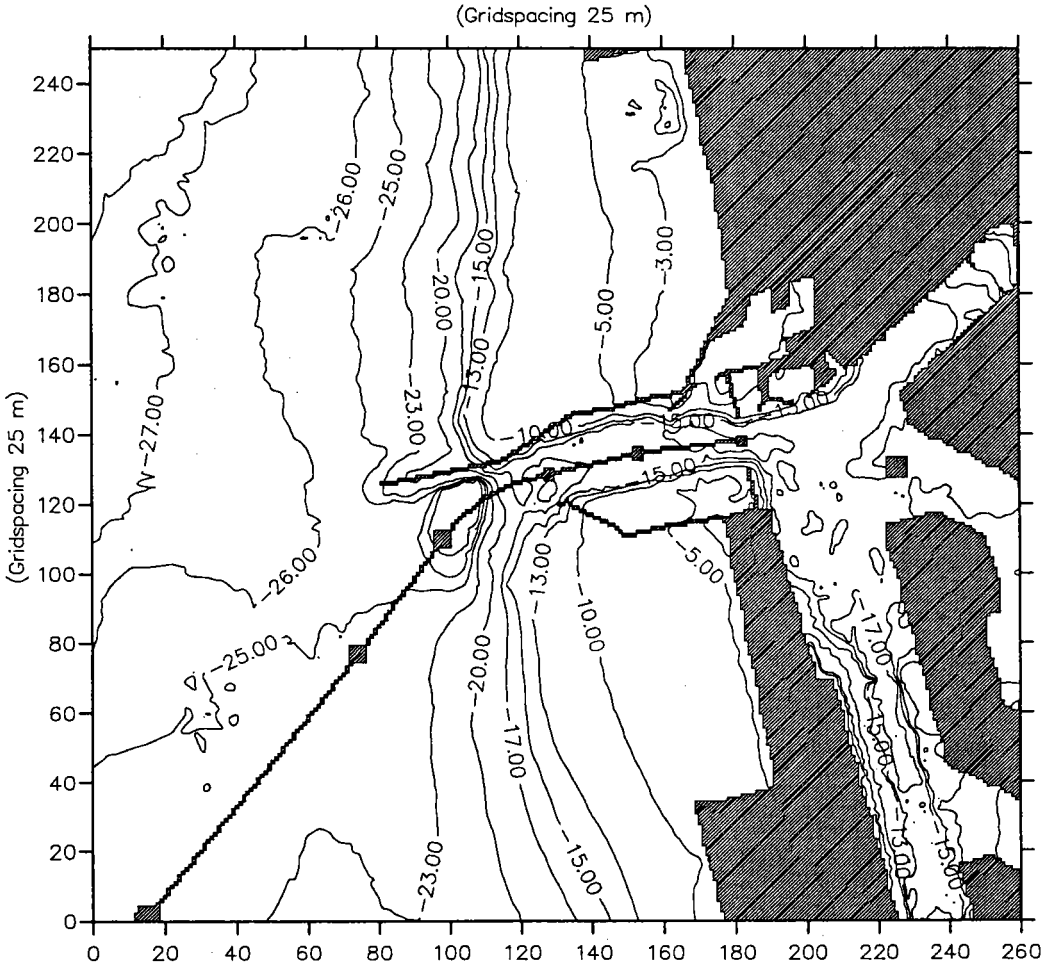


圖7-3-12　台中港現況與北外防波堤延伸600公尺南內堤拆除50公尺後之水流評估比較位置

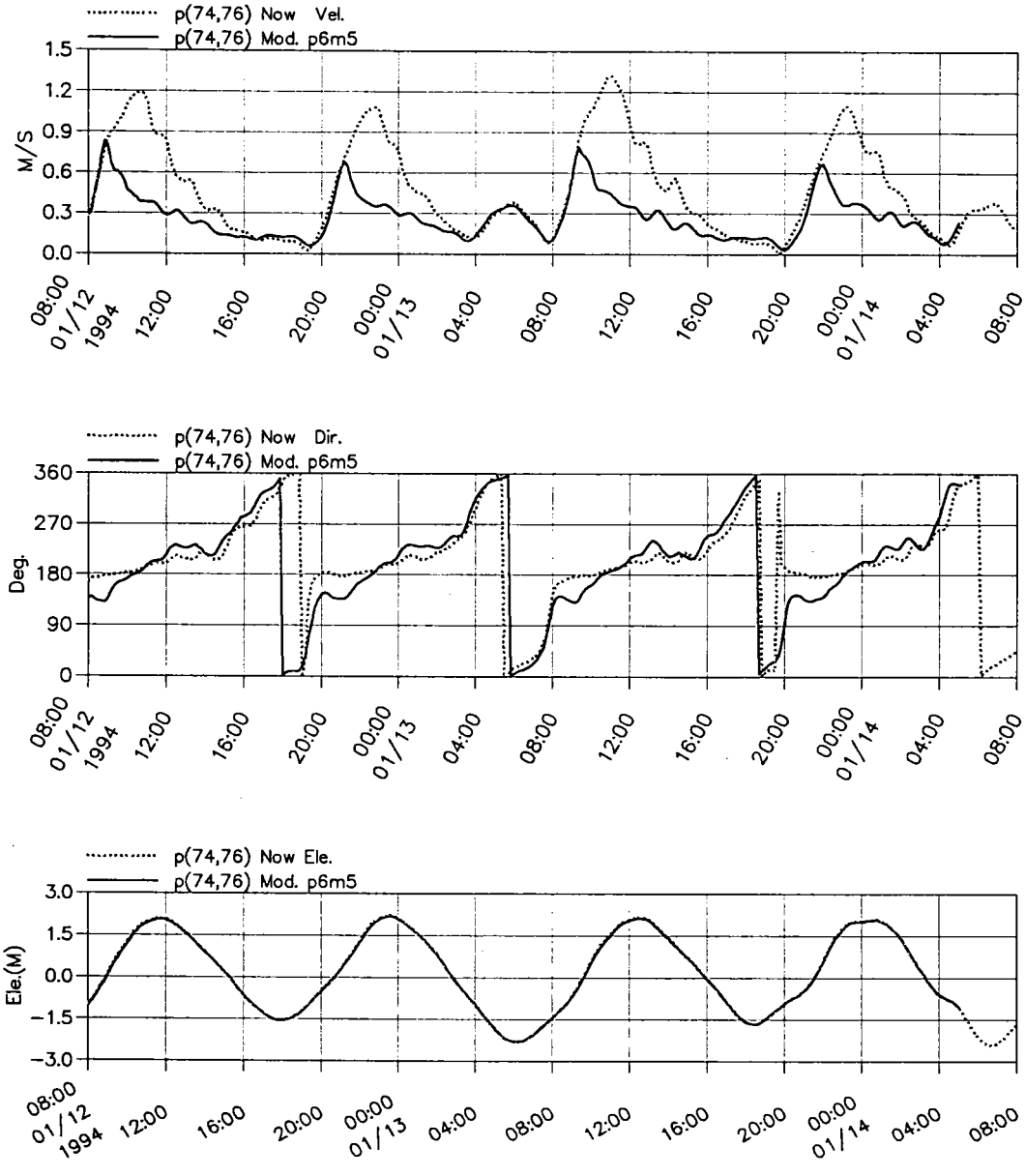


圖7-3-13a　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺新登輪區之流況比較

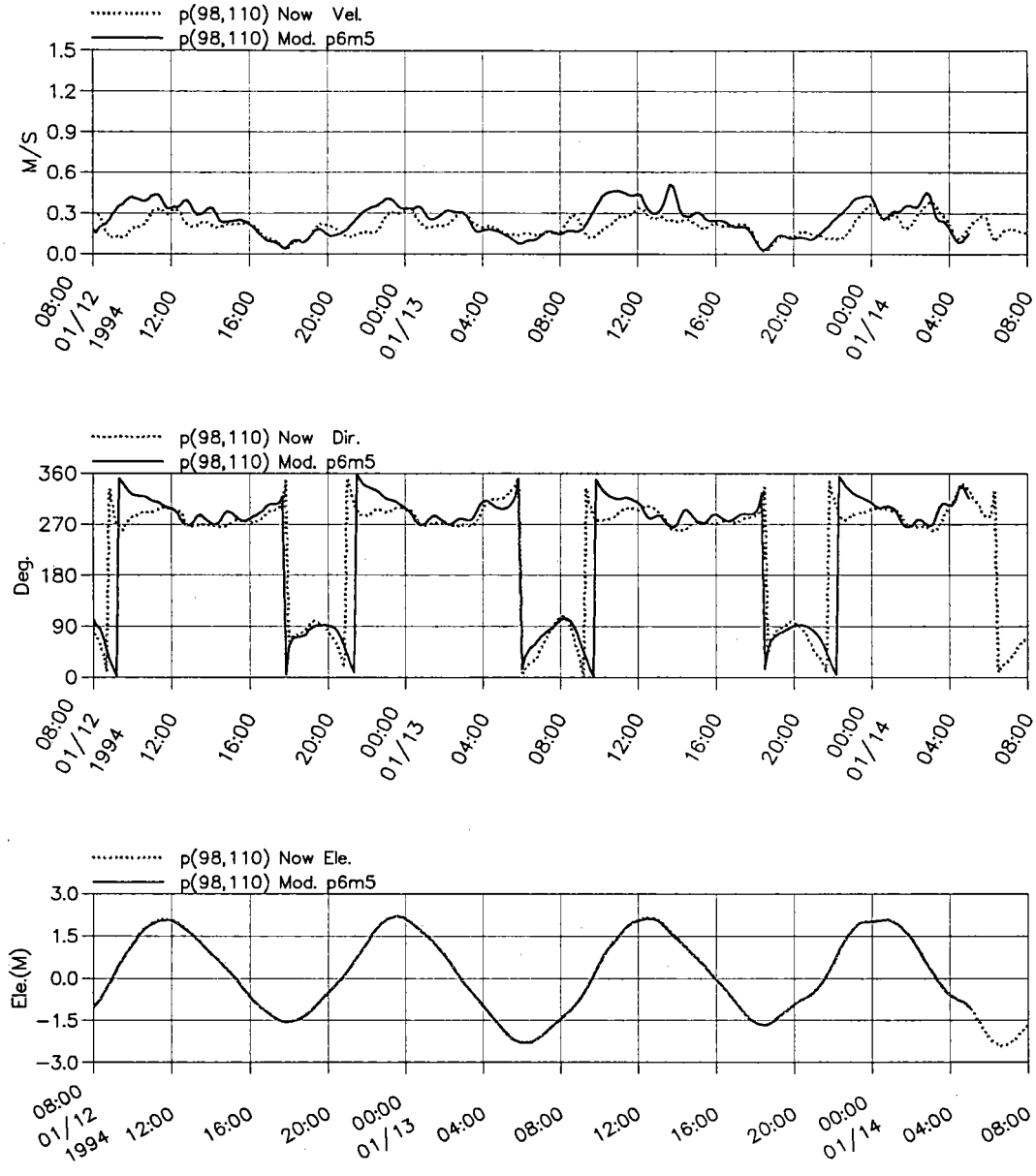


圖7-3-13b　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺現況登輪區之流況比較

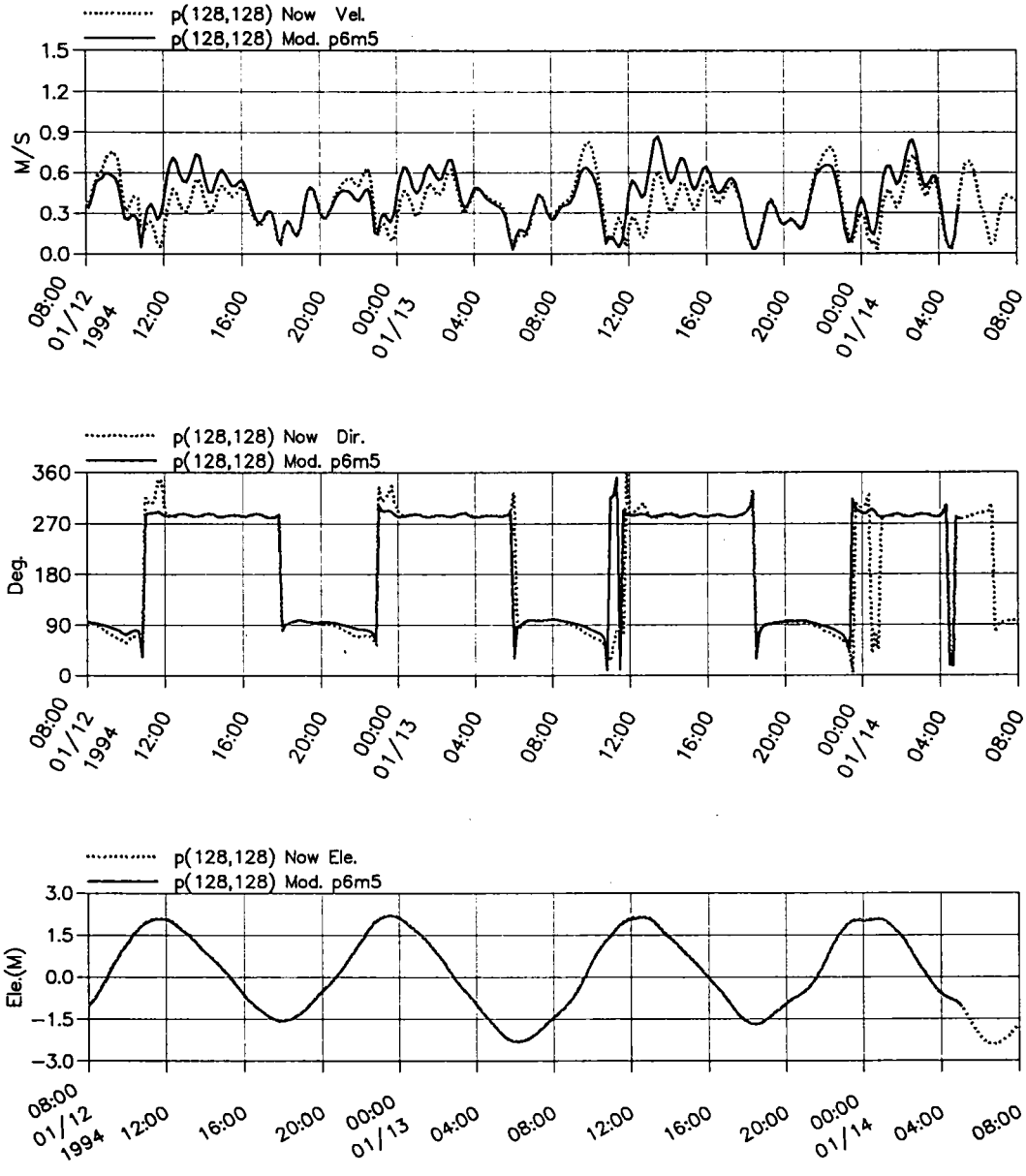


圖7-3-13c　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港口主航道上之流況比較

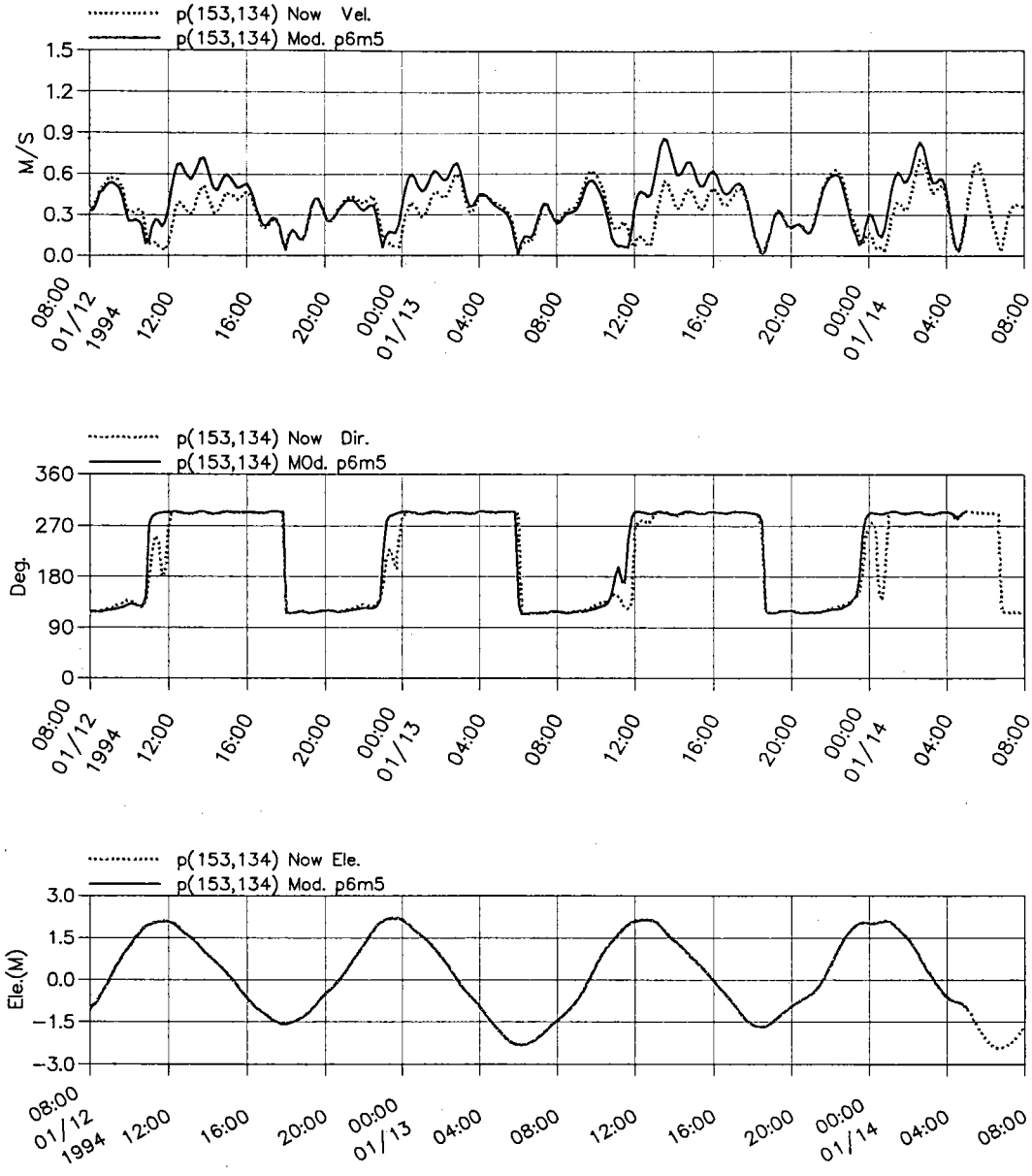


圖7-3-13d　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港口內主航道中央之流況比較

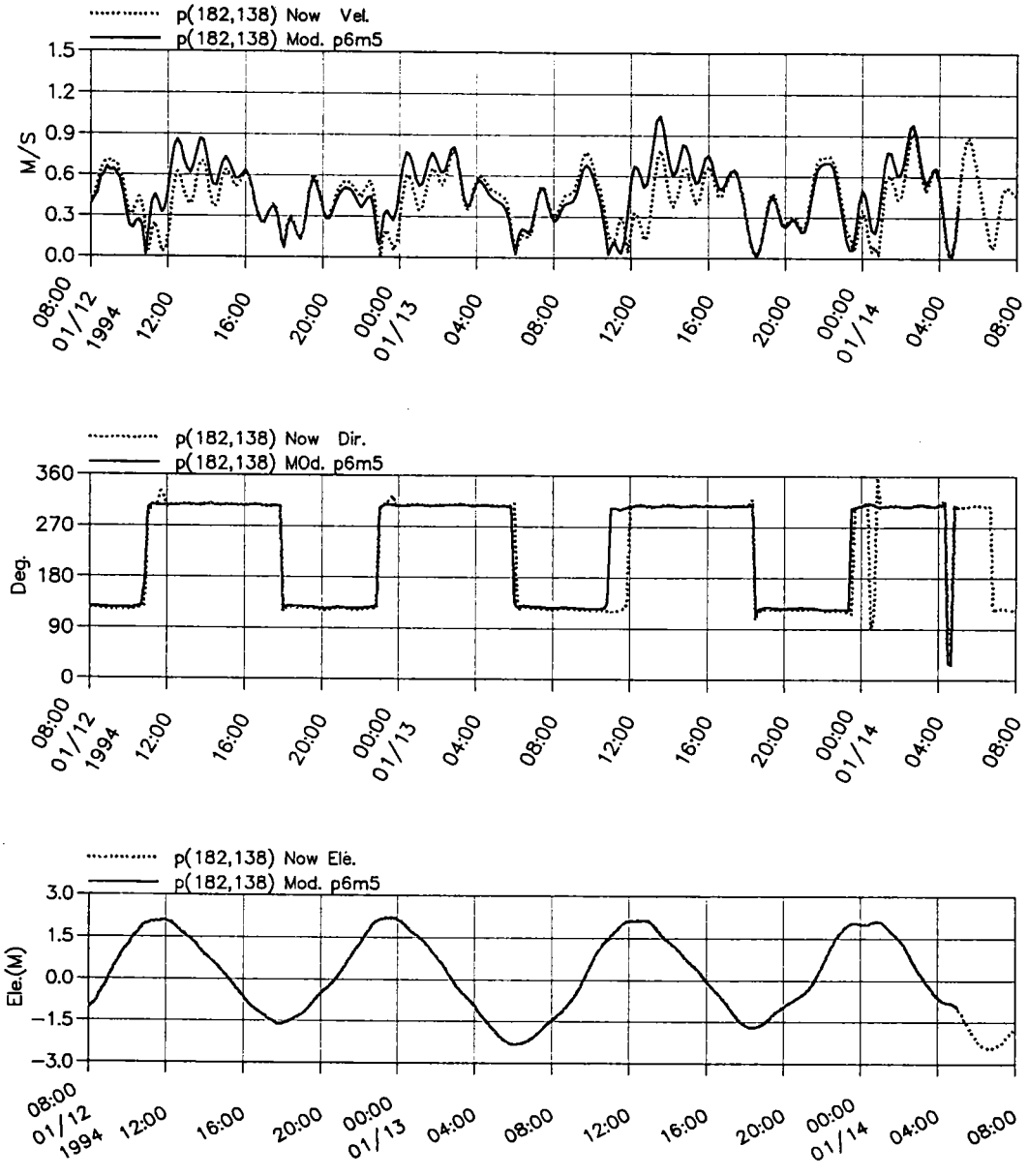


圖7-3-13e　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺內港口南北堤口中央之流況比較

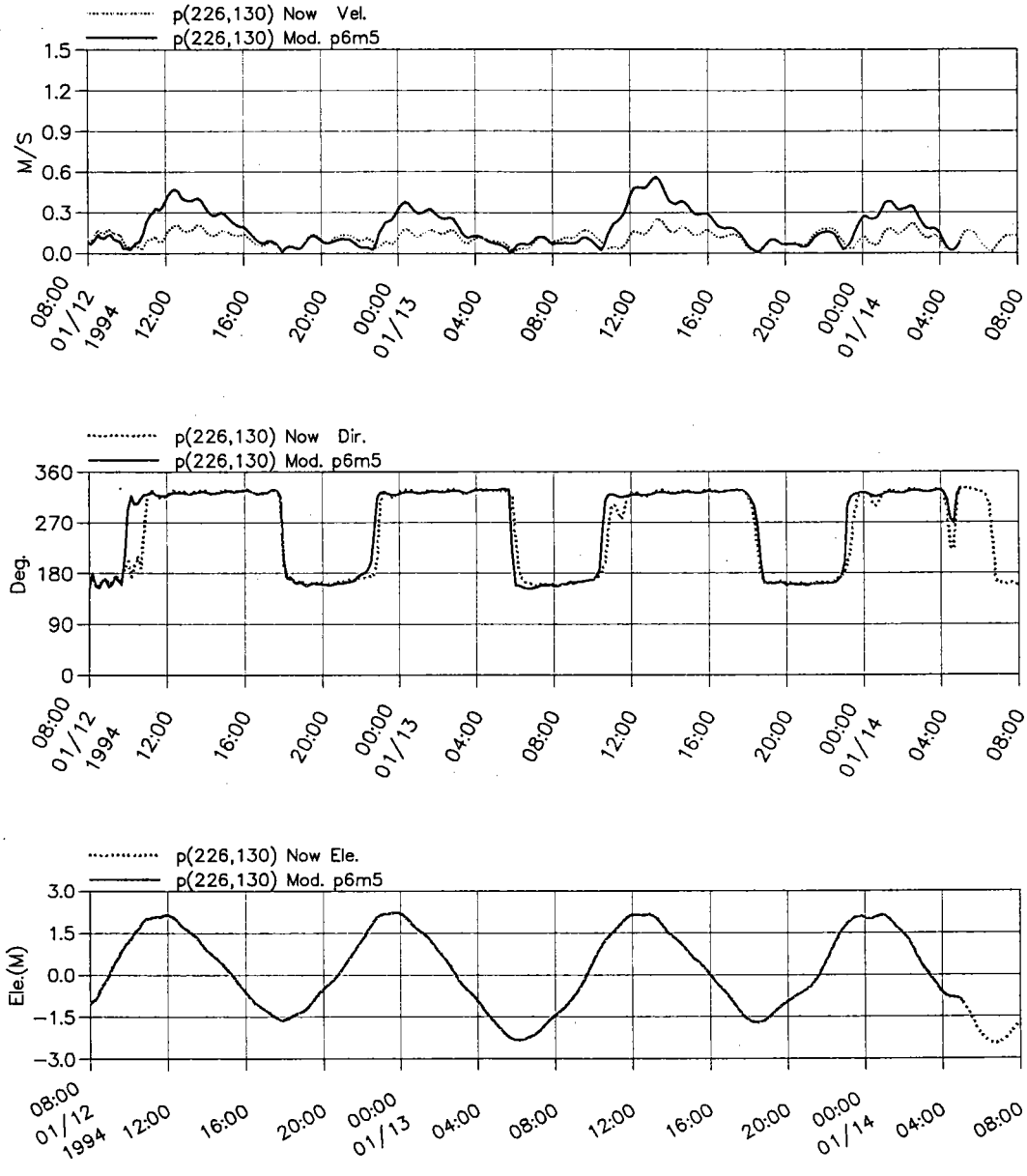


圖7-3-13f　台中港現況與北外防波堤再延伸600公尺南內堤拆除50公尺港內中泊渠口之流況比較

參考文獻

1. "台中港港口擴建計畫評估研究"，中華顧問工程司，民國77年4月。
2. 吳啓東、吳振昆、陳東宏: "台中港發展計畫"，台中港務局技術研討會專集，民國84年5月。
3. "台中港整體規劃及未來發展計畫"，港灣技術研究所，民國84年12月。
4. "台中港第二階段發展計畫評估研究"，中華顧問工程司，民國81年11月。
5. "基隆、高雄、花蓮港整體規劃及未來發展計畫"期末報告，港灣技術研究所，民國84年8月。
6. "台中港進出港指南"，台中港務局編印，民國83年11月。
7. 李汴軍: "侵台颱風路徑與頻率特性分析"，颱風暴潮模擬技術講習會，工業技術研究院能源與資源研究所，民國82年5月。
8. "台灣海域海氣象特性之研究"，港灣技術研究所，民國84年6月。
9. "台中港商、漁港分道行駛可行性研究"，港灣技術研究所,民國85年05月。
10. "台中港港口段航道設置減風設施可行性研究"案修正工作項目說明書，港灣技術研究所八四研數字第二五一三號函，民國84年11月4日。
11. "台中港港口段航道設置減風設施可行性研究"案修正計畫書,港灣技術研究所八四研數字第二八八八號函,民國84年12月23日。
12. "荷蘭鹿特丹格蘭特運河擋風牆",營建世界，民國77年1月。
13. A. A. Haasz and S. Raimondo: "Effectiveness of an Air Curtain Canopy Against Precipitataion", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 6(1980), pp.273-290.
14. "蘇澳火力發電廠供煤計畫及蘇澳港內有關配合改善措施研究"，中華顧問工程司，民國69年8月。
15. "台中港貨櫃碼頭阻風設施風洞試驗研究"，中央研究院物理研究所，民國79年8月。
16. "台中港第一期工程完工報告"，台中港務局，民國65年10月。
17. M.D.A.E.S. Perera: "Shelter Behind Two-Dimensional Solid and Porous Fences", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 8(1981), pp.93-104.
18. "Shore Protection Manual" , Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, 1984.

19. "台中港港口擴建工程細部設計暨有關模型試驗",中華民國港埠技術服務社,民國80年9月。
