

高雄港港池淤沙調查研究(2-2)

第二年報告

委託單位：交通部高雄港務局

執行單位：交通部運輸研究所

中華民國九十三年

摘 要

本研究計畫以現場資料整理分析、現場調查分析、實驗室試驗及數值模擬分析等方式，分別針對高雄港港池淤泥來源及底泥流動特性執行六個工作項目：1.港池淤泥來源及底質調查分析，2.高雄港外海波浪與海流觀測分析，3.港池流況分析，4.港池淤泥流動及沉降分析，5.港池淤泥傳輸分析及 6.港池淤泥之防治對策評估。研究結果指出注入港池的仁愛河、第五船渠、前鎮河及鹽水溪等水道，因河床中仍處處積滿淤泥，在洪汛時期會因洪流帶動底泥再懸浮，輸送大量淤泥進入港池內。由港區底質取樣分析結果顯示港口外的漂沙活動會將細沙帶到港口附近，在潮流帶動下部份進入一港口與二港口的防波堤內，一港口的外海漂沙可以到達迴船區；但是二港口的外海漂沙只到達航道出口處，也許有部份進入二港口以南水域。此外，港池內絕大部份水域底質以 $10\ \mu\text{m}$ 左右的細淤泥為主，與各河川入口底質相同，因此高雄港港池內淤泥主要還是來自注入港區的河川及船渠水道。懸浮質濃度調查結果亦指出各河川、船渠水道水有較大濁度是主要污染來源。分析港區各處之淤泥樣本，顯示高雄港港池中靠近一港口附近之淤泥應來自於仁愛河、第五號船渠運河及部份前鎮河之供應；反之，二港口附近之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。由外海經一港口及二港口進入港區之漂沙影響範圍只限於港口附近，且輸沙量不大，因此港池淤泥之防治對策應針對四條注入港池之主要河川與船渠水道之淤泥清運與污水整治著手。

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
表目錄.....	VII
圖目錄.....	IX
照片目錄.....	XIV
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-2
1.2.1 港口流況調查.....	1-2
1.2.2 底泥流動特性.....	1-2
1.2.3 凝聚性沉降傳輸.....	1-3
1.3 高雄港港池淤泥之可能來源.....	1-5
1.3.1 前鎮河.....	1-5
1.3.2 仁愛河.....	1-5
1.3.3 第五船渠.....	1-6
1.3.4 鹽水溪.....	1-6
1.3.5 第一港口.....	1-6

1.3.6 第二港口.....	1-7
1.4 工作項目與內容.....	1-8
第二章 理論說明.....	2-1
2.1 河川輸沙結構說明.....	2-1
2.2 液泥層輸沙之理論說明.....	2-3
2.3 底泥輸沙之理論說明.....	2-5
2.4 港口懸浮輸沙.....	2-7
2.5 淤泥傳輸數值模式.....	2-9
2.5.1 簡介.....	2-9
2.5.2 方法.....	2-10
第三章 港池淤泥來源現場調查分析.....	3-1
3.1 港池淤泥來源之現場調查與分析.....	3-1
3.1.1 仁愛河流況與懸浮質濃度觀測.....	3-1
3.1.2 前鎮河流況與懸浮質濃度觀測.....	3-11
3.1.3 鹽水溪河口流況與懸浮質濃度觀測.....	3-31
3.1.4 一港口流況與懸浮質濃度觀測.....	3-39
3.1.5 二港口流況與懸浮質濃度觀測.....	3-43
3.1.6 第五船渠流況與懸浮質濃度觀測.....	3-46
第四章 港區懸浮質與底質調查分析.....	4-1
4.1 港區懸浮質濃度觀測與分析.....	4-1

4.2 港區底質取樣與分析.....	4-4
4.2.1 底質取樣作業及分析方法.....	4-4
4.2.2 底質粒徑分析結果及說明.....	4-4
第五章 高雄港外海波浪與海流觀測分析.....	5-1
5.1 觀測方式及說明.....	5-1
5.1.1 海流觀測.....	5-1
5.1.2 波浪觀測.....	5-1
5.1.3 海水位觀測.....	5-2
5.2 觀測調查期間天氣概述.....	5-2
5.2.1 天氣概述.....	5-2
5.2.2 現場工作概況.....	5-7
5.3 海流調查分析.....	5-19
5.3.1 海流現場調查資料分析.....	5-19
5.3.2 海流資料比較分析.....	5-23
5.4 波浪及海水位調查分析.....	5-39
5.4.1 波浪現場調查分析.....	5-39
5.4.2 波浪資料比較分析.....	5-40
5.5 觀測結果說明.....	5-65
第六章 港池淤泥侵淤調查與流況分析.....	6-1
6.1 全區水深侵淤變化.....	6-1

6.1.1 分析方法.....	6-1
6.1.2 結果說明.....	6-2
6.2 船席浚挖量分析.....	6-12
6.3 船席侵淤量分析.....	6-19
6.3.1 分析方法.....	6-19
6.3.2 結果說明.....	6-19
6.4 流況分析.....	6-23
6.4.1 風力.....	6-23
6.4.2 浪.....	6-24
6.4.3 潮汐.....	6-28
6.4.4 海流.....	6-30
6.4.5 結果說明.....	6-33
第七章 港池淤泥之流動及沈降分析與傳輸分析.....	7-1
7.1 港池淤泥之流動及沈降分析.....	7-1
7.1.1 研究方法與步驟.....	7-1
7.1.2 資料分析.....	7-3
7.1.3 結果說明.....	7-23
7.2 淤泥之污染源傳輸分析.....	7-24
7.2.1 模式結果.....	7-27
7.3 成果說明.....	7-45

7.3.1 防制對策評估.....	7-45
第八章 結論與建議.....	8-1
參考文獻.....	9-1
誌謝.....	10-1

表 目 錄

表 1.1 高雄港近五年來港口浚疏量(單位：m ³).....	1-8
表 4.1 泥沙之分類.....	4-4
表 4.2 港區底質取樣點座標、D50 及位置說明.....	4-7
表 5.1 民國九十三年西北太平洋颱風概況.....	5-5
表 5.2 中央氣象局康森颱風警報單.....	5-6
表 5.3 高雄港流況調查觀測紀錄.....	5-9
表 5.4 高雄港流況調查觀測紀錄.....	5-10
表 5.5 高雄港流況調查觀測紀錄.....	5-11
表 5.6 高雄港一港口海流觀測作業所獲得之有效資料時間表.....	5-12
表 5.7 高雄港二港口海流觀測作業所獲得之有效資料時間表.....	5-12
表 5.8 高雄港一港口波浪觀測作業所獲得之有效資料時間表.....	5-12
表 5.9 高雄港二港口波浪觀測作業所獲得之有效資料時間表.....	5-12
表 5.10 高雄港一港口海水位觀測作業所獲得之有效資料時間表.....	5-13
表 5.11 高雄港二港口海水位觀測作業所獲得之有效資料時間表.....	5-13
表 5.12 「高雄港港池淤沙調查研究---流況調查分析」現場觀測工作紀要	5-14
表 5.13 高雄港一港口海流春季第二次觀測統計表.....	5-21
表 5.14 高雄港二港口海流春季第二次觀測統計表.....	5-21
表 5.15 高雄港一港口海流颱風季觀測統計表.....	5-21
表 5.16 高雄港二港口海流颱風季觀測統計表.....	5-21
表 5.17 高雄港一港口海流夏季第一次觀測統計表.....	5-22
表 5.18 高雄港一港口海流夏季第二次觀測統計表.....	5-22
表 5.19 高雄港二港口海流夏季第二次觀測統計表.....	5-22
表 5.20 高雄港一港口海流秋季觀測統計表.....	5-22
表 5.21 高雄港二港口海流秋季觀測統計表.....	5-22
表 5.22 高雄港 三站海流第一次觀測比較表.....	5-24
表 5.23 高雄港 三站海流第二次觀測比較表.....	5-25
表 5.24 高雄港 三站海流第三次觀測比較表.....	5-26
表 5.25 高雄港 三站海流第四次觀測比較表.....	5-27
表 5.26 流速大於 1 節百分比.....	5-28
表 5.27 各月最多流向.....	5-28

表 5.28	高雄港一港口春季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-41
表 5.29	高雄港二港口春季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-41
表 5.30	高雄港一港口春季第二次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-42
表 5.31	高雄港二港口春季第二次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-42
表 5.32	高雄港一港口颱風季觀測波高及週期聯合發生機率統計表.....	5-43
表 5.33	高雄港二港口颱風季觀測波高及週期聯合發生機率統計表.....	5-43
表 5.34	高雄港一港口夏季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-44
表 5.35	高雄港二港口夏季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-44
表 5.36	高雄港二港口夏季第二次觀測波高及週期聯合發生機率統計表...	5-45
表 5.37	高雄港一港口秋季觀測波高及週期聯合發生機率統計表.....	5-45
表 5.38	高雄港二港口秋季觀測波高及週期聯合發生機率統計表.....	5-46
表 5.39	高雄港一港口波浪觀測統計表.....	5-47
表 5.40	高雄港二港口波浪觀測統計表.....	5-47
表 5.41	高雄港一港口水位觀測統計表.....	5-47
表 5.42	高雄港二港口水位觀測統計表.....	5-47
表 6.1	全區域侵淤量計算.....	6-4
表 6.2	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域一.....	6-4
表 6.3	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域二.....	6-4
表 6.4	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域三.....	6-5
表 6.5	局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域四.....	6-5
表 6.6	3,4,5,6 船席侵淤量 (單位 : M3/半年)	6-20
表 6.7	13,14 船席侵淤量表 (單位 : M3/半年)	6-20
表 6.8	67,68 船席侵淤量表 (單位 : M3/半年)	6-20
表 6.9	115,116 船席侵淤量表 (單位 : M3/半年)	6-21
表 6.10	波浪資料綜合比較表.....	6-26
表 6.11	高雄港外海各方向各迴歸期設計波高分析表.....	6-27
表 6.12	第二港口驗潮站各種潮汐統計表.....	6-29
表 6.13	第 10 號碼頭驗潮站各種潮汐統計表(單位 : 公尺).....	6-29
表 6.14	高雄地區潮汐調合分析成果表.....	6-29
表 7.1	淤泥樣本之含水量分析.....	7-16
表 7.2	11 處淤泥樣本之粒徑分析.....	7-17

圖 目 錄

圖 2.1 四個層次之河川輸沙層結構.....	2-2
圖 2.2 垂直方向 σ 座標系統之示意圖.....	2-13
圖 3.1 港區主要淤泥來源出入口測站位置圖.....	3-5
圖 3.2 仁愛河治平截流站及水質測點位置.....	3-6
圖 3.3 截流站上游測點 A18 之垂直剖面流、懸浮質、溫度與鹽度分佈....	3-7
圖 3.4 截流站下游測點 A17 之垂直剖面流、懸浮質、溫度與鹽度分佈....	3-8
圖 3.5 仁愛河測站底床上 20cm 處觀測結果.....	3-9
圖 3.6 仁愛河測站水面下 1m 處觀測結果.....	3-10
圖 3.7 前鎮河高公截流站及水質測點位置.....	3-16
圖 3.8 閘門上游側測點 A42 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈....	3-17
圖 3.9 閘門下游側測點 A40 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈....	3-18
圖 3.10 下游測點 A38 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈.....	3-19
圖 3.11 前鎮河測站底床上 20cm 處觀測結果.....	3-20
圖 3.12 前鎮河測站之水位歷時變化.....	3-21
圖 3.13 前鎮河測站之懸浮質濃度歷時變化.....	3-21
圖 3.14 前鎮河測站之潮位歷時變化.....	3-22
圖 3.15 前鎮河測站底床附近之懸浮質濃度變化.....	3-22
圖 3.16 前鎮河測站底床上 2 米處流速歷時變化.....	3-23
圖 3.17 前鎮河測站底床上 2 米處流向歷時變化.....	3-23
圖 3.18 前鎮河測站之鹽度歷時變化.....	3-24
圖 3.19 前鎮河測站之水溫歷時變化.....	3-24
圖 3.20 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果.....	3-25
圖 3.21 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果.....	3-26
圖 3.22 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果.....	3-27
圖 3.23 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果.....	3-28
圖 3.24 前鎮河測站底床上 50cm 處觀測結果.....	3-29
圖 3.25 前鎮河測站底床上 50cm 處觀測結果.....	3-30
圖 3.26 鹽水溪口測站底泥含水量之垂直分佈.....	3-35
圖 3.27 中鋼測點之剖面溫、鹽與懸浮質濃度分佈.....	3-36

圖 3.28 鹽水溪口測站底床上 3 米位置之儀器觀測結果.....	3-37
圖 3.29 鹽水溪口測站底床上 0.5 米位置之儀器觀測結果.....	3-38
圖 3.30 一港口測站底床附近觀測結果.....	3-41
圖 3.31 一港口測站平均潮位下 1.07m 之觀測結果.....	3-42
圖 3.32 二港口測站儀器位置示意圖.....	3-43
圖 3.33 二港口測站觀測結果.....	3-45
圖 3.34 測點 A13 測得之剖面流與懸浮質濃度分佈.....	3-48
圖 3.35 測點 A35 測得之剖面溫、鹽與懸浮質濃度分佈.....	3-49
圖 3.36 測點 A36 測得之剖面溫、鹽與懸浮質濃度分佈.....	3-50
圖 4.1 港區懸浮質濃度分佈圖(I).....	4-2
圖 4.2 港區懸浮質濃度分佈圖(II).....	4-3
圖 4.3 港區底質粒徑分析圖(I).....	4-9
圖 4.4 港區底質粒徑分析圖(II).....	4-10
圖 4.5 港區底質粒徑分析圖(III).....	4-11
圖 4.6 港區底質粒徑分析圖(IV).....	4-12
圖 4.7 港區底質取樣點位置示意圖(I).....	4-13
圖 4.8 港區底質取樣點位置示意圖(II).....	4-14
圖 5.1 高雄港流況調查 觀測站位置.....	5-3
圖 5.2 高雄港三站海流第一次觀測比較時間序列.....	5-29
圖 5.3 高雄港三站海流第二次觀測比較時間序列.....	5-30
圖 5.4 高雄港三站海流第三次觀測比較時間序列.....	5-31
圖 5.5 高雄港三站海流第四次觀測比較時間序列.....	5-32
圖 5.6 高雄港三站海流第一次觀測相關分析.....	5-33
圖 5.7 高雄港 三站海流第二次觀測相關分析.....	5-34
圖 5.8 高雄港 三站海流第三次觀測相關分析.....	5-35
圖 5.9 高雄港三站海流第四次觀測相關分析.....	5-36
圖 5.10 高雄港一港口及二港口海流第一與第二次觀測相關分析.....	5-37
圖 5.11 高雄港一港口及二港口海流第三與第四次觀測相關分析.....	5-38
圖 5.12 高雄港一港口 春季潮波儀第一次觀測時間序列.....	5-48
圖 5.13 高雄港二港口 春季潮波儀第一次觀測時間序列.....	5-49
圖 5.14 高雄港一港口 春季潮波儀第二次觀測時間序列.....	5-50
圖 5.15 高雄港二港口 春季潮波儀第二次觀測時間序列.....	5-51
圖 5.16 高雄港一港口 颱風季潮波儀觀測時間序列.....	5-52