20. "台中港口流況調查研究",港灣技術研究所,民國71年12月。
21. "台中港港口擴建流速調查研究",港灣技術研究所,民國77年6月。
22. "雲林縣離島式基礎工業區開發計畫八十三年度整體規劃外海抽砂對環境影響研究—外海抽砂對海岸地形變遷影響",中興工程顧問社,民國84年4月。
23. "台灣各港口潮汐相關性與預報模式研究",港灣技術研究所,民國81年6月。
24. "台灣北部地區、南部地區、東部地區及澎湖區漁港潮汐觀測分析成果",台灣省漁業局,民國77年12月。
25. 簡仲璟、曾相茂、林受勳等,"台灣區域波浪統計特性比較研究",第17屆海洋工程研討會暨1995年兩岸港口及海岸開發研討會論文集,成功大學,民國84年11月。
26. "台中港港池水理模式之研究",港灣技術研究所,民國85年6月。
27. 蔡瑤堂,"台灣沿岸設計波浪之研究",第四屆海洋工程研討會論文集,民國69年9月。
28. "台中港規劃報告",台中港建港籌備處,民國59年8月。
29. "台中海岸流況調查研究",港灣技術研究所,民國72年9月。
30. "台中港港口擴建水工模型試驗研究"港灣技術研究所,民國77年6月。
31. "台中港擴建防波堤導浪三維試驗研究"港灣技術研究所,民國79年4月。
32. "台中港擴建防波堤遮蔽檢核試驗研究",港灣技術研究所,民國79年8月。
33. "台灣四周海象氣象調查研究",港灣技術研究所,民國83年6月。
34. 張石煜,"偏向角與基隆港進港安全之模擬實驗",航運季刊,第一卷,第二期,PP.41～68, 1992。
35. "大型船の係船裝置計畫指針—JSDS-4造船艤裝設計基準",日本造船學會造船設計委員會第二分科會,昭和56年5月。

附　錄

「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」
相關座談會、審查會會議紀錄與意見辦理情形答覆及說明

壹、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」
期前座談會會議紀錄及辦理情形..... A1-1

貳、「台中港港口段航道大型船舶進出港現況遭遇之困難探討」
座談會會議紀錄..... A2-1

參、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」
期中報告審查會會議紀錄及辦理情形..... A3-1

肆、「台中港港口段及航道現況改善方案」
審查會會議紀錄..... A4-1

伍、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」
期末報告審查會會議紀錄及辦理情形..... A5-1

壹、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」期前座談會

[壹]會議紀錄

一、時間：民國八十四年十月二日下午二時

二、地點：台中港務局三樓會議室

三、發文日期：民國八十四年十月十七日

　　發文字號：八四中港工字第九六六三號

四、主持人：台中港務局副局長 陳銘長

　　紀錄：台中港務局　尤仲卿

五、出席單位及人員：

（一）港灣技術研究所：莊文傑、陳明宗、蘇青和、王慶福、江中權

（二）引水人工會：陳有福

（三）長榮海運公司：王實根

（四）陽明海運公司：楊松茂

（五）台中港務局：

副局長：陳銘長

總工程司：賴淵光

港務長：蕭丁訓

港務組：祈敏，曾石溪，林健成

會計室：紀文川

工務組：曲綿洸，吳啓東

六、討論：

引水人辦事處：

（一）海流對船隻的影響較風為甚，請重視堤頭附近流況造成之影響。

（二）北防波堤延長太長時，來自西南方向之浪、流，可能造成不利之影響，故北防波堤再延長後之正負面影響均應考慮。

長榮海運公司：

（一）東北季風時對船舶影響較大，故北防波堤若再延長一個船長（約250～300公尺）的長度，並改善導航標誌及使其背景光線更明顯，則3000TEU貨櫃輪進港不成問題。

(二)長遠來看，宜俟第二港口開闢後再考慮進4,000TEU之貨櫃輪較適宜。

陽明海運公司：

(一)建議加高堤身及改善堤頭燈號，以減少風之威脅，俾利船舶進港。

(二)建議加速第二港口開闢，以增加大航商來台中港之誘因。

工務組：

(一)請按合約內工作項目辦理。

(二)請掌握工期。

港務組：

(一)若要進4,000TEU之貨櫃輪，應多研究水域靜穩相關之問題，以利其進港作業。