圖 5.17 高雄港二港口 颱風季潮波儀觀測時間序列.....	5-53
圖 5.18 高雄港一港口 夏季潮波儀第一次觀測時間序列.....	5-54
圖 5.19 高雄港二港口 夏季潮波儀第一次觀測時間序列.....	5-55
圖 5.20 高雄港二港口 夏季潮波儀第二次觀測時間序列.....	5-56
圖 5.21 高雄港一港口 秋季潮波儀觀測時間序列.....	5-57
圖 5.22 高雄港二港口 秋季潮波儀觀測時間序列.....	5-58
圖 5.23 高雄港三站四季波高週期時間序列.....	5-59
圖 5.24 高雄港 93 年 1 月及 2 月風向風速時間序列.....	5-60
圖 5.25 高雄港 93 年 3 月及 4 月風向風速時間序列.....	5-61
圖 5.26 高雄港 93 年 5 月及 6 月風向風速時間序列.....	5-62
圖 5.27 高雄港 93 年 7 月及 8 月風向風速時間序列.....	5-63
圖 5.28 高雄港 93 年 9 月及 10 月風向風速時間序列.....	5-64
圖 6.1 水深侵淤變化分析工作流程圖.....	6-2
圖 6.2 港區分區圖.....	6-3
圖 6.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(1/3).....	6-6
圖 6.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(2/3).....	6-7
圖 6.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(3/3).....	6-8
圖 6.4 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域一.....	6-9
圖 6.5 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域二.....	6-10
圖 6.6 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域三.....	6-11
圖 6.7 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域四.....	6-12
圖 6.8 船席位置圖.....	6-14
圖 6.9 不同年份各船席年浚挖量分析.....	6-15
圖 6.10 不同年份月浚挖分析比較(1/3).....	6-16
圖 6.10 不同年份月浚挖分析比較圖(2/3).....	6-17
圖 6.10 不同年份月浚挖分析比較圖(3/3).....	6-18
圖 6.11 89-92 年每半年部份船席區侵淤結果.....	6-21
圖 6.12 a 不同代表船席侵淤結果及 b 相對應之水深資料.....	6-22
圖 6.13 高雄地區全年風玫瑰圖(1984.1 2001.12).....	6-23
圖 6.14 高雄地區各月風玫瑰圖(1984.1 2001.12).....	6-24
圖 6.15 高雄港 2001 年海流玫瑰分布.....	6-30
圖 6.16 四季合成流分布(1/2).....	6-31
圖 6.17 四季合成流分布(2/2).....	6-32

圖 7.1	樣本採樣點區位圖.....	7-2
圖 7.2	淤泥沈降曲線圖（七天）.....	7-3
圖 7.3	淤泥沈降曲線圖（一天）.....	7-4
圖 7.4	B.第一船渠口與新碼頭交會處.....	7-5
圖 7.5	B.第一船渠口與新碼頭交會處沈降實驗界面變化.....	7-5
圖 7.6	C.愛河口.....	7-6
圖 7.7	C.愛河口沈降實驗界面變化.....	7-6
圖 7.8	D.第五號船渠口.....	7-7
圖 7.9	D.第五號船渠口沈降實驗界面變化.....	7-7
圖 7.10	E.新舊港交會處.....	7-8
圖 7.11	E.新舊港交會處沈降實驗界面變化.....	7-8
圖 7.12	F.前鎮河口.....	7-9
圖 7.13	F.前鎮河口沈降實驗界面變化.....	7-9
圖 7.14	G.前鎮漁港口.....	7-10
圖 7.15	G.前鎮漁港口沈降實驗界面變化.....	7-10
圖 7.16	H.二港口出外港處.....	7-11
圖 7.17	H.二港口出外港處.....	7-11
圖 7.18	I.大林發電廠與中船前交會航道.....	7-12
圖 7.19	I.大林發電廠與中船前交會航道沈降實驗界面變化.....	7-12
圖 7.20	K.中鋼河道口.....	7-13
圖 7.21	K.中鋼河道口沈降實驗界面變化.....	7-13
圖 7.22	中鋼排水溝上游.....	7-14
圖 7.23	中鋼排水溝上游沈降實驗界面變化.....	7-14
圖 7.24	前鎮河上游.....	7-15
圖 7.25	前鎮河上游沈降實驗界面變化.....	7-15
圖 7.26	各淤泥樣本之粒徑分佈.....	7-22
圖 7.27	高雄港區地理位置之示意圖.....	7-24
圖 7.28	C-Map 資料庫實測地形水深點的分佈.....	7-25
圖 7.29	模式 150×50 水平網格點的區域分佈圖.....	7-25
圖 7.30	模式區域的地形水深圖.....	7-25
圖 7.31	大範圍潮汐模式水位驗證。上圖表示邊界上一處從 NAO99b 的預測潮位資料與高雄港潮位觀測站潮位之比較。下圖為模式結果與潮位站潮位資料之比較。.....	7-29

圖 7.32	模式二十天時的潮流與潮位分布圖.....	7-29
圖 7.33	第一港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-30
圖 7.34	第一港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。.....	7-31
圖 7.35	第一港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。.....	7-32
圖 7.36	第一港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。.....	7-33
圖 7.37	第一港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。.....	7-34
圖 7.38	第一港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。.....	7-35
圖 7.39	第二港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-36
圖 7.40	第二港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-37
圖 7.41	第二港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-38
圖 7.42	第二港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-39
圖 7.43	第二港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-40
圖 7.44	第二港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。.....	7-41
圖 7.45	模式模擬十天後第一港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度.....	7-42
圖 7.46	模式模擬十天後第二港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度...	7-42
圖 7.47	模式模擬十天後第一港口區域底層潮流加上 5 ms^{-1} 均勻北風風場的流場及淤泥沉積的厚度.....	7-43
圖 7.48	模式模擬十天後第二港口區域底層潮流加上 5 ms^{-1} 均勻北風風場的流場及淤泥沉積的厚度.....	7-43

照片目錄

照片 3.1	剖面流觀測使用之海流儀、濁度計及鹽溫計.....	3-3
照片 3.2	仁愛河河口觀測站潛水人員收儀器情形.....	3-3
照片 3.3	截流站閘門阻擋上游垃圾及污水情形.....	3-4
照片 3.4	由橋面垂放儀器觀測截流站上游河水水質情形.....	3-4
照片 3.5	前鎮河如墨汁般的河面惡臭難聞.....	3-13
照片 3.6	前鎮河口觀測站潛水人員在污水中安裝儀器情形.....	3-13
照片 3.7	前鎮河暗紅色污水.....	3-14
照片 3.8	前鎮河墨綠色污水.....	3-14
照片 3.9	前鎮河高公截流站閘門下游河面.....	3-15
照片 3.10	前鎮河高公截流站閘門上游河面.....	3-15
照片 3.11	位於中鋼碼頭旁的鹽水溪入海口.....	3-32
照片 3.12	鹽水溪上游河床淤泥累積情形.....	3-32
照片 3.13	底質鑽採用不鏽鋼底泥鑽管.....	3-33
照片 3.14	由中鋼海域向港區擴散的表層污水.....	3-33
照片 3.15	中鋼碼頭旁佈放儀器情形.....	3-34
照片 3.16	佈放水中沾滿污泥的觀測儀器.....	3-34
照片 3.17	一港口觀測儀器安裝作業情形.....	3-40
照片 3.18	觀測完成收回之觀測儀器.....	3-40
照片 3.19	安裝於二港口觀測站之海流儀、濁度計與水位計.....	3-44
照片 3.20	觀測儀器安裝作業情形.....	3-44
照片 3.21	第五船渠出口處之水泥樁圍欄.....	3-47
照片 3.22	中山路第五船渠新建截流站閘門.....	3-47
照片 5-1	民國 93 年 04 月 02 日錨碇座及海流觀測儀器安置於高雄港海研 三號後甲板準備進行春季海流觀測作業.....	5-15
照片 5-2	錨碇座於海研三號後甲板進行下放作業.....	5-15
照片 5-3	作業人員搭乘橡皮艇前往錨碇點安裝海流觀測儀器.....	5-15
照片 5-4	作業人員在橡皮艇上將觀測儀器交潛水人員.....	5-16
照片 5-5	一港口海流觀測儀器安放後狀況.....	5-16
照片 5-6	二港口海流觀測儀器安放後狀況.....	5-16

照片 5-7 作業人員重新設計製作錨碇座.....	5-17
照片 5-8 錨碇座正在進行灌漿作業.....	5-17
照片 5-9 海流觀測收放作業使用之工作船.....	5-17
照片 5-10 觀測儀器安放在新錨碇座之狀況.....	5-18
照片 5-11 觀測儀器安放在錨碇座並以繩索固定.....	5-18
照片 5-12 春季海流觀測儀器回收後之狀況.....	5-18

第一章 前言

1.1 計畫緣起

高雄港位於臺灣西南海岸，受冬季東北風、夏季西南風及颱風等影響，沿岸漂沙以動態不平衡方式沿著海岸往優勢方向移動。附近河川如高屏溪、後勁溪、二仁溪及曾文溪等皆為主要海岸輸沙來源。但是沿岸突出海岸之港灣建設如一港口與二港口之防波堤，則對沿岸漂沙之平衡系統投出變數。截斷沙源，改變近岸流場，造成港外附近海岸的侵蝕或堆積。雖然沿岸漂沙可能受突出海岸之海堤阻隔，部份細微懸浮顆粒則可能在浪大時隨潮流進入港池內。

高雄港形勢天成，地理條件優越，左有狹長沙洲屏蔽，港域幅員遼闊，腹地廣大。唯港池內另有兩條主要河川，即仁愛河與前鎮河，在都市不斷發展下，工業廢水及家庭污水帶來嚴重污染。在過去環保意識不彰情形下，廢水污泥直接排入高雄港港池內。根據高雄港五年來港口浚疏量統計，每年平均浚疏量約為 109 萬立方公尺，其中在航道部份約 45 萬立方公尺，船席方面 15 萬立方公尺，所費不貲，且影響航商營運。

為瞭解高雄港港池淤沙之主要來源，採行有效防治措施，以減少浚疏維護成本，並為符合海洋污染防治法之規定，作為浚挖分類之依據，避免增加營運成本。有必要對港池淤沙來源及其移動特性作深入探討，才能有效研擬適當之港池淤積防治對策，降低營運成本，提升競爭力。

1.2 文獻回顧

高雄港長期以來接受仁愛河、第五船渠、鹽水溪與前鎮河之污水排放及一、二港口之懸浮漂沙影響，在港池內累積了大量淤泥。港務局多年來曾委託國立高雄海洋技術學院針對港區淤泥、生態及水質進行監測工作(陳等，2002)。監測結果發現港外區域以砂質沉積物為主，分佈較為均勻，各項物理化學性質變化亦較小;而港內區域則累積較多細粒沉積物及有機污染物。另外由粒徑分析(Liu et al.,1995)及比對高雄海域海岸沉積物礦物成份與鄰近河川上游河床沉積物礦物成份(楊等,2003)，皆指出該海域沿岸漂沙優勢方向往北，海岸沉積物來自高屏溪的可能性較大。

1.2.1 港口流況調查

在波浪與沿岸流作用下，港外近岸地區可能有強烈的漂沙活動，由於一、二港口的防波堤皆向海方向延伸數百公尺，大部份沿岸漂沙會被阻隔於港口防波堤外側，但是較細懸浮顆粒有可能隨著潮流進入港池內，而港池內的靜穩水域則給懸浮顆粒有沉澱到底床上的機會(Hayes,1991)。根據孫等(1999)以超音波式剖面流速儀 ADCP 在一、二港口觀測剖面流場結果，指出一港口流速較二港口流速大，漲潮期間海流大多前期由一港口向內流後期流向相反;二港口之海流前期向外流後期流向相反，退潮時則流向相反;且退潮時一、二港口同進同出的情形較漲潮時多。曾、蘇和周(1997)則於港域內不同地點進行現場量測，結果顯示港內流速甚小約只有 10cm/s，一港口最大流速可達 60cm/s，而二港口流速較小約為 20~25cm/s，同時在港池中間似乎存在有流停滯點。以上觀測結果顯示雙港口港池流場的複雜性。

1.2.2 底泥流動特性

周(1984)以試驗方式探討石門水庫淤泥之流動特性，由毛細管黏度計試驗檢定淤泥為 Bingham 流體，且其懸浮顆粒在沉降試驗時於不同濃度下會有不同之沉降形態與速度。Odd and Rodger (1986)認為河口

底泥也是一種 Bingham 流體，取樣試驗結果得其降伏應力(yield stress)為 0.1 N/m^2 。河口地區多為感潮河段，容易形成鹽楔侵入，懸浮微粒會因鹽份而絮凝成大顆粒絮集體(aggregate)，沉降至河底，成為底泥之來源(Burban et al.,1989 & 1990)。