港務長：

(一)當然應依合約辦理，但仍請港研所考量用港人之需要，研究現況佈置是否可讓船舶安全進出港。

(二)南堤拆除對操航之影響亦請考量。

(三)港口硬體設施應朝向發展遠洋航線，以利4,000TEU貨櫃輪進出港為目標。

總工程司：

(一)希望考慮向外港發展並研擬可能的外港佈置。

(二)遠洋航線之發展與航商意願息息相關較難掌握，在工程觀點上仍應將重點放在外港發展上。

副局長：

(一)合約內所列項目一定要做，份量多少請自行斟酌。

(二)相關資料之分析應蒐集最新的資料來進行。

(三)合約內有減風設施可行性研究項目，惟簡報所提工作項目未列出，請依合約將該項目補列，並請與貴所合作之顧問機構來局與承辦單位先行溝通。

(四)操船模擬試驗之本船設定，建議以3,000TEU貨櫃輪為主,4,000TEU貨櫃輪為輔，另12.5萬噸煤輪酌量做。

七、主席結論：

(一)本案應依據合約內容及工期辦理。

(二)減風設施可行性研究部份請港研所及合作顧問機構向本局承辦單位提出說明。

(三)操船模擬試驗內容，請港研所參考與會人員意見修正後先行送本局簽請局長核定後實施。

(四)各與會人員意見列入紀錄，並請港研所在期中報告內說明辦理情形。

[貳]辦理情形

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
引水人辦事處	1. 海流對船隻的影響較風為甚，請重視堤頭附近流況造成之影響。 2. 北防波堤延長太長時，來自西南方向之浪、流，可能造成不利之影響，故北防波堤再延長後之正負面影響均應考慮。	1. 已於期末報告內參採。 2. 已於期末報告"遠程改善方案評估與比較"中考慮。
長榮海運公司	1. 東北季風對船舶影響較大，故北防波堤若再延長一個船長(約250～300公尺)的長度，並改善導航標誌及使其背景光線更明顯，則3,000TEU貨櫃輪進港不成問題。 2. 長遠來看，宜俟第二港口開闢後再考慮進4,000TEU之貨櫃輪較適宜。	1. 風與流對3,000TEU級貨櫃輪進泊影響已於操船模擬研究中說明及確認；北外防波堤之建議延伸長度約對北向為713公尺方滿足領港登輪與進泊安全需求，導航標誌已於期末報告中說明。 2. 已於期末報告中參採確認。
陽明海運公司	1. 建議加高堤身及改善堤頭燈號，以減少風之威脅，俾利船舶進港。 2. 建議加速第二港口開闢，以增加大航商來台中港之誘因。	1. 已於期末報告中說明，請港務局參採。 2. 於期末報告"遠程改善方案一"提列。
工務組	1. 請按合約內工作項目辦理。 2. 請掌握工期。	1. 已遵照辦理。 2. 完全按進度完成期中及期末報告。
港務組	若要進4,000TEU之貨櫃輪，應多研究水域靜穩相關之問題，以利其進港作業。	1. 同意所提意見 2. 現況大型船舶進泊之最大面臨問題為強風與海流，已於期末報告中詳述及說明。

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
港務長	1. 當然應依合約辦理，但仍請港研所考量用港人之需要，研究現況佈置是否可讓船舶安全進出港。 2. 南堤拆除對操航之影響亦請考量。 3. 港口硬體設施應朝向發展遠洋航線，以利4,000TEU貨櫃輪進出港為目標。	1. 遵照辦理，且已於操船結果評估中提出報告。 2. 於操船模擬中，南外堤對3,000TEU級貨櫃輪未有直接之影響，但南內堤拆有其必要性，並已於期末報告中對浪、流進行評估。 3. 已於期末報告中說明4,000TEU貨櫃輪進泊可行性。
總工程司	1. 希望考慮向外港發展並研擬可能的外港佈置。 2. 遠洋航線之發展與航商意願息息相關較難掌握，在工程觀點上仍應將重點放在外港發展上。	1. 遵照合約項目辦理。 2. 建請配合第二港口闢建考量。
副局長	1. 合約內所列項目一定要做，份量多少請自行斟酌。 2. 相關資料之分析應蒐集最新的資料來進行。 3. 合約內有減風設施可行性研究項目，惟簡報所提工作項目未列出，請依合約將該項目補列，並請與貴所合作之顧問機構來局與承辦單位先行溝通。 4. 操船模擬試驗之本船設定，建議以3,000TEU貨櫃輪為主4,000TEU 貨櫃輪為輔，另12.5萬噸煤輪酌量做。	1. 遵照辦理。 2. 遵照辦理，並已於期末報告整理、分析及說明。 3. 遵照辦理，並已於期末報告中提出專題研究成果。 4. 3,000TEU及4,000TEU貨櫃輪已遵照辦理完成，12.5萬噸煤輪依85/01/18八五中港工字第484號函示已修正為6萬載重噸級煤輪。