Maa et al. (1993)及 Amos et al. (2003)皆直接將海底水槽(Sea Carousel)置於海底底床上以量測淤泥之臨界剪應力(critical bed shear stress)，避免在取樣過程中改變現場淤泥之狀態與應力特性。河口之淤泥結構一般可分為四個部份，即水層(water column)、液泥層(fluid-like mud layer)、軟泥層(soft mud layer)與硬泥層(stiff mud layer)。其中液泥層與軟泥層具有較陡之斜密度層(lutocline)，且泥-水界面(fluid mud-water interface)會因水流之剪力作用形成 K-H billows 將泥水捲入(Scarlatos and Metha, 1993)。在河口由液泥層形成之濁流則與潮流變化有密切關係(Le Hir et al., 1992 & 1993; Nicholas et al., 1993)。

1.2.3 凝聚性沉降傳輸

按 Wang et al.(1985)關於圓柱沉降的實驗與數值分析結果得知，污水中的沈澱物與稀釋過的海水混和，則凝結與沈降將會同時發生，此外，舊有的方法對非凝聚性的顆粒可以作有效的分析，但要分析具有凝聚性質的顆粒時，例如污泥等，沈降與凝結的相關性就會發生混淆，原因是當顆粒凝結時沈降速度也會隨之改變，若繪出濃度與時間的關係圖，僅考慮凝結過一次，則可繪出其為一直線，但也可斷定如果時間很短（100 分鐘）或很長時間（10000 分鐘）則圓柱沈降實驗則不太能符合線性關係，其原因有二：

- a.實驗用的圓管比前人使用的高。
- b.沈降實驗，是在靜止的環境中，而在前人的實驗中有一剪力在影響。

至於凝聚性沈降傳輸機制之模擬與分析，按陳(1999)之研究結果顯示，凝聚性沈降落淤和流速、臨界沈積剪應力、入流濃度、及沈降速度有關，其中沈降速度應該考慮濃度的影響，而粒徑因素可以忽略，完整的沖刷機制應該考慮表層沖刷、塊狀剝蝕及底床壓密，其中壓密

更是凝聚性沈澱與非凝聚性沈澱最大的差異在一般文獻均以 $60\ \mu\text{m}$ 作為凝聚性沈澱 (cohesive sediment) 與非凝聚性沈澱 (non-cohesive sediment) 之分界，同時，沈澱本身之重力以及受到的浮力為其物理力，分子與分子間的凡得瓦力鍵以及離子鍵為其作用之化學力，凝聚作用後，粒子與粒子間結合成剪力強度較大的絮狀 (flocs) 或是團狀物 (aggregate)，他又指出 Krone(1962) 的實驗結果，定義出一臨界沈積剪力，當底床剪應力小於這臨界沈積剪應力時，則懸浮的沈澱最後都會落淤下來，當底床剪應力大於臨界沈積剪應力時，則懸浮的沈澱只有極少數部分會落淤，懸浮物濃度會達到平衡濃度，懸浮質落淤到底床一段時間後，底床與這些落淤的懸浮質開始緊緊結合，產生較緊密的底床，底床密度變大，孔隙率變小，剪力強度增加，再過一段長時間，底床上有新的沈積，而先前的沈積則因這些新沈積物以及水的重量壓迫下，變為更為堅固的底床，此即為凝聚性沈澱的壓密。在入海口附近落淤之凝具性沈澱其比重大，亦可以表示在沈澱落淤過程中其沈降速度比較大。凝聚性沈澱的沈積與沈澱的沈降速度有很大的關係，當凝聚性沈澱膠結以後，其沈降速度會比原來單顆粒粒子還大許多，通常沈降速度並不是一常數，他會隨著沈積行為發生而慢慢變小。

Erik & Berlamont(1993)關於凝聚性漂砂沉降與壓密的數學模擬與試驗研究指出，因真實土壤是由多種成分構成，故實驗中分成具有凝聚力的黏土與粗操無凝聚力的土，另在圓管沉澱實驗中，粗操的顆粒先沉澱並形成底層，具有凝聚力的顆粒沉澱在上方，當具有凝聚力的顆粒壓密後，形成不可穿透的情形。此時乾密度會到達一 peak 值。但土壤在進入過度階段時沉降率會變低，至壓密時沉降率會漸漸趨於穩定。若在圓柱沉降實驗把泥土的總量分五份，每禮拜倒一份，可觀察到後來傾倒的泥土沉澱在已壓密的底層上，且沈澱是成層的覆蓋在已壓密的底層上。

1.3 高雄港港池淤泥之可能來源

欲採行有效防治措施，以減少高雄港浚疏維護成本，首先須瞭解港池淤泥之來源與特性。仁愛河、第五船渠、鹽水溪、前鎮河及一、二港口皆為高雄港港池與外界相連之主要出、入水口，港池內淤泥之來源必然與此六個出入口有關，在無法完全封閉所有出入口情況下，顯然必須尋找出較重要的輸沙來源，並研擬較佳之因應對策以減少淤泥量之累積。

1.3.1 前鎮河

前鎮河全長二十餘公里，上游源自高雄縣大樹鄉九曲堂一帶，流經大寮、鳳山、及本市小港區、前鎮區，排入高雄港，流域面積約 5400 公頃。流域內共吸納七百餘家工廠廢污水及畜牧廢水。再加上流域流經之人口稠密都會區，家庭廢水也大量排入河川，致使河川遭受嚴重污染，被環保署列為嚴重污染河川，河水烏黑薰臭了無生趣，被民眾謔稱為「黑龍江」。高雄市政府自民國七十九年起即訂定前鎮河整治實施計畫，採截流方式將排入鳳山溪的污染阻絕，輔以河道底泥清疏，提昇河川自淨能力，並配合管制事業廢水全力推動河堤整建及水質改善工程。根據環保署歷年相關資料顯示前鎮河溶氧量增加，水中懸浮固體量減少，河川水質似已有逐漸改善的趨勢。

1.3.2 仁愛河

仁愛河為高雄市的生命之河，由高雄縣仁武鄉八卦寮源起，越過高雄市區後，於鹽埕區及苓雅區交接端注入高雄港第一港口，主流全長約 12 公里。仁愛河為感潮河川，河川水位受高雄港海水的漲退潮影響，潮汐平均落差約 0.72 公尺。

仁愛河的工業污染始於日據中期。1931 年以後，因南進政策需要，高雄成為南部工業重鎮。臺灣光復後，高雄的工廠大量增加，仁愛河的污染日劇，人口方面亦呈現激增現象。1946 年光復時的高雄人

口大約 13 萬人，但到 1956 年高雄市的人口已達 44 萬人，超過日據時期高雄市都市計畫的 40 萬人口總數。1965 年高雄前鎮加工出口區設立後，鄰近縣市就業人口大量湧入。過量的人口帶來過量的家庭廢水，河川只有加速死亡。

1971 年龍舟拒絕下河歡度端午，仁愛河宣告死亡，步入「黑河」時期。1979 年高雄市政府開始執行仁愛河整治計畫，經過二十年的努力，仁愛河逐漸復甦，再次成為高雄人眼中的「愛之河」。

1.3.3 第五船渠

第五船渠入海口位於高雄港內中島右側之航道底，為一人工渠道，主流全長不過 1.9 公里。現場勘察得渠道內仍有大量污泥淤積，雖然渠道短且平時排水量少，但在雨季或颱風來臨時仍有可能將淤泥沖刷排入港池內，為港池淤泥來源之一。

1.3.4 鹽水溪

鹽水溪入海口位於高雄港內航道最南端，中鋼碼頭旁，為一大排水溝涵，主流全長約 4.6 公里。上游至山明路與利昌街交接處已是涓涓細流。雖然該溪水平時排水量很少，溪口水流主要為感潮流運動，但在雨季或颱風來臨時仍有可能將淤泥沖刷排入港池內，成為港池淤泥來源之一。

1.3.5 第一港口

第一港口位於高雄港北端，方向向西，為高雄港船隻出入之主要口。南北防波堤向海延伸約八百公尺，至水深約 10 公尺處，雖可避開近岸碎波帶之漂沙活動範圍，但因港口本身為港池潮流之出入水道，在阻斷沿岸漂沙的同時也可能成為較細懸浮顆粒的沉澱池 (Hayes,1991)。一港口海流流速介於 0~40cm/s 之間，流向以向西為主，向東次之(孫等,1999)。

1.3.6 第二港口

第二港口位於高雄港南端，方向指向西北方，為高雄港南段貨櫃碼頭區船隻之主要出入港口。南北防波堤向海延伸約一千三百公尺，至水深約 10 公尺處，避開近岸碎波帶之漂沙活動範圍，但同樣因港口本身為港池潮流之出入水道，在阻斷沿岸漂沙的同時仍可能成為較細懸浮顆粒的沉澱池。二港口海流流速介於 0~20cm/s 之間，較一港口小，流向以西南向為主，北北東次之(孫等,1999)。

1.4 工作項目與內容

綜合以上說明，我們大致瞭解高雄港港池內淤泥之可能來源及其成因。由於港口浚疏作業大都以反應航商需求為主，無法真正顯示港池內淤泥之累積變化情形，不過由民國 87 年至 91 年之年浚疏量統計表看來，如表 1.1，似乎有減少的趨勢。而啣接高雄港港池之四條河川或人工渠道中，第五船渠及鹽水溪皆因主流渠道甚短且平時流量小，污泥供應量有限。仁愛河及前鎮河則因流域大，長久以來接納大量高雄地區之工業廢水及家庭污水，河水污濁難聞，很可能是高雄港港池最主要的污泥供應者。雖然近年來高雄市政府已針對該兩條河川著手進行污水截流、廢水處理、底泥清運等措施，以改善河川之污泥輸運量，不過其成效還須視現場之實際監測結果。

表 1.1 高雄港近五年來港口浚疏量(單位：m³)

87 年度	1,861,990
88 年度	847,172
89 年度	1,349,518
90 年度	915,896
91 年度	479,860
平均	1,090,887

本計畫規劃「高雄港港池淤沙調查研究」之主要工作內容如下：

1. 港池淤泥來源現場調查分析

高雄港港池為西北-東南走向之狹長水域，除一港口及二港口與外海啣接外，由北至南還有仁愛河、第五船渠水道、前鎮河及鹽水溪等主要河川匯流進入港池。由於港池內淤泥的來源主要來自懸浮質沉

降與淤積，而懸浮質則受水流攜帶與運送，因此有必要在港池內各主要入水口及航道上進行長期流況與懸浮質監測，

2. 港區懸浮質與底質調查分析

為瞭解港池懸浮質濃度與底質分佈，在港區內外選擇適當地點進行剖面懸浮質濃度觀測與底質取樣分析，藉以研判港區漂沙活動與淤泥擴散分佈情形。

3. 高雄港外海波浪與海流觀測分析

本計畫在高雄港一港口北側及二港口南側建立海流觀測站，進行一年四次(春、夏、秋及颱風季)之海流剖面、波浪、海水位及水溫觀測作業，提供高雄港港池淤沙調查研究，從而了解港池內各區淤沙之來源。

4. 港池淤泥侵淤分析

針對港池內航道與主要船席進行採樣，並分析相關土壤特性，再從歷年水深檔案之侵淤分析，以作為判斷底泥來源及分類之依據。

5. 港池流況(海氣象及海潮流)分析

海氣象條件與海潮流條件都是傳輸底泥重要驅動力來源，其中波浪與潮汐更是重要的傳輸因子。由於本區以往已有幾次的實測調查分析工作，因此將收集相關資料先行綜合整理，再配合水動力數值模式據以深入分析相關代表性條件。

6. 港池淤泥之流動及沈降分析

由於淤泥之流動及沈降特性直接影響其在水動力影響下之行為，並進而產生不同之傳輸行為與分佈結果，故研究方式將以實驗室試驗分析方式，探討相關行為特性，作為傳輸數值模擬之依據。

7. 淤泥之污染源傳輸分析

淤泥不僅受港池中廢水污染，其傳輸後之分佈行為也會對港池的航行安全造成影響。因此，傳輸分析將針對港內之水動力條件與底泥傳輸行為進行探討，並指出易堆積之區域作為浚泥工程之依據。

8. 結論與建議

根據前面之現場調查與試驗分析可瞭解港池內淤泥之特性、來源及其傳輸行為，針對分析結果將進一步研擬防制對策，並進行評估，評估結果可提供港務局進行相關因應措施擬定。

第二章 理論說明

高雄港港池內淤泥大部份來自注入港池的河川如仁愛河、前鎮河、第五船渠及鹽水溪等，小部份則可能由外海懸浮漂沙經由一、二港口流入港內淤積而成。本章在說明各輸沙來源之輸沙機制以及淤泥傳輸數值模式。

2.1 河川輸沙結構說明

一般河川之細粒懸浮顆粒在入海口處常因遭遇鹽水發生絮凝作用(flocculation)而沉降，並在底床附近形成液泥層(fluid-mud layer)。該液泥層受水流之剪力或液面傾斜之重力作用而移動，同時又因沉降排水逐漸在底床上形成高黏滯性之底泥(bed mud)。流體之黏性對於阻力係數及沉降速度之影響，一般可反映於雷諾數中，但討論懸浮液問題時，流體本身之黏性則不及懸浮液之濃度變化所致黏性之影響重要。

懸浮液之濃度稀薄時，顯示 Newton 黏性;變濃時則顯示非 Newton 黏性，同時具剛性或膠體性。膠化之原因在於懸浮液中之顆粒在濃度超過某一限度後，粒子相互間成立鎖狀結合現象，而在懸浮液中形成新構造，固化成為具有剛性之膠化溶液(Gel)。反之如各顆粒保持獨立之運動而懸浮液仍為液體者，則稱為膠質溶液(Sol)。

根據河川輸沙模式在入海口處，可依其懸浮質含量、流體密度或淤泥特性將剖面結構分為四個層次(Chou et al., 1993)，如圖 2.1 所示，分別為水層(WATER COLUMN)、液泥層(FLUID MUD LAYER)、軟泥層(SOFT MUD LAYER)及硬泥層(STIFF MUD LAYER)等。介於水層與軟泥層之間的液泥層，其流體密度隨深度增加而急遽變化稱為斜密層(lutocline)。一般以插竿法量測得淤泥厚度即為軟泥層之厚度，而 SOFT MUD 與 STIFF MUD 合稱為 COHESIVE BED MUD。底質或懸浮質顆粒之傳輸運動則根據當時流體水力與土壤力學條件而定，液泥層與軟泥層顆粒會受水流界面不穩定(Kelvin-Helmholtz instability)之捲入移動而侵蝕，但兩者分別

有不同之臨界剪應力(critical bed shear stress)。



圖 2.1 四個層次之河川輸沙層結構

液泥層顆粒在靜水時會沉降至軟泥層並逐漸固化為底泥，但在水流侵蝕搬運過程中有可能再度液化進入液泥層。由於液泥層為較高濃度之懸浮液體，在河口之感潮河段可能以濁流(turbidity current)形式隨著潮流向上、下游方向往復移動，但受底床坡度及上游河川排水影響，液泥層輸沙之優勢方向必然為下游方向。由於現場環境影響因素眾多，實際輸沙情形仍需要藉由現場之觀測結果決定之。

另外因軟泥層屬於高黏稠性流體，其流動行為類似 Bingham 流體，有關軟泥層之輸沙機制則有賴現場調查或相關實驗室分析以進一步瞭解其流動特性。

2.2 液泥層輸沙之理論說明

根據 Odd et al. (1993) 在英國 Parrett 河口區之觀察結果，認為液泥層之流體運動可以分為兩個部份，即明顯受邊界黏滯力影響的底層層流次層(laminar sub-layer);以及次層上方的平滑紊流區，其速度剖面呈對數曲線分佈。當層流次層厚度足夠將底床粗糙面(砂粒或砂連結構)完全遮蓋時，其上方即可形成平滑紊流區域。在層流次層內以黏滯力為主，其剪應力與垂直速度梯度成正比，而且液泥層流體並非 Bingham 流體，所以啟始運動時不須要降伏應力(yield stress)。

$$\tau_z = \rho_m \nu_m \frac{du}{dz} \quad (2.1)$$

其中， τ_z ：底床上高度 z 處之剪應力(N/m²)

ρ_m ：流體密度(kg/m³)

ν_m ：流體之運動黏滯係數(m²/s)

du/dz ：垂直方向之水平速度梯度(s⁻¹)

假設液泥層內之剪應力呈線性變化，則

$$\tau_z = \tau_o - (\tau_o - \tau_i) \frac{z}{d_m} \quad (2.2)$$

其中， τ_o ：液泥層之底床剪應力(N/m²)

τ_i ：液泥層之上界面剪應力(N/m²)

d_m ：液泥層之厚度(m)

由(2.1)及(2.2)可得液泥層層流次層內之速度剖面分佈

$$u_1(z) = \frac{\alpha z}{2\nu_m} \left[2 - \frac{\beta z}{\alpha} \right] \quad (2.3)$$

其中， $\alpha = \tau_o / \nu_m$ ， $\beta = (\tau_o - \tau_i) / \nu_m d_m$

層流次層之近似厚度， δ ，可由下式求得(Francis,1958)

$$\delta = \frac{11.6\nu_m}{u_*} \quad (2.4)$$

其中, $u_* = \sqrt{\tau_o / \rho_m}$, $\nu_m = \mu / \rho_m$, μ 為液泥流體之絕對黏滯係數(Ns/m²)。

假設 δ 大於底床粗糙度, 對於沙漣地形其層流次層厚度可能須達 0.2m, 則層流次層上方之平滑紊流區, 其對數剖面之流速分佈可以表示為(Einstein,1950)

$$u_2(z) = 5.75u_* \log_{10} \left[\frac{Bzu_*}{\nu_m} \right] \quad (2.5)$$

其中, B 為常數, 而層流次層頂之流速 $u_1(\delta)$, 則等於 $u_2(\delta)$ 。則平滑紊流區之速度剖面可寫為

$$u_2(z) = 5.75u_* \log_{10} \left[\frac{z}{\delta} \right] + u_1(\delta) \quad (2.6)$$

如將液泥層之速度剖面分佈分為以上兩個部份, 則液泥層之平均速度為

$$\bar{u} = \frac{1}{d_m} \left[\int_0^\delta u_1(z) dz + \int_\delta^{d_m} u_2(z) dz \right] \quad (2.7)$$

將(2.3)與(2.6)代入(2.7)得

$$\bar{u} = \frac{1}{d_m} \left[d_m u_2(d_m) - 2.5u_*(d_m - \delta) - \delta u_1(\delta) + \frac{\alpha \delta^2}{2\nu_m} - \frac{\beta \delta^3}{6\nu_m} \right] \quad (2.8)$$

假設液泥層之懸浮質濃度為一常數, C_m , 則該液泥層之泥通量為

$$q_m = C_m d_m \bar{u} \quad (2.9)$$

由以上理論分析, 似乎可以輕易計算出河口地區液泥層之泥沙輸送量, 只要能得到以下各項參數, 如底床剪應力 τ_o , 泥水界面剪應力 τ_i , 液泥層厚度 d_m , 液泥層內懸浮質平均濃度 C_m , 以及液泥流體之絕對黏滯係數 μ 等。不過, 由於河口地區為感潮河段, 上游河川排水與潮流之相互作用使剖面流場、液泥厚度及濃度變化更趨複雜。因此, 實際輸沙情形仍需藉由現場之觀測結果決定之。

2.3 底泥輸沙之理論說明

港池淤泥屬於黏滯性流體(cohesive sediment)，其傳輸行為包括一些不同之獨立過程，例如：沉降(settling)、擴散(diffusion)、移流(advection)、絮凝(flocculation)、固化(consolidation)及侵蝕(erosion)等。外界對底泥施加的外力基本上有重力或密度差產生的壓力或浮力，單向流的剪力作用，船舶螺旋槳推進時的旋渦紊流以及水面波動形成的底床振盪流。港域內水深大多十米以上，水面靜穩潮流小，所以港內之水面波動與潮流對於底床淤泥之侵蝕與懸浮作用不大。但是港內進出頻繁的船舶，其推進槳葉運轉時容易造成局部淤泥懸浮。高雄港務局為維持航道暢通，也須時常進行施工濬挖，濬挖點附近淤泥會因壓力不平衡而自動往濬深點移流填補。以上情況造成的底泥懸浮或移流基本上都發生在港池內，除濬挖移除之淤泥外並不影響港池整體淤泥量的變化。

注入港池的四條河川或運河，除了最近整治濬挖過的仁愛河之外，根據現場潛水員實地探察結果，其它河川入海口處的河床內都積有大量淤泥。這些淤泥來自上游懸浮質的絮凝沉降累積，第五船渠及鹽水溪雖然平時流量不大，但在河流不斷沖刷作用下極有可能將淤泥輸入港池內。

淤泥之流動與其含水量有密切關係，當淤泥含水量大於其液性限度(liquid limit)時，其液性指數(liquidity index)大於 1，淤泥顆粒呈懸浮狀態，淤泥為牛頓流體。其構造方程式如下

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.10)$$

其中， τ 為作用之剪應力(N/m²)

μ 為絕對黏滯係數(m²/s)

u 為水平流速(m/s)

當淤泥含水量小於其液性限度(liquid limit)而大於塑性限度(plastic

limit)時,其液性指數(liquidity index)介於 0 與 1 之間,淤泥呈塑性狀態,稱為 Bingham 流體。其構造方程式如下

$$\tau = \tau_y + \mu \frac{du}{dy} \quad (2.11)$$

其中, τ_y 為降伏應力(yield stress, N/m^2)。

為瞭解港池內不同位置底泥之組成與流動特性,常須採樣及試驗分析,包括粒徑分析、沉降試驗及迴轉黏度計試驗。不過在採樣過程中,底泥受到外力擾動及運送時的振動作用,很難完整保存現場底泥之含水量結構。而底泥含水量與其剪力應變量間有密切關係,亦即與流體之流動特性有關,因此為瞭解現場底泥之臨界剪應力及其懸浮率(resuspension rate),有必要在現場直接進行觀察、量測與相關試驗。

2.4 港口懸浮輸沙

港口懸浮輸沙主要是港外受浪激起之懸浮漂沙被潮流攜帶，經由高雄港一港口及二港口隨水流流入港池後，在港池內靜穩環境下逐漸沉降於底床上之淤泥。港口輸沙量由通過港口的潮流剖面流場及懸浮質分佈曲線決定，其輸沙量基本公式如下：

$$q_s(t) = \int_a^h u(y,t)C(y,t)dy \quad (2.12)$$

式中， $q_s(t)$ 為任一時間 t 之單位寬懸移量

$u(y,t)$ 為時間 t 時距底床 y 之流速

$C(y,t)$ 為時間 t 時距底床 y 之懸浮質濃度

h 為水深

a 為底床上濃度基準點高度

流速剖面一般採用底床粗糙面之對數法則

$$\frac{u}{u_*} = 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{y}{k_s} \quad (2.13)$$

其中， u_* 為摩擦速度($u_* = \sqrt{ghI}$)

I 為能量坡降

k_s 為底床粗糙度

另外，根據 Rouse(1937)之濃度分佈式，令 $z = w_o / (u_*^2)$ ，得

$$\frac{C}{C_a} = \left[\left(\frac{h-y}{y} \right) \left(\frac{a}{h-a} \right) \right]^z \quad (2.14)$$

式中， w_o 為沉降速度

為 Von-Karman 常數(0.4)

C_a 為基準點 a 之濃度

港口處流場不但受潮流影響，還有鹽楔作用之分層流，流況複雜。根據孫、曾和蘇(1999)現場觀測結果，指出一、二港口的潮位主要成份

為半日潮與全日潮。一港口流速較二港口流速大，漲潮期間海流大多前期由一港口向內流後期流向相反，二港口之海流前期向外流後期流向相反，退潮時則流向相反，且退潮時期一、二港口同進同出的情形較漲潮時多。另外，港口懸浮質濃度則視外海風浪大小，以及附近河川上游之輸沙量而定。因此，港口輸沙量之估算，仍然須要現場的長期監測與統計。

2.5 淤泥傳輸數值模式

2.5.1 簡介

計畫選取由美國 HydroQual, Inc. 所發展的三維非線性海洋模式 ECOMSED (HydroQual, 2002), 做為高解析度海流與淤泥輸送模擬計算的工具。此模式是美國普林斯頓大學地球物理流體力學實驗室所發展的水理模式 Princeton Ocean Model (簡稱 POM) 為基礎, 再加入海洋沉積物輸送的計算模組組合而成。POM 模式是一個以基本方程式 (primitive equations) 為基礎所架構而成的三維海洋數值模式, 已經廣泛地使用於不同海域的研究, 例如, 從小尺度的河川、渠道之三維水理運動, 到大尺度海洋的海流流場變化之模擬。

此模式係由 Blumberg and Mellor (1987) 所發展, 是一個以有限差分格式為架構的數值模式。對於空間與時間上的微分項皆以中央差分的型式做分解演算, 對於流速場、密度場及水深在格點上的排列方式, 則使用質量守恆與動量守恆的 Arakawa C-grid (Arakawa and Lamb, 1977) 做為基本架構。除此之外, 結合垂直方向的 sigma (σ) 座標系統與水平方向的曲線座標系統, 因此更提高了模式對於模擬實際海底地形以及不規則形狀海岸線的代表性。而且, 此模式具有自由水面的邊界條件, 因此可以模擬潮流以及表面重力波的傳動情況。

此模式與其他模式的重大差異在於, 模式運算中所使用的垂直方向的黏滯擴散係數, 乃依據 Mellor and Yamada (1974, 1982) 所提出的 2.5 階紊流封閉模式 (2.5-level turbulence closure model) 計算求得。至於水平方向的混合係數, 則是根據 Smagorinsky (1963) 的公式求得。利用這二種方法所求得之混合係數, 實際上並非固定常數, 而是隨著時間與空間的變化而改變。一般而言, 混合係數值的大小分別取決於紊流運動能量以及流速梯度大小而定。除此之外, 本研究計畫所使用的 POM 模式版本, 包含 Multidimensional Positive Definite Advection Transport Algorithm (MPDATA) (Smolarkiewicz and Grabowski, 1990)

的數值計算方法，用來模擬溫、鹽之輸送混合狀況。此數值計算方法的目的，在於保證密度場在水團混合與輸送的過程中，維持其絕對正值的自然性質。結合上述的三種數值計算方法，對於海洋混合層、密度鋒面結構及水團間混合、擴散過程的數值模擬，有更進一步的改進。

2.5.2 方法

2.5.2.1 基本理論

POM 模式使用靜力平衡(hydrostatic assumption)及 Boussinesq 近似兩個假設來簡化控制方程式，但是運動方程式依然遵守質量守恆及動量守恆的法則，在卡式座標系統下其連續方程式可表示為：

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (2.15)$$

運動方程式為：

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla U + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_x \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_y \quad (2.17)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (2.18)$$

上式中 U 、 V 及 W 分別為東西、南北及垂直方向的流速分量， ρ_0 為參考密度， ρ 為現場密度， g 為重力加速度， P 為壓力， K_M 為垂直渦流混合係數， f 為科氏力參數。由(2.18)式從深度 z 積分至表面水位高度 η 可得：

$$P(x, y, z, t) = P_{\text{atm}} + \rho_0 g \eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz' \quad (2.19)$$

此設定大氣壓力 P_{atm} 為常數。

溫度、鹽度守恆方程式可表示為：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \theta + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (2.21)$$

上式中 θ 為位溫, S 為鹽度, K_H 為溫度及鹽度的垂直渦流擴散係數。密度則根據 Fofonoff (1962) 的靜態方程式求得：

$$\rho = \rho(\theta, S) \quad (2.22)$$

此外, 控制方程式中 F_X 、 F_Y 、 F_θ 及 F_S 分別表示為：

$$F_X = \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (2.23)$$

$$F_Y = \frac{\partial}{\partial y} \left[2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (2.24)$$

$$F_{\theta, S} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(\theta, S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(\theta, S)}{\partial y} \right] \quad (2.25)$$