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
主席結論	1. 本案應依據合約內容及工期辦理。	1. 已遵照指示完成本案合約工作，並如期提送期末報告。
	2. 減風設施可行性研究部分，請港研所及合作顧問機構向本局承辦單位提出說明。	2. 已遵照辦理完竣，參見84/12/21八四港研數字第2887號函與84/12/23八四港研數字第2888號函及84/11/14八四中港工字第10427號函與85/01/18八五中港工字第484號函。
	3. 操船模擬試驗內容請港研所參考與會人員意見修正後先行送本局簽請局長核定後實施。	3. 同上。
	4. 各與會人員意見列入紀錄，並請港研所在期中報告內說明辦理情形。	4. 參見期中報告審查會會議紀錄及辦理情形。

貳、「台中港港口段航道大型船舶進出港現況遭遇之困難探討」座談會會議紀錄

一、時間：民國八十四年十二月二十一日下午二時

二、地點：港灣技術研究所二樓簡報室

三、主持人：港灣技術研究所所長　張金機

　　紀錄：鼎興顧問公司工程師　張炯殷

四、出席單位及人員：

（一）台中港務局：賴淵光，曲綿洸，祁敏，陳健三，李南忠，陳慶昌，吳啓東，尤仲卿

（二）長榮海運公司：未派員

（三）台中港引水人辦事處：鄭盈車，汪德源，陳復鈞，趙毓麟

（四）陽明海運公司：張富貴

（五）立榮海運公司：趙宇

（六）鼎興工程顧問公司：黃正昌，汪玉崑，張炯殷

（七）海洋大學操船模擬機室：未派員

（八）港灣技術研究所：蘇青和，莊文傑，陳明宗

五、主席致詞：

感謝各位撥冗參加此次座談會。台中港長久以來一直受操船問題所困擾，故民國77年台中港務局曾委託中華顧問工程司做操船試驗，當時曾建議拆除南外堤168公尺、216公尺及拆除南內堤堤頭50公尺，但目前整體施工只延長北防波堤850公尺，此在操船效果上眾說紛紜，莫衷一是。故港研所特藉此次會議，希望諸位領港、船長及港務單位能針對此問題提供寶貴意見，以作為將來辦理操船規劃時之依據。

但在討論前，請容本人先介紹港研所在北防波堤延伸後，於台中港海域所作自然環境調查結果背景說明：

港研所在台中港港口擴建後，於海氣象調查研究中，主要設三測站，即ST.1站(北防砂堤測站)、ST.2站(北防波堤測站)及ST.4站（南防波堤測站)，觀測時間為1994年10月至1995年3月。ST.1 站在風速超過10m/sec時，風向為60度，流速較大，流向約240度(即西南流向);但當風速變小時，流速亦變小，流向即隨潮汐漲落而改變。在同一時間ST.2站，風速大時流向已明顯偏西，未像以前有cross current出現；風速小時,流向則有偏北

之趨勢。以波浪而言，ST.4與ST.2之波高比值約為0.6以下，即北堤至錨泊區波高衰減率約0.6。亦即北防波堤延長後，對海流及波浪已均有明顯遮蔽效果。

六、討論事項：

◇台中港務局賴總工程師：

1. 大型船舶之定位如何？
2. 台中港原設計為適合6萬載重噸船舶進港，現討論比目前需求更大之船舶，是否為將來規劃提供改善意見？
3. 目前操船，是否針對6萬載重噸船舶檢討操船缺失？

◇港灣技術研究所張所長：

1. 大型船舶目前是先以3000TEU及6萬載重噸來操船。是否需進泊更大型船舶，則於後續會議中再請諸位討論。
2. 上次會議（按為八十四年十二月四日『大型船舶進泊台中港可行性』工作座談會）討論後已達成共識，即現況先以3000TEU及6萬載重噸來進行操船模擬，並考慮不同海象及氣候條件。
   若操船順利則再考慮更大船型，而若操船不順利，則再商請諸位討論問題之癥結？
3. 本次會議是討論現況佈置對操船有何困難？需進行那些改善？

◇立榮海運公司趙船長：

・台中港雖已實施分道航行制，但仍可發現在主航道中或主航道旁有漁船錨泊或作業，影響船舶進出。以3,000TEU貨櫃輪來說，目前雖無實際操船經驗，但若操航時無漁船干擾，可想見港域寬闊對操航應較容易。

◇台中港務局航政組祁組長：

・上次會議（按為八十四年十一月二十二日『台中港商、漁船分道行駛問題之探討』座談會)後一致之意見認為:「以硬體設施規劃專用航道供漁船通行，可能成本過高，若在現有航道上劃分無形航道，規範漁船沿北防波堤邊或南防波堤邊行駛，至港口時再以90度橫切過港口之方式應較為可行」。本局亦計畫製作漁船航路示意圖，將以大型看版

之方式設置於漁會某處，供漁船有所依循。

◇陽明海運公司張船長：

- 目前陽明海運租入進出台中港之貨櫃船,長度僅及120公尺左右，船長尚未反應有操船困難，且其貨櫃數也少，應尚不足為證。

◇台中引水人辦事處趙領港：

1. 船舶進港安全性應分兩方面考慮，一是船舶進港口時，二是領港登輪時，此兩者在地點及時間上均不相同，故於規劃改善方案時，應將此兩者分開認清，同時考量。對於領港登輪安全性而言，北堤延伸長度仍嫌遮蔽不足。
2. 北堤延伸前，180公尺及225公尺散裝船曾於北堤處發生過幾次海事。而沿伸後,225公尺長度以下之大船進港安全度已有所改善，但仍有數次相當危險。
3. 目前進港船舶船型雖已達200公尺，但仍無法全天候絕對(百分之百)安全進港。
4. 在北防波堤延伸後，對3000TEU貨櫃船長230公尺以上之貨櫃船是否能夠一年四季、全天候地安全進出港口之問題，因欠缺實際操船經驗，只能憑以往經驗判斷，認為無法全天候安全進出港口。

◇港灣技術研究所張所長：

1. 目前進港船型船長已為200公尺，若欲提昇至230公尺，有那些地點可能會發生操船問題？
2. 根據外海海氣象調查，台中港全年風浪統計數據並不比基隆甚或高雄港差，但為何台中港登輪問題較大？

◇台中引水人辦事處趙領港：

1. 以往臺中港北堤未延伸850公尺前,大型船隻像新加坡NOL公司之200公尺長貨櫃船來台中港遇大風浪時常SKIP至高雄港或基隆港。領港常應代理行或船東之請求至高雄港或基隆港登輪引領來台中港。北堤延伸後,規劃分道航行制、錨地範圍及領港登輪地點從2海浬移至北防波堤之遮蔽區內（即0.5海浬內）。此項措施已取消，唯進港船隻在東北季風威脅下仍冒各種不同程度的風險。
2. 基隆港領港登輪位置是在港口外1.5海浬至港口間,其地點波浪(wave)

原本較台中港為小，且其船舶偏順(船舶與風向夾角較小)進港，吹風延時亦不長，swell(湧浪)較台中港為小，而且有基隆嶼擋住swell，故其船舶上下起伏程度較小，領港登輪較無問題。

◇台中引水人辦事處陳領港：

・目前流向雖已改變，但風向並無多大變化，故3000TEU貨櫃船滿載時，其甲板上之風壓仍需考慮。而大型船舶是否能進港，仍需時間累積操船經驗。但經驗上可行，並不代表風險為零，故如何使大型船舶安全進港，仍需做深切討論。

◇港灣技術研究所張所長：

・目前風向雖無改變，但若將現有防波堤增高，增加擋風面積，是否對操船有幫助？

◇台中引水人辦事處陳領港：

1. 在電腦上應可模擬出擋風牆之設計效果，假設能建立5至10公尺高之擋風牆且具有斜坡，可將風引導往上吹，使在一定的遮蔽區內為無風，相信對操船一定有幫助。
2. 北海天候極惡劣其水流亦極亂，但荷蘭鹿特丹港之船舶進出卻仍相當頻繁，此點應可供貴所深入研究。

◇港灣技術研究所張所長：

・在現有防波堤上再建構擋風牆相當困難，本所已在本次研究中就其擋風距離、位置及高度做探討。

◇台中引水人辦事處汪領港：

1. 安全之觀念應為200%，包括人、船及港口皆應考量。
2. 北防波堤延伸在領港操船的觀點上，是值得肯定之措施。而3,000TEU貨櫃船因其TEU數多，受風面亦較大，以目前北防波堤延伸長度來推斷北防波堤再延長之效果，具有其積極性之意義，但需延長多少？其效果如何？在無實際經驗驗證前，無人敢推論其安全性為100%。
3. 政策上若有要求臺中港需成為一獨立港，則以目前之情況，再延伸北防波堤確有其必要性。

◇港灣技術研究所張所長：

1. 臺中港絕非是輔助港，其一直是以獨立港來發展。只是以往船舶因某些限制，需移往高雄港或基隆港泊靠，致引起誤解。
2. 於民國77年港口擴建時，曾以 3,000TEU 貨櫃船做過操船模擬 (Real time),其佈置是以北堤延伸850公尺、南防波堤拆除168公尺及南內堤拆除50公尺為主，但後來因考量影響港內靜穩度故皆未拆除。假設此兩者皆已拆除，是否3000TEU貨櫃船可安全順利進港？

◇台中引水人辦事處趙領港：

1. 拆除南防波堤堤頭，即是相當於北防波堤再延長之功能。
2. 民國77年亦曾有過探討座談會，當時領港建議北堤延長1000公尺，船長建議延長1,200公尺，最後因經費問題折衷為850公尺。但其結論是：若將來需進泊於六萬級(或船長225公尺)以上大型船舶,仍需重新考量北堤延伸長度。
3. 民國77年擴建時亦曾有操船模擬試驗，其最多只以40節風速模擬，不可能以超過80節之風速操船，但臺中港就曾發生過80節以上之風速。而目前之船舶進港在實務上之要求，是全年、全天候皆需能安全進港，故建議應以臺中港所可能發生最惡劣天候為設計條件以符實際。希望　貴局業務部門之需求，應會知設計部門以為設計之目標。

◇台中引水人辦事處鄭領港：

1. 臺中港設計最大進港船型為6萬載重噸,但實際到港船舶已有多艘超過此噸數，有關單位應加以討論。
2. 目前在風速40knots(八級風)以上時，6萬噸船已難以安全進港。而以往操船模擬是以風速20m/sec進行操船試驗,實際上臺中港白天風速常超過60knots，故為3,000TEU貨櫃輪及6萬載重噸散裝船可安全進港，建議6萬載重噸散裝船風速限制應提昇為60knots,3000TEU貨櫃輪應為55konts，且建議北防波堤再延長,但延長之長度應考量到台中港定位問題及改善程度。

◇港灣技術研究所張所長：

- 為何領港所認定之風速，皆較本所量測風速為大？

◇台中引水人辦事處趙領港：

・在氣象學名詞中有一海陸效應，即當冬季雲層稀少時，白日因日照溫度較高、空氣密度稀，而夜晚地面冷卻快，空氣冷凝密度較大，等於籠罩一小型高氣壓地帶於陸地與海岸邊緣。而臺中港港口受此效應影響，通常在黃昏時，因溫度驟降形成高壓區，將東北季風往外海推出1.5至2海浬，港口區所感受風速較小，但外海風力仍相當強勁，且其差別可達二級風(15knots) 之多。而貴所測風站皆是位於此效應區內，且受防風林影響，故所測得之風力已大打折扣。

故建議設計時應考量該效應因素及風速計設置地點，並以最大風速為設計條件，因風速計設置在防波堤上，遇大風速40節以上時，堤面上浪、浪花濺打風速計風葉，使其計讀減少，不能顯示眞正的風力。

◇港灣技術研究所張所長：

・以往操船風速限制應是18m/sec，波高限制約2.3公尺。而根據本所測風站統計資料，臺中港全年吹風延時超過3小時及風速超過20m/sec者，應不超過3%，故目前操船數據是據此而制定出。且考量經濟及工程技術之因素，操船模擬風速及波高限制亦不可能以極端值來設計。

而各位所建議之意見，本所亦會詳加參酌。

◇台中引水人辦事處汪領港：

・建議在北堤及南堤堤頭設置風速站，以便能統計出在冬季時，各種風速個別於晝夜實際發生機率。

1. 請在港船長列席，報告外港之風力、浪、湧、浪高之實際數據。
2. 請各船長在外港拋錨時，作各種風力、浪、湧之資料收集(一個冬季)
3. 請各相關人員出海，實際視查海象等眞正狀況。