式中 A_M 為水平渦流混合係數, A_H 為水平溫度、鹽度渦流擴散係數。係數 A_M 及 A_H 乃根據 Smagorinsky (1963) 的公式求得：

$$A_M = C\Delta x\Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

式中 C 是常數, 其值通常介於 0.1 0.2 之間。

2.5.2.2 2.5 階紊流封閉模式

模式利用 Mellor and Yamada (1974, 1982) 所發展的紊流模式求得垂直方向的紊流渦流混合及擴散係數, K_M 及 K_H 。根據紊流動能($q^2/2$) 及紊流尺度 l 表示：

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q^2 + W \frac{\partial q^2}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ &+ \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_q \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial q^2 l}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla(q^2 l) + W \frac{\partial q^2 l}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial}{\partial z} (q^2 l) \right] + l E_1 K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_l \quad (2.28)$$

其中

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{\kappa L} \right)^2 \quad (2.29)$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (2.30)$$

簡單而言，為了讓紊流方程式封閉，假設紊流熱能的產生與消散達到平衡而得到所有的經驗常數。因此，垂直方向的渦旋黏滯係數定義為：

$$K_M = qlS_M, K_H = qlS_H, K_q = qlS_q \quad (2.31)$$

式中 S_M 、 S_H 及 S_q 則取決於區域的 Richardson 數：

$$Ri = -\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \Bigg/ \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (2.32)$$

Ri 的臨界值為 0.19。當 Ri 大於此值時，紊流與混合則停止發生。

2.5.2.3 σ 座標系統

POM 模式將上述之方程式轉換為 σ 座標系統(Philip, 1957)，其座標系統可表示為：

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t \quad (2.33)$$

式中 $D = H + \eta$ ， $H(x, y)$ 為水深， $\eta(x, y, t)$ 表面水位高度。因此將垂直座標由 $z = \eta$ 至 $z = -H$ 轉換成在 σ 座標系統中， σ 的值介於 0 -1 之間(圖 2.2)。

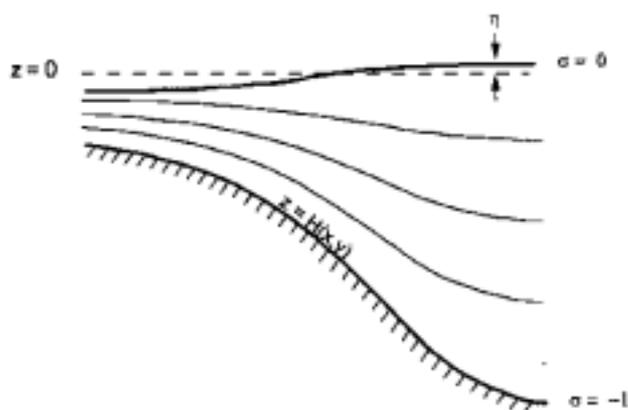


圖 2.2 垂直方向 σ 座標系統之示意圖

經過座標轉換後，控制方程式可改寫為：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UD}{\partial x} + \frac{\partial VD}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right) - \\ \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + DF_x \end{aligned} \quad (2.35)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) - \\ \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + DF_y \end{aligned} \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right) + DF_{\theta} \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) + DF_S \quad (2.38)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) + \\ \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{\Lambda_1} + DF_q \end{aligned} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 l D}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 l D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right) + \\ E_1 l \left\{ \frac{K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{q E_3}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right\} &- \frac{D q^3}{B_1} \tilde{W} + D F_l \end{aligned} \quad (2.40)$$

新的垂直流速分量定義為：

$$\omega = (\eta + H) \left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \right) \left(\frac{z - \eta}{\eta + H} \right)$$

或者表示為：

$$\omega \equiv W - U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) - \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \right) \quad (2.41)$$

表面水位高度可由(2.32)–(2.34)垂直積分平均之二維方程式求得：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U} D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V} D}{\partial y} = 0 \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U} D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial y} - f \bar{V} D + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} - D \bar{F}_x &= -\overline{wu}(0) + \overline{wu}(-1) \\ - \frac{\partial \overline{DU'^2}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{DU'V'}}{\partial y} - \frac{g D^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-1}^0 \int_{-\sigma}^0 \rho d\sigma' d\sigma + \frac{g D}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{-1}^0 \int_{-\sigma}^0 \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma' d\sigma \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V} D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + f \bar{U} D + g D \frac{\partial \eta}{\partial y} - D \bar{F}_y &= -\overline{wv}(0) + \overline{wv}(-1) \\ - \frac{\partial \overline{DU'V'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{DV'^2}}{\partial y} - \frac{g D^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-1}^0 \int_{-\sigma}^0 \rho d\sigma' d\sigma + \frac{g D}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{-1}^0 \int_{-\sigma}^0 \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma' d\sigma \end{aligned} \quad (2.44)$$

其中

$$(\bar{U}, \bar{V}) \equiv \int_{-1}^0 (U, V) d\sigma \quad (2.45)$$

$-\overline{wu}(0)$ 、 $-\overline{wv}(0)$ 為 x 、 y 方向分量的風應力， $\overline{wu}(-1)$ 、 $\overline{wv}(-1)$ 為 x 、 y 方向分量的海底摩擦力。

2.5.2.4 垂直方向邊界條件

在 σ 座標系統，新的垂直流速分量的邊界條件轉換為：

$$\omega(x, y, 0, t) = \omega(x, y, -1, t) = 0 \quad (2.46)$$

表面風應力的作用可表示為：

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = -(\overline{wu}(0), \overline{wv}(0)), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (2.47)$$

海底摩擦力使用對數定理(logarithmic law of the wall)求得：

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = C_z [U^2 + V^2]^{1/2} (U, V), \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (2.48)$$

其中

$$C_z = \text{MAX} \left[\frac{\kappa^2}{[\ln\{(1 + \sigma_{kb-1})H/z_0\}]^2}, 0.0025 \right] \quad (2.49)$$

式中 von Karman 常數 $\kappa=0.4$ ， z_0 為海底粗糙參數。

2.5.2.5 細泥運送模式

本計劃以三維數值模式，計算高雄港區底泥流動之特性。我們採用美國 HydroQual Inc. 發展的沉積物輸送模式 (sediment transport module)，考慮凝聚性沉積物 (cohesive sediment) 的顆粒再懸浮、沉降與凝結的物理動力性質 (Lick et al., 1994)，控制方程式如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_s}{\partial t} + \frac{\partial UC_s}{\partial x} + \frac{\partial VC_s}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_s)C_s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial C_s}{\partial x} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial C_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial C_s}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.50)$$

(i) 邊界條件：

$$(a) \quad z = 0 \quad (\text{海面}), \quad K_H \frac{\partial C_s}{\partial z} = 0$$

$$(b) \quad z = -H \quad (\text{海底}), \quad K_H \frac{\partial C_s}{\partial z} = E - D$$

其中 C_s 為懸浮顆粒的濃度， W_s 為懸浮顆粒的沉降速度， E 、 D 分別為顆粒再懸浮、沉降的流量 (flux)。

(ii) 海底剪應力：

海底底床的剪應力以下列方程式求得：

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (2.51)$$

式中 ρ 為懸浮物質的密度。 u_* 為剪速度(shear velocity)，以下列方程式求得：

$$u_* = \frac{\kappa u}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (u \text{ 為接近海底底層的流速場}) \quad (2.52)$$

(iii) 凝聚性沉積物的再懸浮:

模式利用 Gailani et al. (1991)所發展的理論計算細顆粒沉積物再由凝聚性沉積物覆蓋的底床再懸浮的比率：

$$\varepsilon = \frac{a_0}{T_d^m} \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right)^n \quad (2.53)$$

其中 ε 為再懸浮潛在力(resuspension potential, mg cm^{-2})， a_0 為與底床性質有關的常數， T_d 為沉降後的時間(days)， τ_b 為底床剪應力(dynes cm^{-2})， τ_c 為侵蝕的臨界剪應力(dynes cm^{-2})， m 、 n 為與沉積環境相關的常數。根據實驗得知，沉積物大約需要一個小時才會全部再懸浮(Tsai and Lick, 1987)。因此，沉積物之再懸浮率可表示為：

$$E_{\text{tot}} = \frac{\varepsilon}{3600 \text{ seconds}} \quad (2.54)$$

(iv) 凝聚性沉積物的沉降

模式利用 Krone (1962)所發展的公式計算顆粒的沉降流量，表示為：

$$D = -W_s C_s P \quad (2.55)$$

式中 D 為沉降流量($\text{g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)， W_s 為顆粒的沉降速度(cm s^{-1})， C_s 為懸浮沉積物的濃度(g cm^{-3})， P 為沉降機率。

Burban et al. (1990)根據實驗分析結果推得，沉降速度與沉積物濃度及水柱內部的剪應力(internal shear stress, G)的關係式如下：

$$W_s = \alpha (C_s G)^\beta \quad (2.56)$$

$$G = \rho K_M \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.57)$$

實驗結果顯示,對於海水 α β 的值分別為 2.42 及 0.22 (Burban et al., 1990)。

沉降機率的計算則根據 Partheniades (1992)所發展的經驗公式如下：

$$P = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Y e^{-\frac{\omega^2}{2}} d\omega \quad (2.58)$$

$$Y = 2.04 \log \left[0.25 \left(\frac{\tau_b}{\tau_{b,\min}} - 1 \right) e^{1.27 \tau_{b,\min}} \right] \quad (2.59)$$

式中 $\tau_{b,\min}$ 為最小海底剪應力。(2.58)式可精確地簡化為(0 $Y < \infty$)：

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Y^2}{2}} (0.436z - 0.1202z^2 + 0.9373z^3) \quad (2.60)$$

其中

$$z = (1 + 0.3237Y)^{-1} \quad (2.61)$$

當 $Y < 0$ 時, $P(-Y) = 1 - P(Y)$ 。

第三章 港池淤泥來源現場調查分析

高雄港港池為西北-東南走向之狹長水域，除一港口及二港口與外海啣接外，由北至南還有仁愛河、第五船渠水道、前鎮河及鹽水溪等主要河川匯流進入港池。由於港池內淤泥的來源主要來自懸浮質沉降與淤積，而懸浮質則受水流攜帶與運送，因此有必要在港池內各主要入水口及航道上進行長期流況與懸浮質監測，由於儀器數量有限，觀測時僅能輪流在各測點安裝儀器進行短時間觀測作業。使用儀器有 FSI 之三維超音波式潮波流儀、Coastal Leasing 之資料擷取器與 OBS 濁度感測器及 FSI 的鹽溫計，儀器示如照片 3.1，取樣頻率設定為 10 分鐘一次，以下分別說明各測點位置及觀測結果。

3.1 港池淤泥來源之現場調查與分析

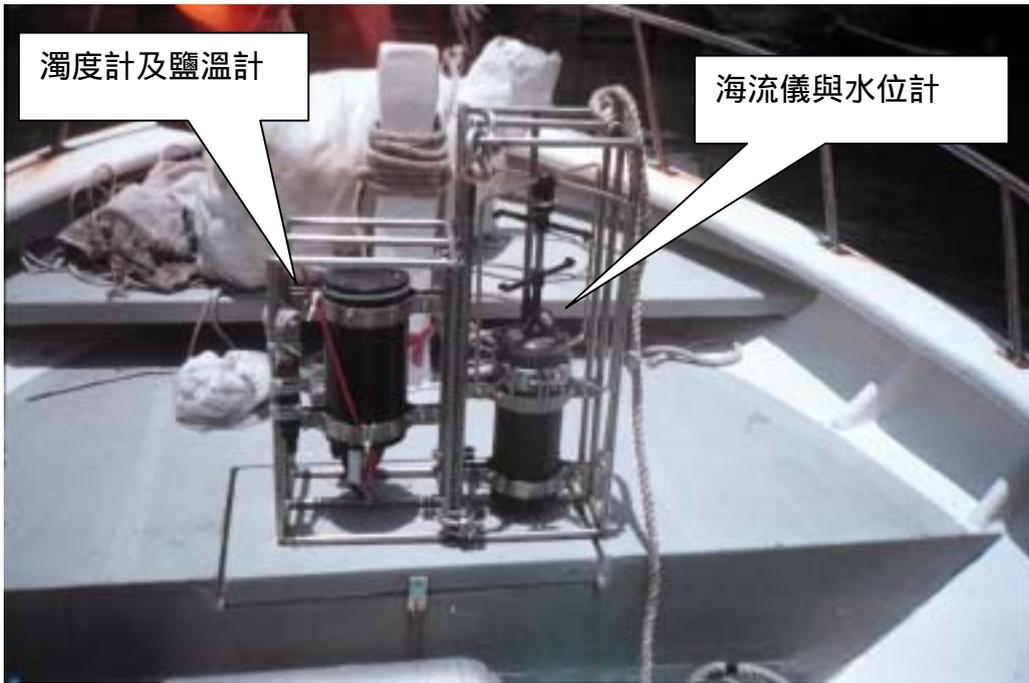
為瞭解高雄港港區各主要淤泥來源河川之流況與懸浮質濃度變化，本研究在高雄港區內共設立五個定點長期觀測站，分別為仁愛河口測站、前鎮河口測站、鹽水溪口測站、一港口測站及二港口測站，其位置示如圖 3.1。分別用於監測港區各主要淤泥來源入口之泥沙輸入情形，但因限於儀器數量及時間只能輪流在各個測站進行約一至三週的短期觀測，照片 3.2 為仁愛河河口觀測站潛水人員收放儀器情形，測站位於五福路橋與鐵路橋間，水質尚屬清澈。

3.1.1 仁愛河流況與懸浮質濃度觀測

仁愛河由高雄縣仁武鄉八卦寮源起，越過高雄市區後，於鹽埕區及苓雅區交接端注入高雄港第一港口，主流全長約 12 公里。自 1931 年以來因南進政策需要，高雄成為南部工業重鎮。臺灣光復後，高雄的工廠大量增加，仁愛河遭受嚴重的污染，在毫無阻擋下，大量淤泥直接匯入港區內沉積為底泥。1979 年高雄市政府開始執行仁愛河整治計畫，清除河川淤泥並於上游建立治平截流站，位置如圖 3.2，將上游污水導入污水處理廠，此舉確實可減少部份污水懸浮淤泥進入港區。照片 3.3 為截流站閘門阻擋上游垃圾及污水情形，照片 3.4 則為