◇台中港務局吳課長：

謹提出幾點建議供規劃單位參考：

1. 港口規劃,應考量不同種類船隻操船特性不同,例如目前進泊台中港最大船型為六萬載重噸散貨輪,該船滿載吃水約十二・六公尺船長約230餘公尺，以目前港口航道水深寬度及遮蔽狀況皆已足夠。可是 4,000 TEU貨櫃船，雖未超過六萬載重噸(58,912噸),但因貨櫃船滿載時水線上側面積廣，所受風壓大，操船時受側向風影響大與散貨輪操船特性

並不相同，規劃時不能一樣視之。

2. 目前六萬載重噸散貨輪進泊台中港已無問題，惟大型貨櫃船因欠缺實際操船經驗及冬季季風期進出港資料，到底能滿足何等級之貨櫃船安全進泊，是本研究案工作重點所在。
3. 為滿足遠洋大型貨櫃船安全進泊，北防波堤是否需再延伸？再延伸之長度及方向若何？應詳加討論，研析規劃。

◇台中港務局曲組長：

1. 當初未拆南堤原因之一，是台電無進泊12.5萬噸煤輪之意願，不願分擔因此而增加之改善港池穩靜度工程經費。
2. 目前進港船型定位在六萬噸，而3,000TEU貨櫃船之安全標準尚不易評估。但臺中港為配合亞太營運中心之設立，需規劃進泊大型船舶，雖然設立二港口及外港是未來之發展趨勢，設立後大型船舶進泊應無問題，但是緩不濟急，故仍以考量改善北堤及港口，並提昇至3,000TEU以上之貨櫃船為現階段主要執行方向。

◇台中港務局賴總工程師：

此次會議應分為兩部份來檢討：

1. 原設計6萬噸散裝輪進出港缺失。
2. 將來更大型船舶3,000TEU以上貨櫃輪進出港之配合設施及興建時機，甚或興建外港之時機。

◇台中引水人辦事處趙領港：

1. 正常領港登輪地點應在1.5至2.5海浬間，目前臺中港領港登輪地點是在北防波堤之遮蔽區(距南頭0.5海浬)內，由船長駛進港船隻在逼進港口仍冒著某一個程度的風險。若欲全天候安全進港尚有待評估。
2. 領港建議北防波堤依現況方向(295度)再延長300公尺，是因此長度接近3,000TEU貨櫃船之船長，亦為配合現階段需求，且可適度改變流況。

◇台中港務局吳課長：

1. 港口改善需考慮各種因素，如領港登輪安全、船舶進港安全、對漂砂防治的正面意義及經濟效益等，及是否配置輔助軟體(如設置VTMS)，

以達到整體效益。

2. 希望研究單位進行本研究案時，能廣納各方面建議，提出適當改善替代方案，再進一步評比求出最佳建議案。

◇港灣技術研究所莊副研究員：

・請教諸位領港，為統計分析風力及其延時之影響，在實際作業中，季風及陣風在多長之延時下，會對操船造成影響？

◇鼎興工程顧問公司黃經理：

1. 現有操船困難點(障礙點)有那些？
2. 以往之困難點是否仍存在？

◇台中引水人辦事處趙領港：

・北堤延長850公尺後,操船安全對某些大型重載船而言，仍然具有風險。

◇台中引水人辦事處汪領港：

・若以北堤堤頭之外400公尺開始，船舶以10knots船速進港，至進港安全距離為止，需240秒，
故其延時為4分鐘，即對操船造成影響。

六、結論：

◇港灣技術研究所張所長：

1. 此次會議為初步探討，下次應盡可能邀請船公司及船長參與會議。
2. 感謝諸位船長及領港提供寶貴意見，這些意見將列入未來規劃設計之參考。
3. 臺中港未來仍以3000TEU貨櫃輪及6萬載重噸散貨輪以上之船舶，可安全進出港為研究努力目標。
4. 待3000TEU現況操船模擬完成後，再請出席單位共同研議改善方案。
5. 未來港口防波堤堤端將設立海氣象測站，即時提供流況資料。

參、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」期中報告審查會

[壹]會議紀錄

一、時間：民國八十五年二月十四日上午九時

二、地點：台中港務局三樓會議室

三、發文日期：民國八十五年二月二十九日

發文字號：八五中港工字第一八八〇號

四、主持人：台中港務局局長　黃清藤

紀錄：台中港務局工程司　尤仲卿

五、出席單位及人員：

(一)汪宗灝先生：未出席

(二)王志成先生：鍾兆君代

(三)趙毓麟先生

(四)台灣省政府交通處：未派員

(五)長榮海運公司：張法偉

(六)陽明海運公司：未派員

(七)立榮海運公司：未派員

(八)萬海航運公司：未派員

(九)台中港引水人辦事處：未派員

(十)港灣技術研究所：蘇青和、莊文傑、陳明宗、江中權、黃正昌、郭璧奎、汪玉崑、張炯殷

(十一)台中港務局：

副局長：陳銘長

總工程師：賴淵光

港務長：蕭丁訓

港務組：祁敏

會計室：劉火德

工務組：曲綿洸、吳啓東、郭明哲、江自強、董時進、康英仁

六、討論：

長榮海運公司：

(一)根據操船模擬試驗初步報告結語，3,000TEU之貨櫃船三十次模擬中有三次超出界限，另有九次在防波堤口航向失去控制，足以顯示目前台中港現況實不足提供3,000TEU貨櫃船之安全進港

。站在航商立場很感激於台中港做的種種努力，並盼望經由這種努力有朝一日本公司貨櫃船能定期灣靠本港。

台中港引水人辦事處趙毓麟先生：

(一)改善港口的目標所需付出的代價，實際上可由業務需求折衷退讓及由主管當局主動發佈進港條件規避某些時段的高風險而獲得減輕，換句話說，船公司認知在強風中進港承擔某些程度的風險及因強風期間延滯的船期損失，而主管當局為確保本港設施安全及形象計建立一封港的制度，則進港船隻長度便可提高。

(二)防波堤上所設風向風速計之記錄與海上實際風力有出入，建請設計及顧問單位列入考量。

(三)船上長時間觀測之風速風向資料應配合取得分析，並與氣象局、港研所資料進行相關分析。

宇泰工程顧問公司王志成先生(鍾兆君先生代)：

(一)P.3-29台中港之佈置圖，建請修定為八十五年二月之2A方案。

(二)經比較近年港口水深地形變化，在北堤延伸850m後，南堤堤頭有明顯刷深現象，其原因頗值得探討。由於港口附近流場影響船舶進港至鉅，如經研究北堤延伸可能導致港口流速之增加，則所建議北防波堤繼續延長之方案應審慎考量。

(三)北外堤繼續延長後，將更使得西南向波浪受到結構物導引而進入港內。北堤繼續延長對港內靜穩度之負面影響是否可能大於南堤堤頭拆除，值得再作進一步之比較探討。

(四)北外堤延長遷涉到台中港未來遠程之發展，此課題以本案目前研究項目恐無法獲得定論。現階段南堤堤頭拆除如可獲得北堤延長相同之操航效果，則在颱風波浪對港池靜穩度影響可被接受之條件，基於工期掌握、工程經濟、及不影響未來發展等因素，南堤堤頭拆除應為較佳考慮方向。

(五)圖4-4-14(P.4-50～4-65)顯示北堤延伸段兩側，及港口航道及北迴船池間皆有明顯渦流產生，此渦流均嚴重影響船舶進出港操航。故於操船模擬試驗進港操航建議不妨採用1994/1/13 09:00:00時段，出港操航採用1994/1/14 05:00:00時段港口航道最為紊亂之流場。

(六)本計畫採用第三代貨櫃輪進行操航。如可能的話，建議在選定最佳方案後，以第四代貨櫃輪進行少數Test Run，以初步評估進出第四代貨櫃輪潛在之可行性。

(七)減風設施對操船之影響，應注意結構物造成風場不平均，所造成船體受力不均勻之影響。

(八)減風設施之可行性，應注意對現有結構物穩定性之影響，以及設施建造及維護成本。

規劃課吳課長：

(一)初步結論與建議(二)建議北堤再延長300公尺，惟研究報告並未對建議延伸方向、延伸長度的理由有所說明，應請先就冬季季節風強勁期貨櫃船操船進港方向、進港航速及北堤各種延伸長度分別進成港口流況改變情況及對波浪遮蔽效果、漂沙防治效益等詳加探討分析，並在完成各改善替代案之正負面效果與經濟效益評比後才決定之較合理。

(二)七十七年本局委託中華顧問工程司聯合荷蘭PRC公司及 MARIN 操船試驗室完成之台中港港口擴建計畫評估研究報告要點(九) Real Time操船模擬試驗提到第三代貨櫃輪因受風面積較大，如以四十度航向進港因轉向時間及轉向幅度不易控制，一旦風力作用極易碰觸北外堤，且進入航道後因船速不足，於主航道易造成蛇行超出航道之機率較大，故採九十度航向以較快航速進港為宜。此點與本次操船航路不同，提供研究單位建議參考辦理。

(三)船隻滿載吃水較深時，受浪與流的影響較大，受風影響較小，惟船隻空載或船舷上載物較多時受側風壓較大（如貨櫃船、汽車船），每遇航速降低動量變小時要格外小心強風的影響。本案請分別就進出港及船隻滿載、輕載狀況研究求出最適之航路與操船速度，並就降低浪流的影響提出改進意見後，進一步探求是否有必要再在適當地點設置適當防風設施。

(四)全港域開發後，漲落潮時港內進出的潮水將增大，如加上台電的冷水吸取及規劃中的海渡電廠冷卻水吸取，將造成內堤間隘口的水流流速加強，間接對船隻操航造成負面影響，另北堤再延伸冬季季節風強勁時，港口渦流是否會更強勁，對南向波浪導引入港所引起的負面影響是否更惡劣，尤其是颱風過境及夏

季季節風較強勁時，研究單位宜就上述等負面效果詳為推算預估，並提出因應策略。

(五)建港二十年來本局已陸續完成大甲溪與大肚溪間海氣象（包括風、浪、流、漂沙)調查統計分析資料,目前正繼續推動規設船舶交通管理系統(VTMS)中，將來可藉助軟體設施的改善進一步提昇加強船舶安全操航輔助設施。且為配合棧埠及港灣業務民營化政策，領港艇已採民營，拖船業務亦逐步開放中，將來來港船長可在事先得知交管中心所提供之海氣象狀況及完善航管追控協助，有效率的拖船協助下操船進港，相信冬季季節風所產生的問題應可在軟體設施的加強下獲得更好的改善。

(六)報告P.2-24對象大型船舶航道寬深需求與台中港港口段航道現況比較表似嫌保守有待商榷，請再研究。

工務組曲組長：

(一)北防波堤是否仍需延長，應在研究分析工程技術、港池靜穩度及操航安全等因素後，如確有必要再提出。

(二)減風設施改善方案在報告內提出四方案，惟其中第一方案已說明有安全顧慮，即不應列為可行方案之一，應在進行可行性分析認為實際可行及比較優劣後再提出可行方案。

(三)報告內附圖之方向依照「上北下南」原則，務請統合一致。

工務組康英仁工程司：

(一)所提減風設施三個方案，其基礎及結構形態並未深入作基本分析。

(二)減風設施建造成本與經濟效益應作一比較分析，並據以建議最佳建造時機。

港務組祁組長：

(一)操船是一種藝術，相同狀況不同的人會做不同的判斷，如果以最困難及最壞狀況做出操船試驗結果供操船領航參考，船機不斷的進步，引航經驗之豐富，應可提高進港之安全性。

(二)任何硬體工程之改善應做些負面的評估，必須周延再決定做與不做，可不致失敗後悔。

港務長：

(一)資料太舊。

(二)不會解讀4.7%, 1.8%, 對讀者沒實際意義, 應進一步實用性分析。

(三)操船模擬可以20m/sec來做。

(四)測風、浪、流的佈設要增加。

總工程司：

(一)操船模擬三十次中有三次失敗, 請分析原因, 除海氣象原因外, 有無人為原因。

(二)由失敗案例看出地點在船已進入主航道至北內堤間, 而非在南北外堤口處, 顯現出現有遮蔽區已發揮功效。

(三)請領港說明現況登輪有何困難, 可否克服。

副局長：

(一)港灣工程之設計均未考慮海陸效應之因素。

(二)操船模擬時採用四十五節風速條件, 其根據為何? 而原擴建案係採用20m/sec風速條件, 兩者在做比較分析時是否恰當。

(三)建議北防波堤延長300公尺有預設立場之嫌,在進行評估時會有誤差。

局長：

(一)個人不太同意用「封港」字眼, 該字眼有軍事味道, 應該只有在海氣象條件不好時禁止進出港之情況, 是否可研究改用其他名稱?