由橋面垂放儀器觀測截流站上游河水水質情形。圖 3.3 與圖 3.4 分別為截流站上游測點 A18 與截流站下游測點 A17 之垂直剖面流、懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈，由圖顯示截流站上游之中華路橋下分層明顯，下層為海水而上層則為淡水，懸浮質濃度高達 600ppm；截流站下游中都橋附近大致為海水，懸浮質濃度約只有 20ppm。

圖 3.5 為今(93)年 6 月在仁愛河測站底床上 20cm 位置儀器觀測結果，觀測時間只有二天，資料顯示底床附近懸浮質濃度在 200ppm 以下，流速小於 10cm/s，流向不定，為高鹽度海水，不隨潮位變化。另外在今(93)年 9 月又在仁愛河測站水面下 1m 位置安裝儀器觀測表層水流及懸浮質濃度如圖 3.6，結果發現在 9 月 10 日至 11 日間懸浮質濃度激增達 4000ppm，同時溫度劇降，流速高達四節流，流向也固定往 240 度方向，假設為平均流速與濃度估算其輸沙量約每秒 3 噸的泥沙往港區內輸送。經查高雄地區雨量記錄，證實當時高雄地區在這二天內受海馬颱風影響曾降下豪雨。由於仁愛河治平截水站的功能在截取上游污水，當上游雨量太大，進水超越污水下水道處理能力時即必須打開閘門讓洪水直接洩流入海。此時湍急河水不但將上游污水排入港區，底床水流因速度剪應力增加還可能將底泥等沉積物捲起攜帶輸送入海。



照片 3.1 剖面流觀測使用之海流儀、濁度計及鹽溫計



照片 3.2 仁愛河河口觀測站潛水人員收儀器情形



照片 3.3 截流站閘門阻擋上游垃圾及污水情形



照片 3.4 由橋面垂放儀器觀測截流站上游河水水質情形

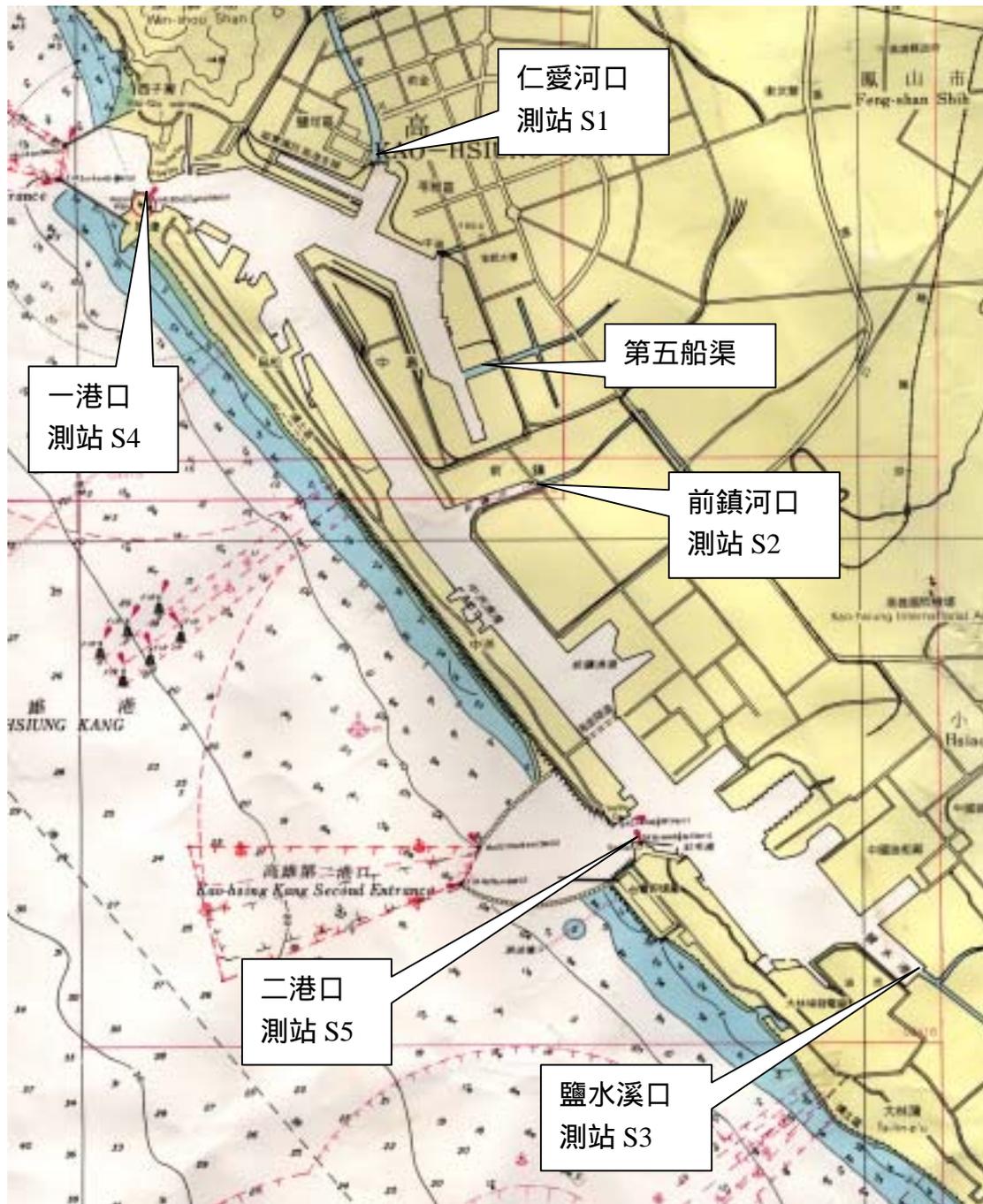


圖 3.1 港區主要淤泥來源出入口測站位置圖

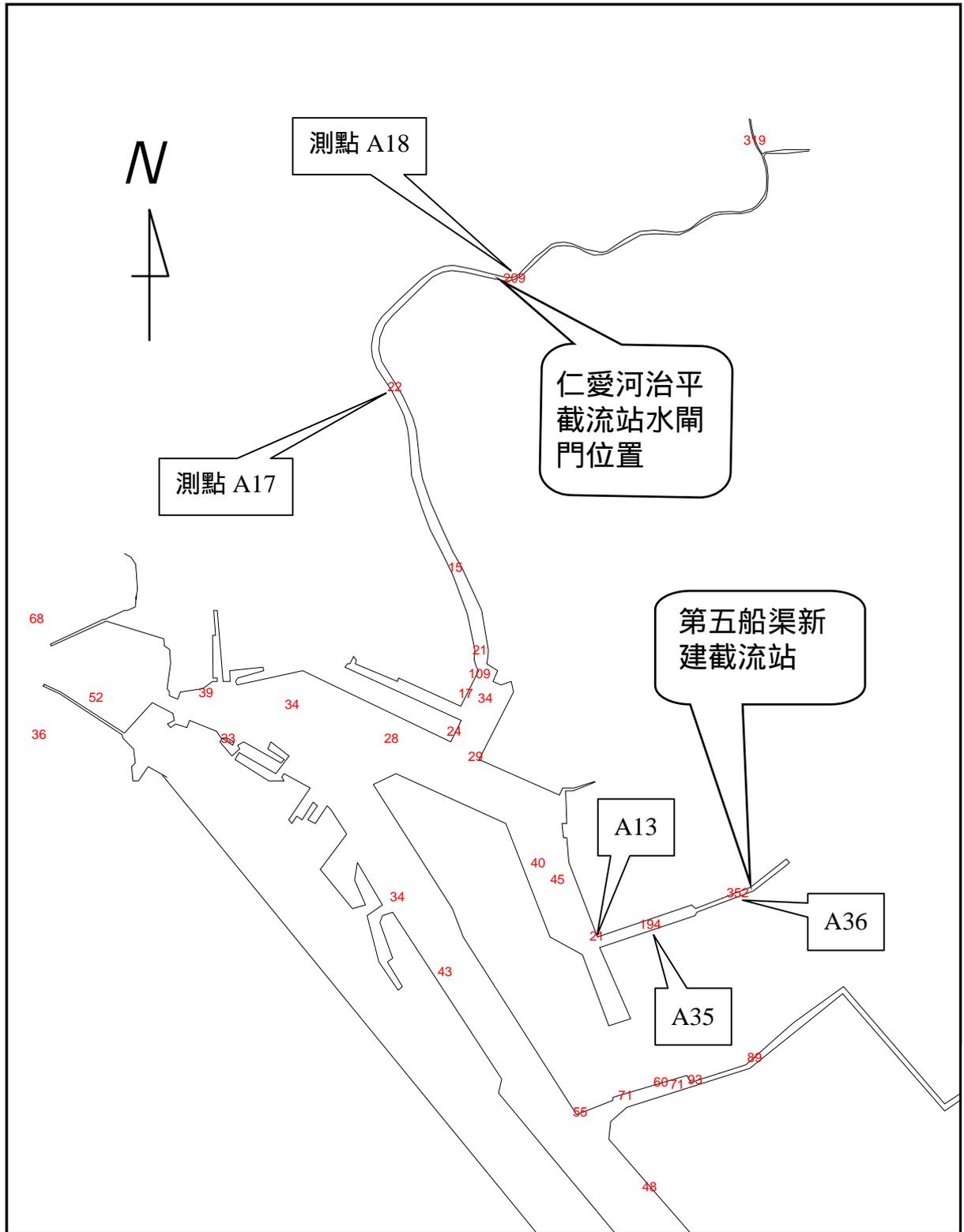


圖 3.2 仁愛河治平截流站及水質測點位置

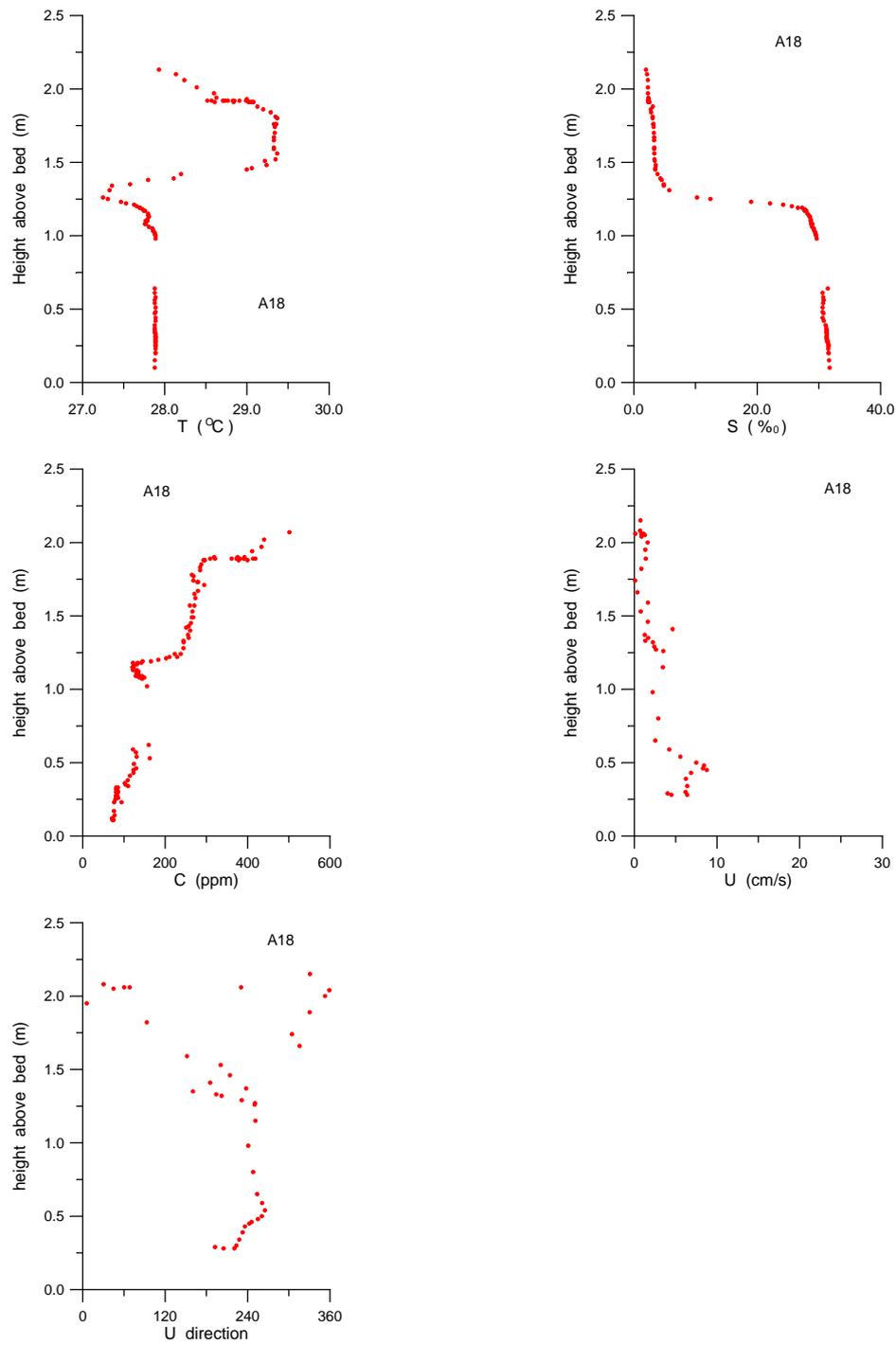


圖 3.3 截流站上游測點 A18 之垂直剖面流、懸浮質、溫度與鹽度分佈

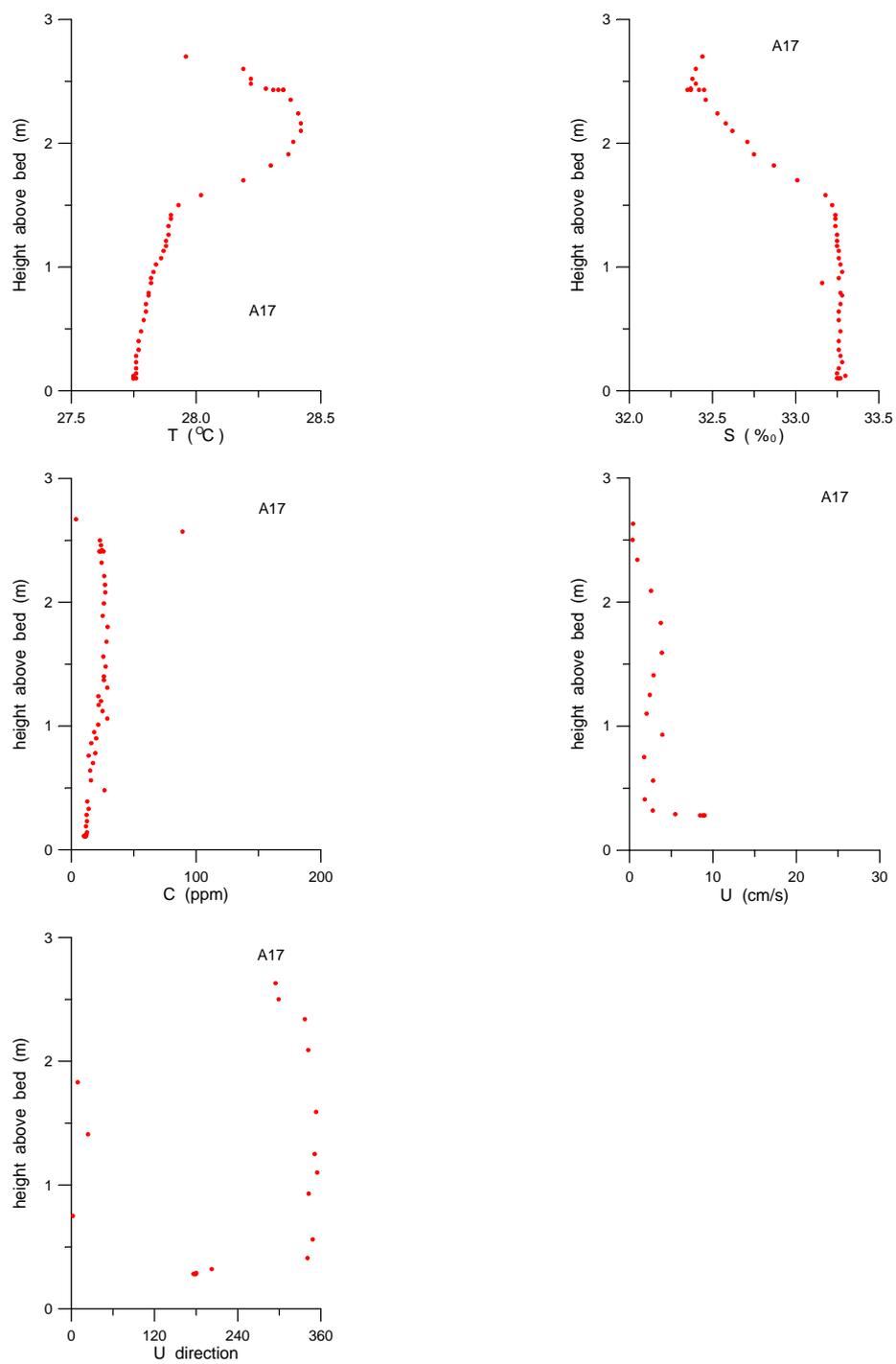


圖 3.4 截流站下游測點 A17 之垂直剖面流、懸浮質、溫度與鹽度分佈

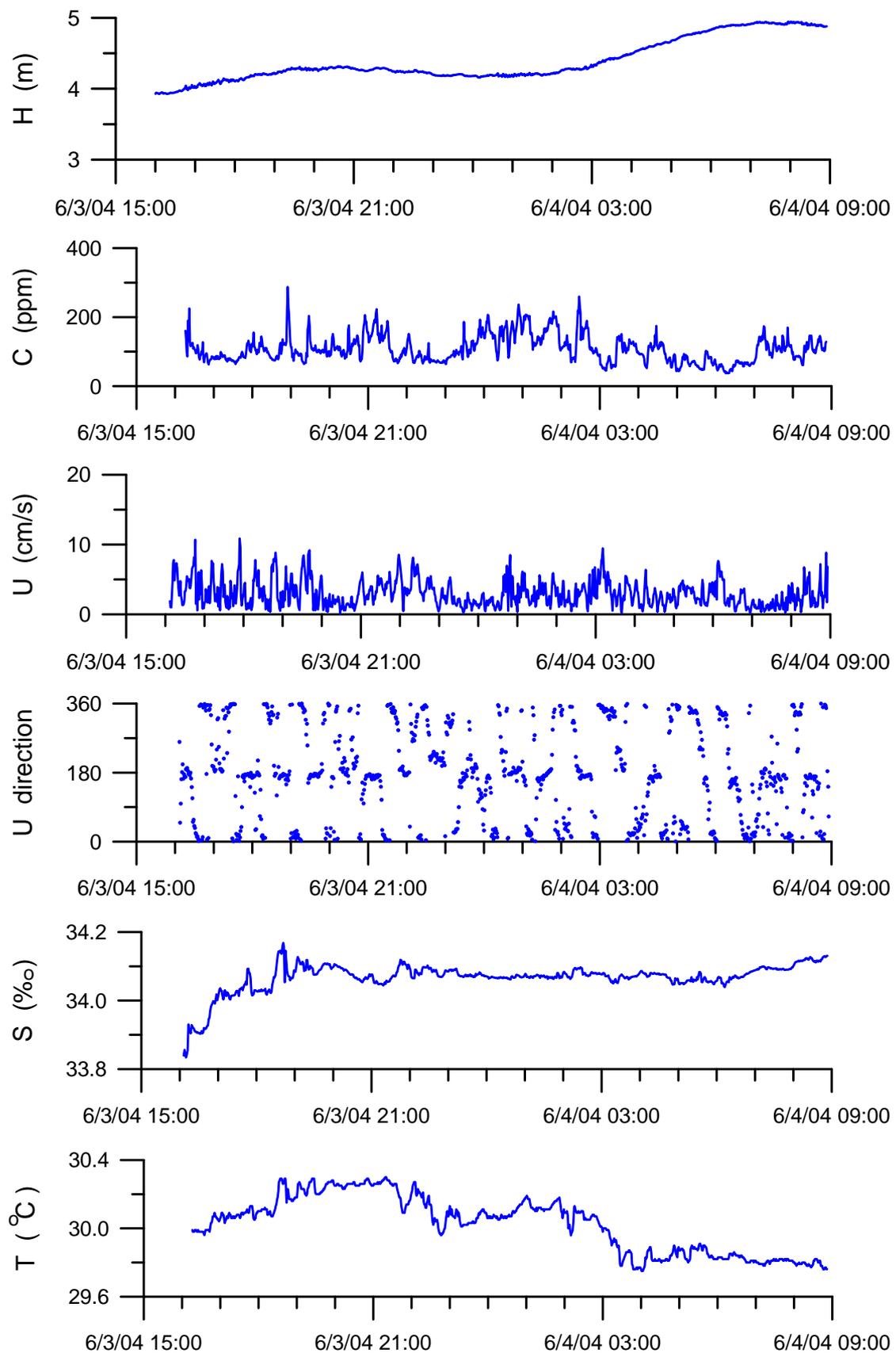


圖 3.5 仁愛河測站底床上 20cm 處觀測結果

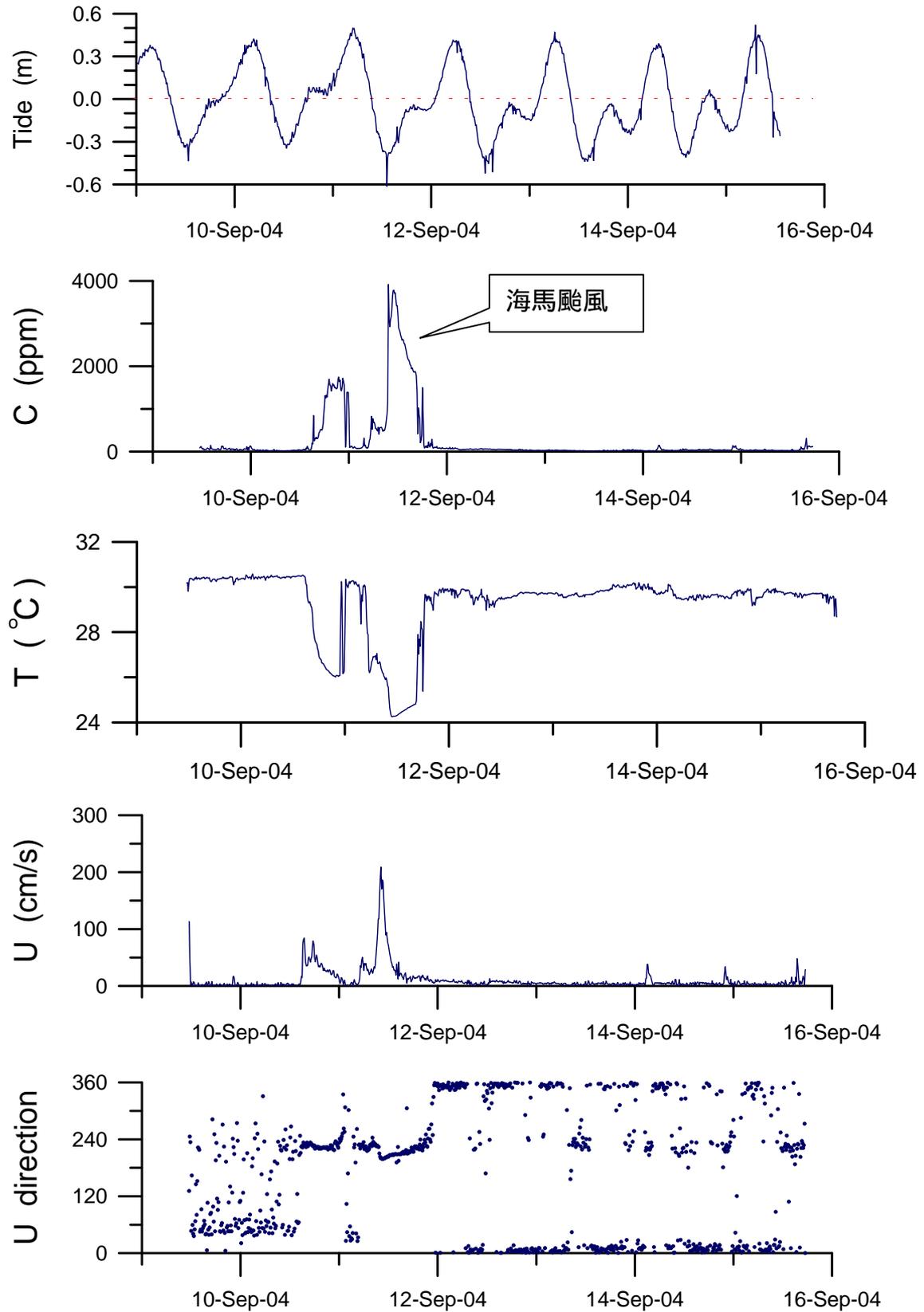


圖 3.6 仁愛河測站水面下 1m 處觀測結果

3.1.2 前鎮河流況與懸浮質濃度觀測

前鎮河全長二十餘公里，上游源自高雄縣大樹鄉九曲堂一帶，流經大寮、鳳山、及本市小港區、前鎮區，排入高雄港，流域面積約 5400 公頃。工廠廢污水、畜牧廢水及家庭廢水嚴重污染河川，河水烏黑薰臭，被民眾謔稱為「黑龍江」。高雄市政府自民國七十九年起即訂定前鎮河整治實施計畫，設高公截流站，位置如圖 3.7，將排入鳳山溪的污染阻絕，輔以河道底泥清疏，提昇河川自淨能力。

由於前鎮河長久以來一直是港區淤泥的重要供應者，而截流站於最近幾年才完工啟用，去(92)年本中心在現場進行觀測作業時仍得經常忍受惡臭下水作業，河面黑如墨汁如照片 3.5 與照片 3.6，其污水截流成效值得注意，前鎮河河面顏色常隨著上游污染源不同而改變，如照片 3.7 的暗紅色與照片 3.8 的墨綠色。圖 3.8 圖 3.9 與圖 3.10 分別為截流站閘門上游側測點 A42、閘門下游側測點 A40 及更下游的鎮榮橋測點 A38 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈，由圖顯示截流站閘門上游側為淡水，底層水溫約攝氏 27.3 度，懸浮質濃度約 800ppm；截流站閘門下游側分層明顯，下層海水而上層為淡水，水溫約攝氏 29.5 度，底層水溫度較低約攝氏 28.5 度而濁度高達 1500ppm，顯示閘門底部有滲漏情況，滲水捲起部份泥沙；至於更下游的鎮榮橋附近已大致為海水，懸浮質濃度約只有 100ppm。

前鎮河底床經潛水人員勘察發現仍有相當深厚積泥存在，這些底污泥為長時間累積形成，隨時會在適當情況下再懸浮並流入港區內。圖 3.11 為 92 年 4 月 29 日至 30 日於前鎮河口測站底床上 20cm 觀測結果；圖 3.12 為 92 年 10 月 2 日至 11 月 6 日於前鎮河口測站進行長期觀測之水位歷時變化，為全日潮與半日潮之混合潮型態，大潮時潮差約 1 米，小潮時潮差約只有 40 公分。圖 3.13 為測站離底 1 米處之懸浮質濃度變化，顯示底床附近懸浮質濃度有週期性變化趨勢。對照圖 3.14 與圖 3.15，發現懸浮質濃度在漲潮中期開始因絮凝沉降而增加，至高潮點過後不久達到尖峰濃度，然後隨著退潮而逐漸減少。圖 3.16 與圖 3.17 為同時段離底 2 米處之流速與流向，流速不大，