(二)P.2-9延長300公尺係船長及引水人之建議, 港研所應參考並加以研究後再確認而非直接引用, 於期末報告時再提出建議延長之長度。

(三)報告第三章提出有五種港口段航道設施改善方案, 期末報告時應決定一方案供本局參考。

(四)三十次操船三次有問題, 此資料請勿提出以免影響台中港之營運, 期末報告應將有問題之CASE分析原因並提出解決之道。

(五)第二港口在過港隧道闢建後將會開闢, 開闢後海流情況會是如

何？在第一港口之海氣象條件不佳且北防波堤延長後仍無法進出港之情況下，將考慮改由第二港口進出港，惟以現有內港設施是否沒有問題，若第四代貨櫃輪仍無法順利進出港，則將形成投資浪費。上述問題如可能的話請一併研究。

七、主席結論

各出席單位及人員所提供之意見請港研所參考，並加以研究分析後容納在期末報告內。

[貳]辦理情形

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
長榮海運公司	操船模擬試驗三十次有三次超出界限，九次在防波堤口航向失去控制，顯示現況不足提供3,000TEU貨櫃船安全進港。	本項操航係以台中港現況佈置，配合惡劣海氣象情況操航，藉以探討現況佈置之待改善及克服問題，已於期末報告中提列分析及因應之道。
引水人辦事處趙毓麟先生	1. 為確保本港設施安全及形象，建立一封港制度則進港船隻長度便可提高。 2. 防波堤上所設風向風速計之記錄與海上實際風力有出入，請列入考量。 3. 船上長時間觀測上之風速風向資料應配合取得分析。	1. 已於近程改善方案三納入考量並建議。 2. 現況既有風速測站係以北防波堤堤跟測站為風速分析統計之依據，為求得實測海上之風速資料已於期末報告7-1-4節其他改善對策之(6)加強海氣象資料調查項中建議。 3. 有系統、長時間之船上風速資料取得不易，尤須各港務局作業單位及船長配合，本建議轉請於台中港建置VTMS系統時參採。
宇泰顧問公司鍾兆君先生	1. 期中報告P3-29台中港之佈置圖，建請修正。 2. 北防波堤繼續延長之方案應審慎考量。 3. 北外波堤再延長對港內靜穩度之負面影響可能大於南堤堤頭拆除，值得再作進一步之比較探討。 4. 南內堤堤頭拆除應為本研究案較佳考慮方向。 5. 港口、航道及北迴池間渦流均將嚴重影響船舶進出港操航，建議進港採用1994/01/	1. 已遵照修正。 2. 北防波堤再延伸主要係為解決領港登輪問題並使進港船舶航跡易保持穩定，再延伸之影響已於期末報告7-3-2節評估考量。 3. 本案未含水工模型試驗項目，所提建議已以數值計算方式評估比較，詳見期末報告7-3-2節。 4. 已於期末報告近程改善方案二中納入。 5. 已參照辦理，操航流場選用如期末報告5-7-4節之說明。

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	13 09:00:00;出港採用1994/01.14 05:00:00時段之紊亂流場進行操航模擬。 6. 建議在選定最佳方案後，以第四代貨櫃輪進行少數test run。 7. 減風設施在操船模擬時應注意船體受力不均勻之影響。 8. 減風設施之可行性，應注意對現有結構物之穩定性影響，以及設施建造及維護成本。	6. 已參照辦理，但在惡劣海氣象條件下，第四代貨櫃輪進泊潛在危險仍甚大。 7. 海洋大學現況模擬機設備尚無法進行平面不均勻風場設定的模擬。現況操船模擬仍以全面性強平均風速輔以陣風方式進行。 8. 期末報告減風設施可行性研究中已遵照考量。
台中港務局 規劃課吳課長	1. 初步結論與建議(二)建議北堤再延長300公尺，唯研究報告中並未對建議延伸方向，延伸長度的理由有所說明，應請先就冬季季節風強勁期貨櫃船操船進港方向、進港航速及北堤各種延伸長度，分別造成港口流況改變情形及對波浪遮蔽效果、漂沙防治效益等詳加探討分析，並在完成各改善替代案之正負面效果與經濟效益評比後才決定之較合理。 2. 本次操船航路與中華顧問工程司操船報告不相同，建議參考辦理。 3. 請分別就進出港及船隻滿載、輕載狀況研究求出最適之航路與操船速度，並就降低	1. 期末報告第七章港口段航道設施改善對策研究中已將建議事項盡量納入考量並進行評估分析。 2. 本案之操航航向係依台中港現況佈置由台中港引水人依現況操航方式訂定，因操航之環境水流及操航方式不同，故有差異，詳細之操航航向、水流、風速、航速及航跡參見期末報告第五章操船模擬研究。 3. 最適航路與操船速度係由引水人依其經驗、技巧依現況港口配置決定，本案

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	浪流之影響提出改進意見後，進一步探求是否有必要再在適當地點設置適當防風設施。	操船之目的在用以確定現況港口面臨之問題及待克服之障礙，風、浪、流之影響及解決對策已於期末報告第五章操船模擬、第六章減風設施可行性研究及第七章港口段航道設施改善對策研究中分析、說明並評估。
	4. 全港域開發後，漲落潮時港內進出的潮水將增大，如加上台電的冷卻水吸取及規劃中的海渡電廠冷卻水吸取，將造成內堤間隘口的水流流速加強，間接對船隻操航造成負面影響，另北堤再延伸於冬季季節風強勁時，港口渦流是否會更強勁，對南向波浪導引入港所引起的負面影響是否更惡劣，尤其是颱風過境及夏季季節風較強勁時，研究單位宜就上述等負面效果詳為推算預估，並提出因應對策。	4. 規劃中之海渡電廠冷卻水取排對台中港之影響非為本案研究項目與主題。其他風、浪、流之影響皆已於期末報告中衡酌及評估並已研提因應對策。
	5. 台中港配合海氣象調查統計分析資料，目前正繼續推動規設船舶交通管理系統VTMS中，將來可藉助軟體設施之改善進一步提昇加強船舶安全操航輔助設施。	5. 所提見解與構想精闢，本案已參酌列入期末報告7-1-4其他改善對策(5)(6)項中
	6. 報告P.2-24對象大型船舶航道寬深需求與台中港港口段航道現況比較表似嫌保守有待商榷，請再研究。	6. 已依現有規範及現況設施評估比較，所提意見參酌辦理。
台中港務局工務組曲組長	1. 北防波堤是否仍需延長，應在研究分析工程技術，港池靜穩度及操航安全等因素後，如確有必要再提出。	1. 已遵照辦理。
	2. 減風設施應在進行可行性分析認為實際可行及比較優劣後再提出可行方案。	2. 已遵照辦理。

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	3. 報告內附圖之方向依照「上北下南」原則，務請統合一致。	3. 已依建議原則於期末報告中改善、調整。
台中港務局 工務組工程司 康英仁	1. 所提減風設施方案，其基礎及結構形態並未深入作基本分析。 2. 減風設施建造成本與經濟效益應作一比較分析，並據以建議最佳建造時機。	1. 已於期末報告中依建議加強辦理。 2. 已於期末報告第六章減風設施可行性研究中辦理。
台中港務局 港務組祁組長	1. 以困難及最壞狀況做出操船試驗結果供操船領航參考，應可提高進港之安全性。 2. 任何硬體工程之改善應做些負面的評估，必須周延再決定做與不做，可不致失敗後悔。	1. 已遵照辦理 2. 本案已依合約項目加強內容並盡所能提供正負面之評估資料與結果供貴局決策之參考。
台中港務局 港務長	1. 資料太舊 2. 不會解讀4.7%，1.8%，對讀者沒實際意義，應進一步實用性分析。 3. 操船模擬可以20m/s來做。 4. 測風、浪、流的佈設要增加	1. 已於期末報告中引用本所最新之海氣象實測資料。 2. 已於期末報告中參酌意見改善。 3. 操船風速設定已遵照辦理 4. 非本案研究項目。
台中港務局 總工程司	1. 操船模擬三十次中有三次失敗，請分析原因，除海氣象原因外，有無人為原因。 2. 由失敗案例看出地點在船已進入主航道至北內堤間，而非在南北外堤口處，顯見北防波堤遮蔽區已發揮功效。 3. 請領港說明現況登輪有何困難，可否克服。	1. 已於期末報告第五章操船模擬中遵照辦理。 2. 與期末報告第五章全部之操船分析結果一致，已研提改善對策。 3. 參見上列1.及2.之辦理結果。
台中港務局 副局長	1. 港灣工程之設計均未考慮海陸效應之因素。	1. 限於海上資料收集困難，取得不易，海陸效應本案確未考量，唯已於期末報告7-1-4其他改善對策(5)

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	2. 操船模擬時採用四十五節風速條件，其根據為何？而原擴建案係採用20m/s風速條件，兩者在做比較分析時是否恰當。	及(6)項建議配合措施，待未來共同努力。 2. 操船風速本研究共計採用三種較惡劣平均風速，分別為16.5m/s約33knots；20m/s約40knots及25m/s約50knots，主要在探討強風對大型船舶進泊之操航影響，並取得較安全、保守之設施改善依據，詳細海氣象條件參見期末報告第五章。
	3. 建議北外防波堤延長300公尺有預設立場之嫌，在進行評估時會有誤差。	3. 北外防波堤之最小延伸長度經操船模擬結果，確認應對向再延伸713公尺，已於期末報告中說明並評估。
台中港務局局長	1. 個人不太同意用「封港」字眼，該字眼有軍事味道，應該只有海氣象條件不好時禁止進出港之情況，是否可研究改用其他名稱。	1. 已遵照辦理，"封港"用詞已於期末報告中更正為"暫停進出港作業"。
	2. P.2-9延長300公尺係船長及引水人之建議，港研所應參考並加以研究後再確認而非直接引用，於期末報告時再提出建議延長之長度。	2. 已遵照辦理，確實之延伸長度詳見期末報告7-1-2節之說明。
	3. 報告第三章提出有五種港口段航道設施改善方案，期末報告時應決定一方案供本局參考。	3. 已戮力於期末報告第七章港口段航道設施改善對策研究中配合辦理。
	4. 三十次操船三次有問題，此資料請勿提出，以免影響台中港之營運，期末報告應將有問題之case分析原因並提出解決之道。	4. 遵照辦理，並已於期末報告第五章操船模擬中詳細分析原因並提出解決之道。
	5. 第二港口開闢後海流情況會是如何？在第一港口之海氣象條件不佳且北防波堤延長後仍無法進出港之情況下，	5. 大型船舶於現況港口進泊困難與問題已於期末報告中研究探討，第二港口開闢之相關問題於時間經費

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	將考慮改由第二港口進出港，惟以現有內港設施是否沒有問題，若第四代貨櫃輪仍無法順利進出港則將形成投資浪費。上述問題如可能的話請一併研究。	容許下參酌辦理。
主席結論	各出席單位及人員所提供之意見請港研所參考，並加以研究分析後容納在期末報告內。	已於期末報告中遵照辦理。

肆、「台中港港口段及航道現況改善方案」審查會會議紀錄

一、時間：民國八十五年九月十日上午九時三十分

二、地點：港灣技術研究所二樓簡報室

三、主持人：港灣技術研究所所長　張金機

　　紀錄：港灣技術研究所　陳毓清小姐

四、出席單位及人員：

（一）台灣省交通處：趙時箴

（二）台中港務局：吳啓東、尤仲卿

（三）海洋大學河海工程研究所：周宗仁

（四）台灣大學造船及海洋工程研究所：林銘崇、邱逢琛

（五）成功大學水利工程研究所郭金棟教授：未出席

（六）台中港引水人公會：未派員

（七）中華民國船長公會：郭長齡

（八）長榮海運公司：未派員

（九）立榮海運公司：王實根

（十）陽明海運公司：張富貴

（十一）萬海航運公司：王建彬

（十二）台中區漁會：蔡敏專

（十三）宇泰工程顧問公司：未派員

（十四）中華工程顧問公司：杜振宗

（十五）海洋大學操船模擬機室：林彬

（十六）鼎興工程顧問公司：黃正昌、李達中、張炯殷

（十七）港灣技術研究所：莊甲子、江鈺基、蘇青和、陳明宗、莊文傑

五、主席致詞：目前港研所在執行「台中港港口段及航道現況改善方案」研擬，藉此次會議聽取各方的意見，以便將來作為改善方案研擬之參考，使台中港營運有所提昇。

六、本案計畫主持人莊文傑副研究員簡報有關「台中港港口段及航道現況改善方案」計畫執行情形及改善方案之研擬（如審查會會議資料）。

七、討論事項：

（一）台灣大學造船及海洋工程研究所邱逢琛教授：

1 建議在做港口改善時，應考量改善後營運提昇的程度，即改善方案實施後，其港口使用率、營運量可提升多少，以及將可容納多大噸位的船舶進出台中港，在做工程規畫時應該有具體明確的數字來做評估。

2 一般操船模擬有明確的安全係數，透過模擬可算出一年內能讓多大噸位船舶進出港口之比例，用此評估何種改善方案可增加多少港口運轉比率，應有定量方式來做評估。

張所長金機：風速15m/sec約佔全冬季12%，依操船資料可知台中港大潮每月1至2次，根據此項相關資料，評估3,000TEU級貨櫃輪及六萬噸級散裝輪可安全進港之機率。評估改善港口配置後能增加多少港口營運效益，而其所投下之經費其改善的程度應作說明，這點確實是本所需再補充。

(二)台灣大學造船及海洋工程研究所林銘崇教授：

1 此項計畫報告中說明流場數值資料乃採 MIKE 21模式計算分析，而波浪影響部份本案並未考量，依個人之瞭解，MIKE 21 模式亦可將波浪引起之近岸流加以分析計算，使其在操船資料更趨精確完整，唯限於計畫時程且操船模擬已近完成，希望港研所日後於承接類似計畫時能將波浪影響部份考量在內。

2 報告中有關各種改善方案之提出應詳細說明是基於何種理由？例如延長北外防波堤六百公尺或拆南內防波堤等是根據何種原因？應載明。

(三)立榮海運公司王實根經理：

1 目前台中港第一港口已花費巨資所作防波堤延伸，對船舶進出港口之改善，已經可見有相當程度之效果。對適合靠泊台中港第一貨櫃中心以及靠泊台中港北區各碼頭之船隻船型應已足夠。因此，與其再耗資改善第一港口，不如用於儘速開闢第二港口。台中港為呈現南北走向狹長型之海港，與現在之高雄頗有相似之處。台中港將來要發展之第二貨櫃中心、台電碼頭等重點都位於港區之南側，大型貨櫃船及散裝船都將靠泊於此作業。因此即使第一港口再趨完善，屆時仍會造成船隻進出擁塞之瓶頸現象。以高雄港為例，當初只有旗津第一港口時不敷使用，造成發展之阻礙。

俟第二港口開闢以後，業務量即直線上升，始有今日之成績，以今天台中港一年進出港已有約五仟船次之量來看，本人建議應儘快著手第二港口之開闢。

2 在規劃連接中突堤與西碼頭區之過港隧道時，請考量是否可容許危險物品之通過，否則將大大減少該過港隧道之經濟效益。因此建議在建造跨港大橋與過港隧道兩者間作一審慎之評估與選擇。

(四)陽明海運公司張富貴先生：

從報告中得知九十度操航進港四十一次，六十度四十五次，以航商之立場，船舶進出一切以安全為重，因此本公司最關心是此次計畫操船模擬失敗率佔多少？

張所長金機：此次操船模擬多半在惡劣海氣象環境條件下進行，並且有些是將船舶噸位加大至4,000TEU試操，因此報告上的操船失敗數據並不能代表在目前以3,000TEU級貨櫃輪及六萬噸級煤輪進出港失敗的實際次數。這點本所於報告中會注意將其分開表示說明。

(五)台中區漁會蔡敏專秘書：

1 目前漁港與商港共用，因此希望在做改善方案時，能兼顧漁港之安全。

2 外傳自從北外防波堤延長後漁港內之流速受到相當程度之影響，以及有大量垃圾之入侵。希望在評估改善方案時，亦可考量在內。

張所長金機：

1 本所做這項計畫研究一定會非常注意漁會意見，絕對會兼顧商漁港，不會顧此失彼，請漁會放心。

2 有關延長北外防波堤會造成港內流速的變動以及垃圾之入侵問題，依研究資料顯示，此乃由於台中港港區範圍加大，於漲落潮間，潮差時變率不變情況下，進出水量體積增大，致使內港港口附近流速增加。至於颱風過境期間垃圾漂進漁港問題，主要因為颱風暴雨導致大甲溪沿岸垃圾場崩潰，垃圾沿著河流帶到河口，加上西南氣流引進才會導致垃圾入侵漁港的狀況因此海面垃圾漂浮是不該有的異常現象，本所

在做港口規劃及改善時，係假設整個海水面是乾淨的狀況下進行研究，此實非延長防波堤所引起的，請漁會蔡秘書再與漁民溝通解釋。

(五)中華民國船長公會郭秘書長長齡：

1台中港乃人造港，先天即受到天然條件之影響，因此需投資龐大之經費才能達到預期的目標，何況每個港口都各有其極限限制；現況再改善後台中港也只能讓3,000TEU貨櫃輪及六萬噸級散裝輪順利進港，因此本人建議　貴所將現有港口改善方案以及開闢第二港口彼此間所投資之經費及效益合併評估比較。

2有關現有港口之配置，依原規劃建港之限制，就算再延長六百公尺究竟可改善多少，依個人之見可能極為有限，且耗資頗巨，其實際效果也並非十分有把握，因此應考慮其改善後提昇之經濟效益。

3為台中港大型船舶之安全進港靠泊，是否可就善加利用拖船協助之可行性加以研究。

張所長金機：根據台中港整體規劃結果，第二港口預定民國九十五年才開始進行闢建，而台中港整體規劃中現有港口進港船型已定位為3,000TEU級貨櫃輪及六萬噸級散裝輪。為滿足現況至民國九十五年間台中港運能之提昇，故本所接受台中港務局委託進行現況港口再改善研究。

(六)中華顧問公司：

1報告操船歷程紀錄中曾提及出港操船次數為10次，請問是空載或滿載出港？

張所長金機：空船出港。

(七)台中港務局吳課長啓東：

按貴所函邀開會內容，本局出席性質為監辦，並非審查委員。故今天會議本局僅由承辦單位規劃課人員出席，謹提供下列意見供參考。

1本局委請貴所辦理本案並無預設立場，依貴所簡報改善本港冬季季節風期，安全進港措施除延伸北堤外，尚有拖船配合，加強領

港登輪方式等多種措施，希望客觀的就本港二港口開闢前後分別探討一港口是否還需進行硬、軟體改善措施。

2 大型散貨輪與貨櫃船船舶特性不同，面對進口流況、波浪及風場條件，其操船航路選擇與採用船速可能會不一樣，是否將二種船舶操船結果分開來探討研析較佳。

3 是否拆南內堤，宜請先就可能之負面影響，審慎評估，妥善謀求補救措施，並確認可行，方始建議為宜。

4 建議延伸北堤六百公尺前宜先就各不同延伸長度做詳盡替代方案評比後決定之較完善，尤其應重視各延伸案改善效果及負面影響，且經濟效益亦請詳加探討。

(八)港研所莊副研究員文傑：

1 由於本案合約工作期間與項目之限制，本所在減風設施案已花了相當多的時間與精力，且計畫之合約目標主要乃在確定台中港現況港口進泊3,000TEU級貨櫃輪及六萬噸級散裝船是否尚有困難及障礙，若有困難及障礙，本所將研究作一合理性改善建議。因此有關台中港務局希望確認延伸方向及進一步與二港口開闢案合併評估之進一步的結果，本所可能無法容納於本案中。

2 在現況改善方案研究中，實際就操船資料而言，台中港目前進泊3,000TEU級貨櫃輪及六萬噸級散裝輪，平時之安全度應可接受，唯現況港口於惡劣海氣象條件下，確實尚存在有領港登輪問題迫切待解決，且船舶進港後船普遍有偏北航行的問題，並有碰撞北內防波堤之危險，對於合約目標本所已竭力達成。

3 有關領港登輪問題，本所建議可以採行登輪方式改變，拖船的配合運用等措施，而硬體上長遠及根本之改善則為再延伸北防堤約600公尺，至於防波堤實際要延長八百、六百或四百公尺,方向又如何等牽聯問題甚廣，在一年之計畫執行期限內甚難完成。至於如何廣泛完整的評估改善方案，請各位能給予最佳改善方案的意見。

八、結論事項(莊副所長代)：

(一)最佳改善方案，本會議中學者專家已提供許多建議，請研究單位於合約項目中儘量配合，並將報告修正補充，且若有需要時，可參酌納入改進與研究。

(二)會後如果各位有任何建議，請書面提供意見，本所將參考修正。

伍、「台中港港口段航道設置減風設施可行性研究」期末報告審查會

[壹]會議記錄

一、時間：民國八十五年十二月五日上午九時三十分

二、地點：台中港務局三樓會議室

三、發文日期：民國八十五年十二月十六日

　　發文字號：八五中港工字第一三四二六號

四、主持人：台中港務局　黃清藤局長

　　紀錄：台中港務局　尤仲卿工程司

五、出列席單位及人員

（一）汪宗灝先生：未出席

（二）王志成先生

（三）趙毓麟先生

（四）台灣省交通處：江俊良

（五）陽明海運公司：未派員

（六）長榮海運公司：未派員

（七）立榮海運公司：王寶根

（八）萬海海運公司：未派員

（九）台中港引水人辦事處：未派員

（十）中華民國船長公會：郭長齡

（十一）港灣技術研究所：莊文傑、陳明宗、郭壁奎、張石煜、林彬、蘇青和、黃正昌

（十二）台中港務局：

副局長：未出席

總工程司：賴淵光

港務長：蕭丁訓

港務組：林健成

會計室：卓婦春

工務組：曲綿洸、吳啓東、郭明哲、蘇福來、陳東宏、陳銀傳、潘慶豐

六、討論：

交通處：

（一）台中港務局為保障船舶進出港口段航道之安全性，以爭取大型船

舶進泊台中港之意願，提昇營運績效，爰有本委託研究的計畫，個人認為其方向正確意義深遠，應予肯定。

(二)有關設置減風設施之經濟效益，經本研究顯示益本比極低，且風險高，故可行性低，惟本報告中對前述經濟評估的內容，似乎過於簡略(篇幅僅約半頁)，由於此項目係本研究重點之一，建議再予加強說明，並對合適的設置時機提出建議。

(三)P.7-7遠程改善方案二提到「北防波堤沿有堤向試行再延伸600公尺」，其中600公尺的界定是如何訂出，應加以說明。另外,本日簡報有關遠程改善方案提出「適度再延長北外防波堤，長度對北向應大於713公尺」，600及713兩者數據不一致,是否有不同的意義。

王志成先生：

(一)近程改善對策三為最優對策，事實上只是進出港限制規範之訂定，而無實質條件之改善，其中僅對策二有實質之改善，故對策二與對策三應為不互相排斥之方案。建議將對策二南內堤拆除50m後，主航道配合浚深之範圍於報告明確劃出。而對策三亦建議應明確訂定限制進出港之條件及對象船型。

(二)為改善領港登輪及操航安全,遠程改善對策建議北外堤再延伸713m。但因北外堤之延伸涉及台中港遠程之發展,故建議報告中說明改善之明確目標，例如領港登輪區之位置及其波浪海象條件改善之目標。

(三)建議明確說明台中港即時海氣象資訊系統建立之內容及方式。

(四)較明確說明拖船助航之方式及其可行性。

船長公會：

(一)拖船之助航可作具體之描述。

(二)近程對策之方案三可作更詳盡之說明。台中港規劃中之船舶交通服務系統VTS 對海氣象之現況資料應有助於大型船舶之進出港作業。

趙毓麟先生：

(一)大型船舶在台中港現階段之需求為貨櫃母船及汽車船，報告內減風設施現階段不可行，個人認為減風設施對散裝輪不重要，但對

貨櫃船及汽車卻很重要，因此減風設施之設置與否應考慮現階段需求。

(二)北防波堤之延伸與否，現階段應依業務需求來改善。

工務組：

(一)P.1-1風速15～20m/sec之發生機率較國內其他港埠為高，請將四港之浪統計資料納入比較(尤其基隆、花蓮外海之風浪資料)再作定論，否則不易被接受。

(二)統計資料期間愈長愈能表達特性，貴所接收本局建港期海氣象資料，另營運期本局亦陸續委託貴進行海氣象觀測，今天簡報資料僅引用83/10/～84/03六個月短期統計資料，是否能納入舊資料進行長期間之統計，其結果較具客觀性。

(三)操船是個技術，也是藝術，謹就多年來辦理港口擴建，各方建議歸納如后供參研：

1. 現階段不宜訂定進港極限風速條件，恐將影響貨櫃業務拓展。
2. 本港早晚風速小且已開放夜航，故可利用風速小的時段並加強夜航設備，讓時效性船舶優先進港。
3. VTMS系統之設置若加強海氣象資料輔助功能，應有助於船舶安全進港。
4. 領港業務開放第二家。
5. 南北堤間航道儘早浚挖成弧形狀。
6. 領港登輪技術及登輪方式之改進，如：直昇機載運領港登輪、拖船協助方式之改善、領港艇及拖船性能加強。
7. 與海洋大學合作建立完整之台中港港口特性資料，請來港船長及本港領港至海洋大學進行操船模擬輔助練習。
8. 本港拖船輔助進港功能研究、訓練及加強改進，並研究特別津貼及獎勵。
9. 針對冬季強風期不同特性船，研究特殊進港航路及航速，如貨櫃船採較快速度並取較偏90度偏風航路，散雜貨船採慢速度並取60度頂風進港。
10. 空船出港速度小時怕風，建議在漁港口北防波堤堤北側築造新生地種植防風林，以改變迴船池附近之海氣象環境。
11. 在二港口未開闢前，俟南北填方區開發相當程度時，是否可先行適度在二港口位置處破堤，以適度改善一港口內堤附近迴流

，並收港內水質改善之效。

港務長：

(一)請提供在現況港口佈置狀況下，3,000TEU級貨櫃輪於多少風速時無法進港。

(二)北防波堤延伸713公尺後效益如何？對貨櫃輪進港之影響如何？

(三)在二港口位置先行破堤設置涵洞之建議很好，至少可排出部分海水以改善港內水質。

總工程司：

(一)報告內有關研究主題減風設施之內容不夠充實，請予以加強。

副局長：

(一)期中、期末報告之審查意見，及本案有關之座談會討論事項，均應列表詳述辦理情形，並附列於報告內。

(二)P.6-19表6-7-1之減風設施高度係數隨透風率(Φ)之增加而遞減，惟依P.6-28圖6-4-2以中密度之減風效果最佳(所謂中密度,P.6-6鹿特丹港加蘭運河之實例核算約為25～40%，P.6-8日本新瀉東港之擋風網為38%，中央研究院之風洞試驗研究為30%～50%)，似乎有矛盾。請詳細分析採用表6-7-1之原因及其理論依據。

(三)減風設施均未考慮樁之材質，如係RC或PC樁應考慮施工時之裂縫處理？如係鋼管樁則應考慮防蝕處理。

(四)操船模擬時，風、浪、流等條件之變化範圍設定為何？

局長：

(一)一港口儘量改善，但二港口一定要開，若二港口確定要開，一港口是否還要花那麼多錢來改善？北防波堤若不延長，二港口要如何開，若延長則二港口又要如何開？

(二)拖船在港內一定要配合，在港外則不需要。

(三)港研所既然承辦本局委託研究案，不可以時間及經費之理由搪塞，卻只提出問題而由出錢單位(港務局)解決。

七、主席結論：

(一)各委員意見請納入期末報告內重新修訂。

(二)請港研所於三週內提出期末報告修訂稿送局審核。

[貳]辦理情形

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
交通處	1. 台中港務局為保障船舶進出港口段航道之安全性，以爭取大型船舶進泊台中港之意願，提昇營運績效，爰有本委託研究的計畫，個人認為其方向正確、意義深遠，應予肯定。	1. 本研究已配合預期研究目標竭力完成合約內規定項目之工作。
	2. 有關設置減風設施之經濟效益，經本研究顯示益本比極低，且風險高，故可行性低，唯本報告中對前述經濟評估的內容，似乎過於簡略(篇幅僅約半頁)，由於此項目係本研究重點之一，建議再予加強說明，並對合適的設置時機提出建議。	2. 減風設施研究依合約之規定僅為港口段航道設施改善對策之五個重點工作項目之一(參見期末報告前言章第貳節)，本研究於報告中已依據期中報告審查意見主動增列以專題方式探討(參見期末報告第六章)，初步研究結果，即已完成減風目標與型式研定，並對基礎經費、工期等試算，且進行初步評估，評估結果為結構建築上有其可行性，但現階段效用有限，益本比甚低，尚非建置之良好時機(參見期末報告第六章第八節)，所指之時機，係對台中港現況應以解決大型船舶進港階段之登輪問題及船舶進港後偏向主航道北側航行之問題為最迫切，若依據本研究研提之現況改善對策可克服上列問題，則減風設施將可不必設置，何況減風設施尚須進行結構動力及振動等分析，更須有風洞試驗輔助調整細部配置問題，所餘設計、施工問題並未完成定案，故尚非建置之良好時機。
	3. P.7-7 遠程改善方案二提到「北防波堤沿有堤向試行再延伸600公尺」，其中600公尺的界定是如何訂出，應加	3. 北外防波堤對大型船舶之進泊安全與領港登輪有極重要的影響，依操船模擬結果及評估與分析可得若

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	以說明。另外，本日簡報有關遠程改善方案提出「適度再延長北外防波堤，長度對北向大於713公尺」，600及713兩者數據不一致，是否有不同的意義。	要再延長北外防波堤，其長度應為對北向大於713公尺，但為現況波流場計算評估之需要，僅取600公尺為代表，故數據確有不同，詳細說明參見期末報告7-1-2。
王志成先生	1. 建議將對策二南內堤拆除50m，主航道配合浚深之範圍於報告中明確劃出。而對策亦建議應明確訂定限制進出港之條件及對象船型。 2. 因北外堤之再延伸涉及台中港遠程之發展，故建議報告中說明改善之明確目標，例如領港登輪區之位置及其波浪海象條件改善之目標。 3. 建議明確說明台中港即時海氣象條件改善之目標。 4. 較明確說明拖船助航之方式及其可行性	1. 已遵照辦理，另本案僅就對象大型船舶及惡劣海氣象(指風速20m/s以上、大浪、大潮期間)進行操船，研究，尚無法據以明確訂定限制進出港之條件與船型，僅能提供此改善對策供決策參考，參見期末報告7-1-1。 2. 已明確說明於期末報告中，參見7-1-2節之說明。 3. 已明確說明於期末報告中，參見7-1-4節(5)、(6)項之說明。 4. 已明確說明於期末報告中，參見7-1-4節(2)及(3)項之說明。
船長公會	1. 拖船之助航可作具體之描述。 2. 近程對策之方案三可作更詳盡之說明。台中港規劃中之船舶交通服務系統VTS對海氣象之現況資料應有助於大型船舶之進出港作業。	1. 已遵照辦理，參見期末報告中7-1-4節(2)及(3)項之說明。 2. 已遵照辦理，參見期末報告7-2及7-3節之說明。
趙毓麟先生	1. 大型船舶在台中港現階段之需求為貨櫃母船及汽車船，報告內減風設施現階段不可行，個人認為減風設施對散裝船不重要，但對貨櫃船及汽車船卻很重要，因此減風	1. 同意減風設施對汽車船之影響，但本研究對象船舶係以貨櫃船為主，故操船模擬中並未納入汽車船之操航試驗，另現階段台中港港口應以解決領港登輪

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	設施之設置與否應考慮現階段之需求。 2. 北防波堤之延伸與否，現階段應依業務需求改善。	及進港船舶航跡能保持穩定為優先。減風設施對上列問題提供之輔助功能甚為有限，但船舶安全進港後通過內堤口水域應有其減風功能存在。 2. 已於期末報告中參酌建議並研提為遠程之改善方案，參見期末報告7-2及7-3。
工務組	1. P.1-1風速15～20m/s之發生機率較國內其他港埠為高，請將四港之風浪統計資料納入比較(尤其基隆、花蓮外海之風浪資料)再作定論，否則不易被接受。 2. 統計資料期間愈長愈能表達特性，貴所接收本局建港期海氣象資料，另營運期本局亦陸續委託貴所進行海氣象觀測，今天簡報資料僅引用83/10～84/03六個月短期統計資料，是否能納入舊資料進行長期間之統計，其結果較具客觀性。 3. 就多年來辦理港口擴建經驗歸納各方建議供參研。	1. 在台灣，受東北季風影響之明顯港埠為基隆港與台中港，風速比較資料可參見貴局"台中港港口擴建計畫評估研究"，1988年4月之研究報告8-5頁圖8-2及其比較說明。 2. 本研究主要在探討台中港現況港口可能面對之問題與障礙，港口之波、流資料必須以現況資料驗證方具時效且有意義，此點係參照期中報告審查會部分委員意見辦理，現況與過去之海氣象資料及統計分析參見期末報告2-2與4-2等節之說明。 3. 感謝提供各方建議供參研，大部分之建議於期末報告中已盡量參酌考量，參見期末報告第四至第七章。
港務長	1. 請提供在現況港口佈置狀況下，3,000TEU級貨櫃輪於多少風速時無法進港。 2. 北防波堤延伸713公尺後效益如何?對貨櫃輪進港之影響如何?	1. 3,000TEU級大型船舶在進港階段風與流之影響同時存在，本研究依據操船模擬結果僅能研判其進泊尚有危險顧忌，對於極限條件並未專案加以探討。 2. 北防波堤再延伸主要係為解決現況在海氣象惡劣條件下領港登輪及船跡穩定等問題，詳細評估及影響參見期末報告7-1-2及7-4節。

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
	3. 在二港口位置先行破堤設置涵洞之建議很好，至少可排出部分海水以改善港內水質。	3. 非本案研究範圍及項目所含括，本案亦未提列該項建議。
總工程司	報告內有關研究主題減風設施之內容不夠充實，請予以加強。	減風設施本研究已依合約項目竭力配合辦理，並提出專題研究報告，當然尚有不足之處，待後續研究配合充實評估。
副局長 (書面意見)	1. 期中、期末報告之審查意見，及本案有關之座談會討論事項，均應列表詳述辦理情形，並應附列於報告內。	1. 已遵照辦理。
	2. P.6-19表6-7-1之減風設施高度係數係隨透風率之增加而遞減，唯依P.6-28圖6-4-2以中密度之減風效果最佳，似乎有矛盾，請詳細分析採用表6-7-1之原因及其理論依據。	2. 減風設施之設計取決於孔隙率、孔隙形式、減風目標、減風高度及減風距離，目前皆以風洞試驗方法研究，重要之減風機制請參見期末報告6-4-1節及參考文獻17之說明，表6-7-1之分析係依據圖6-7-8之試驗結果求得，其計算方式係先定透風率，再由減風目標定等風速曲線，由該曲線之最大x/h比值求得所謂之減風設施高度係數，再將減風距離代入可得減風設施高度如表6-7-1。感謝副局長之細心指正。
	3. 減風設施均未考慮樁之材質如係RC或PC樁應考慮施工時之裂縫處理？如係鋼管樁則應考慮防蝕處理。	3. 減風設施之基礎依本研究之可能設置位置評估，其將須沿北防波堤港外側打樁施工構建，目前僅就設施之整體，分析靜力學受力並做初步設計及評估，樁材質之選用及維護確應於細步設計及構建時考量。
	4. 操船模擬時，風、浪、流等條件之變化範圍設定為何？	4. 操船模擬之風浪流條件參見期末報告第五章5-7節之說明。

學者專家及與會單位	意見及建議	辦理情形及答覆與說明
局長	1. 一港口儘量改善，但二港口一定要開，若二港口確定要開，一港口是否還要那麼多錢來改善？北防波堤若不延長二港口要如何開，若延長則二港口又要如何開。	1. 本案研究之近程及遠程改善對策主要係針對現況港口設施與措施研提可行之對策，詳見期末報告第七章，第二港口之開闢可解決現況一港口在惡劣海氣象條件下進泊大型船舶所須面對之問題及待克服之障礙，唯二港口之規劃、設計應盡量考量現況一港口所面對之問題，參見期末報告7-4節之說明。
	2. 拖船在港內一定要配合，在港外則不需要。	2. 拖船港內助航措施若可達成，則南內堤即可不必拆遷，故現階段台中港應積極試行、演練拖船港內助航措施，可行之拖船助航方式參見期末報告7-1-4節(2)及(3)項之說明。
	3. 港研所既然承辦本局委託研究案，不可以時間及經費之理由搪塞，卻只是提出問題而由出錢單位(港務局)解決。	3. 本所所有直接參與本案研究之人員及協辦單位皆已竭盡心力，負責盡職，戮力完成合約規定工作項目及預期計畫目標並如期提送研究報告，應無推諉搪塞之情事。尚請鑑察。
主席結論	1. 各委員意見請納入期末報告內重新修訂。 2. 請港研所於三週內提出期末報告修訂稿送局審核。	1. 依合約事項，參酌各委員意見辦理。 2. 遵照辦理。