較大流速約只有 13cm/s，流向以向西即向海方向為主，顯示由液泥 (fluid-mud) 形成之濁流多往海方向流動，成為港池淤泥來源之一。

圖 3.18 為前鎮河離底 1 米處之河水鹽度變化，觀測資料顯示於 10 月 13 日深夜鹽度驟降成為淡水，而圖 3.19 之水溫資料也顯示在該段時間內水溫驟降了攝氏 2 度。經查民國 92 年高雄氣象站逐日雨量資料顯示在 10 月 13 日當日曾發生豪大雨，為高雄地區帶來相當災害。以上資料分析結果顯示前鎮河底床附近之液泥輸送受每日潮汐及降雨量影響。底床上 1 米處液泥濃度平時約 2~4ppt，降雨開啟截流站閘門時則有時高達 40ppt，且流向多為向海方向，在經年累月輸送下，確實為港池淤泥重要來源之一。

今(93)年持續對前鎮河流況與懸浮質進行觀測，對照前鎮河高公截流站閘門兩側如照片 3.9 及 3.10，下游側水面雖有污物，水色黃濁，尚可忍受；但是閘門上游側則全為墨汁狀惡臭黑水。因上游枯水期，河床底泥淤積，水面距底床約 30 公分，污水取水口前只剩一絲涓涓細流。有截流站閘門攔截污水，使得今(93)年在河口觀測站現場作業時，感覺不再惡臭如昔。圖 3.20 至圖 3.25 為不同時段安裝於前鎮河口底床上離底約 30cm 位置儀器測得之流速與懸浮質濃度變化。資料顯示平時懸浮質濃度已降至 200ppm 以下，不過有時也有懸浮質濃度大量增加的時候，例如 5 月底時的 15000ppm 及 9 月 11 日的 6000ppm，皆是因上游豪雨開閘門洩洪所引起。

由於截流站閘門的功能在攔截上游污水，將之導入污水管，輸送至中洲的污水處理廠，處理過後排放外海。為維持污水處理系統能正常運作，截流站必須小心運作，要攔截污水但不能讓淤泥進入污水管造成阻塞癱瘓系統。有兩種可能運作方式，一是人工疏濬取水口附近或上游淤泥；一是類似水庫清除淤沙之作法，利用洪汛時期開啟閘門，讓洪水自然帶走淤泥。第一種作法須要花費大筆經費與人力而第二種作法只須按鈕打開閘門便能輕易達到目的，因此河道中淤泥若未能以人工疏濬，將來有可能隨洪流進入港池內。



照片 3.5 前鎮河如墨汁般的河面惡臭難聞



照片 3.6 前鎮河口觀測站潛水人員在污水中安裝儀器情形



照片 3.7 前鎮河暗紅色污水



照片 3.8 前鎮河墨綠色污水



照片 3.9 前鎮河高公截流站閘門下游河面



照片 3.10 前鎮河高公截流站閘門上游河面

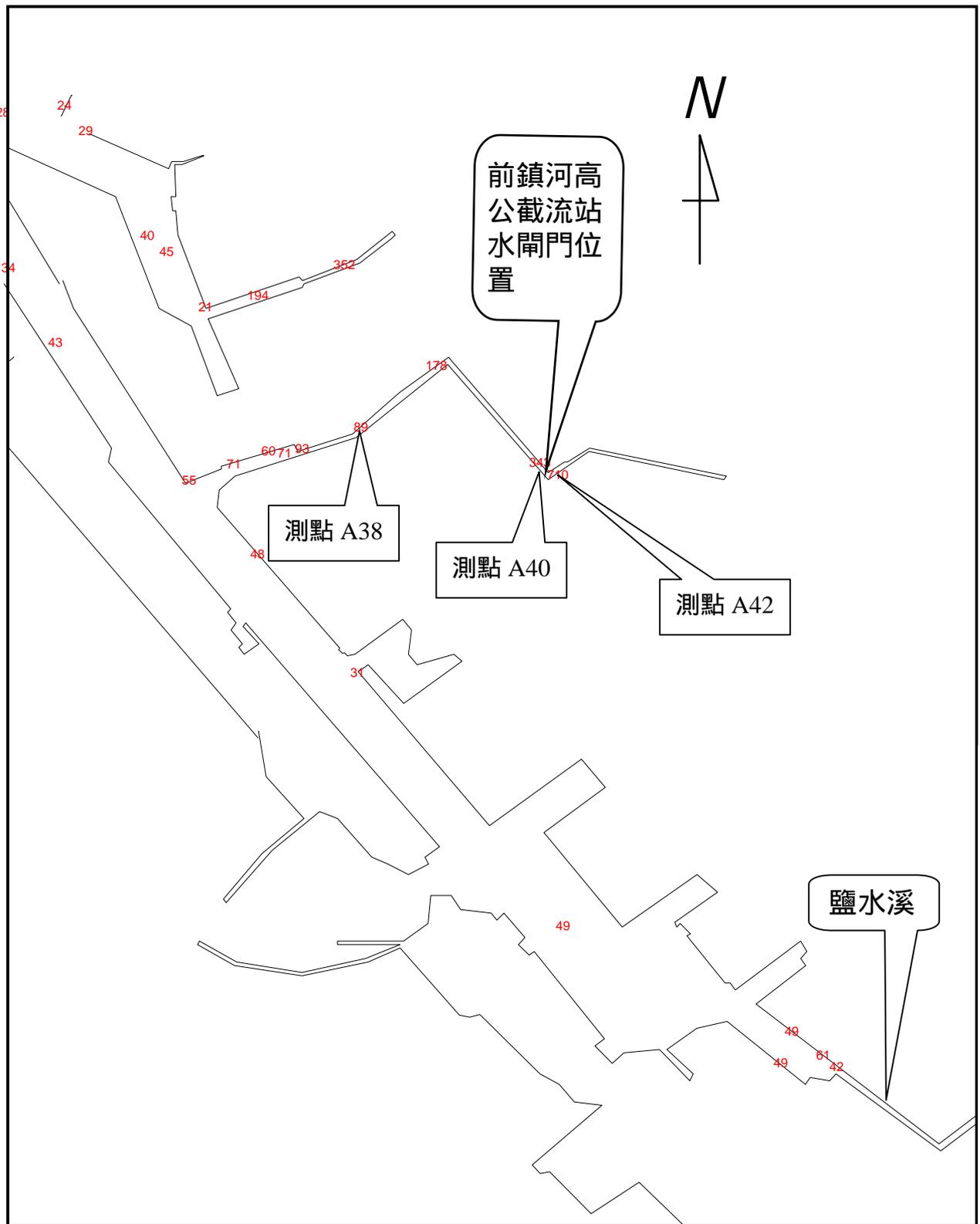


圖 3.7 前鎮河高公截流站及水質測點位置

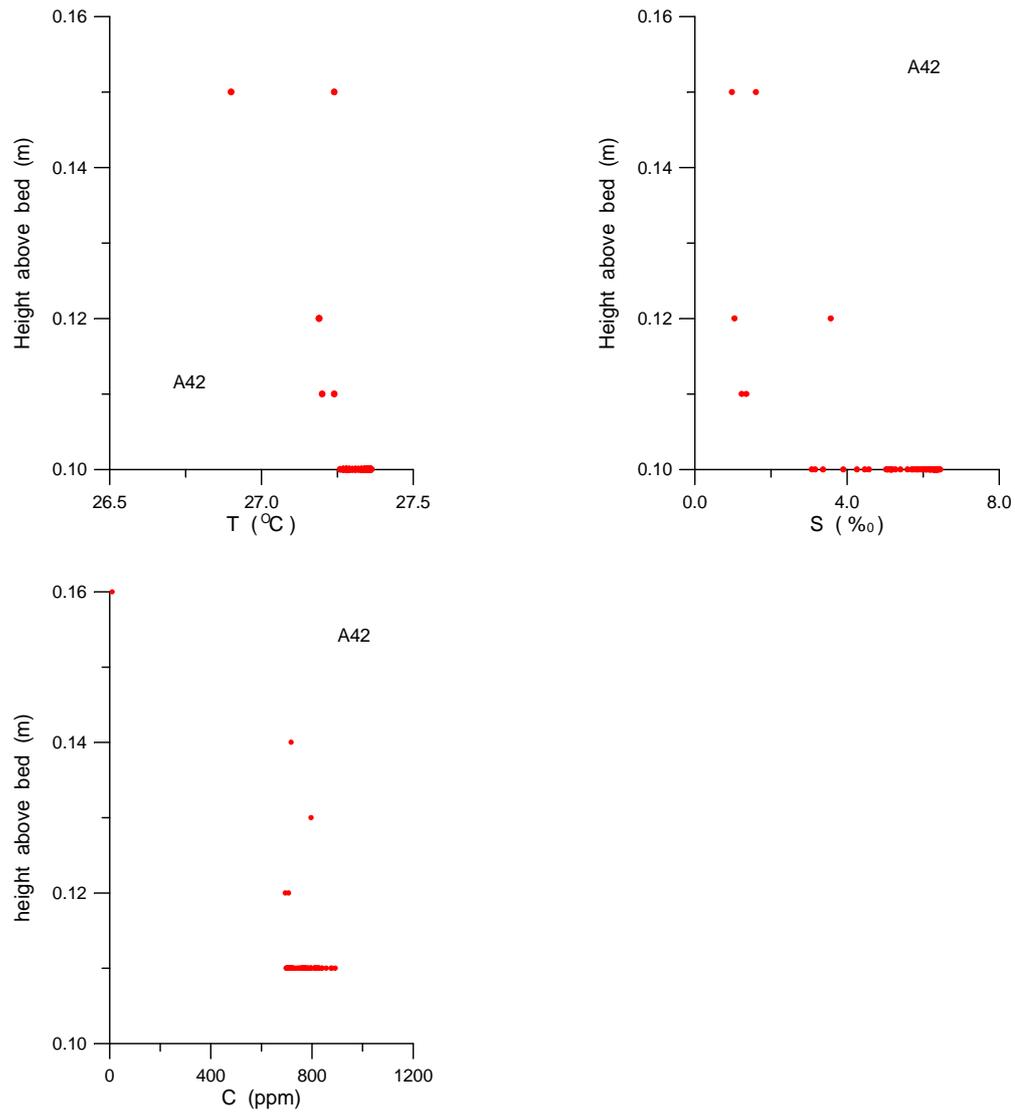


圖 3.8 閘門上游側測點 A42 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈

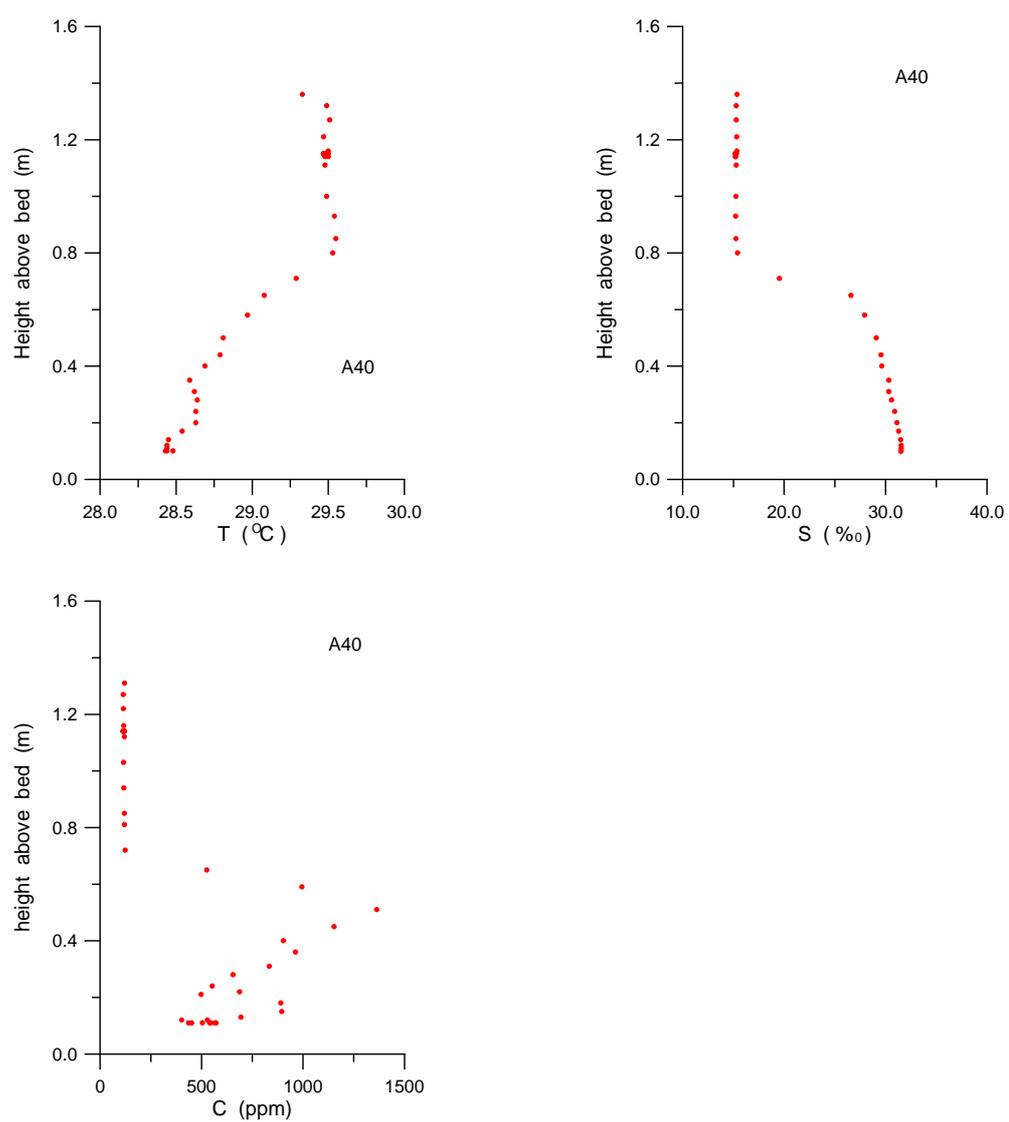


圖 3.9 閘門下游側測點 A40 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈

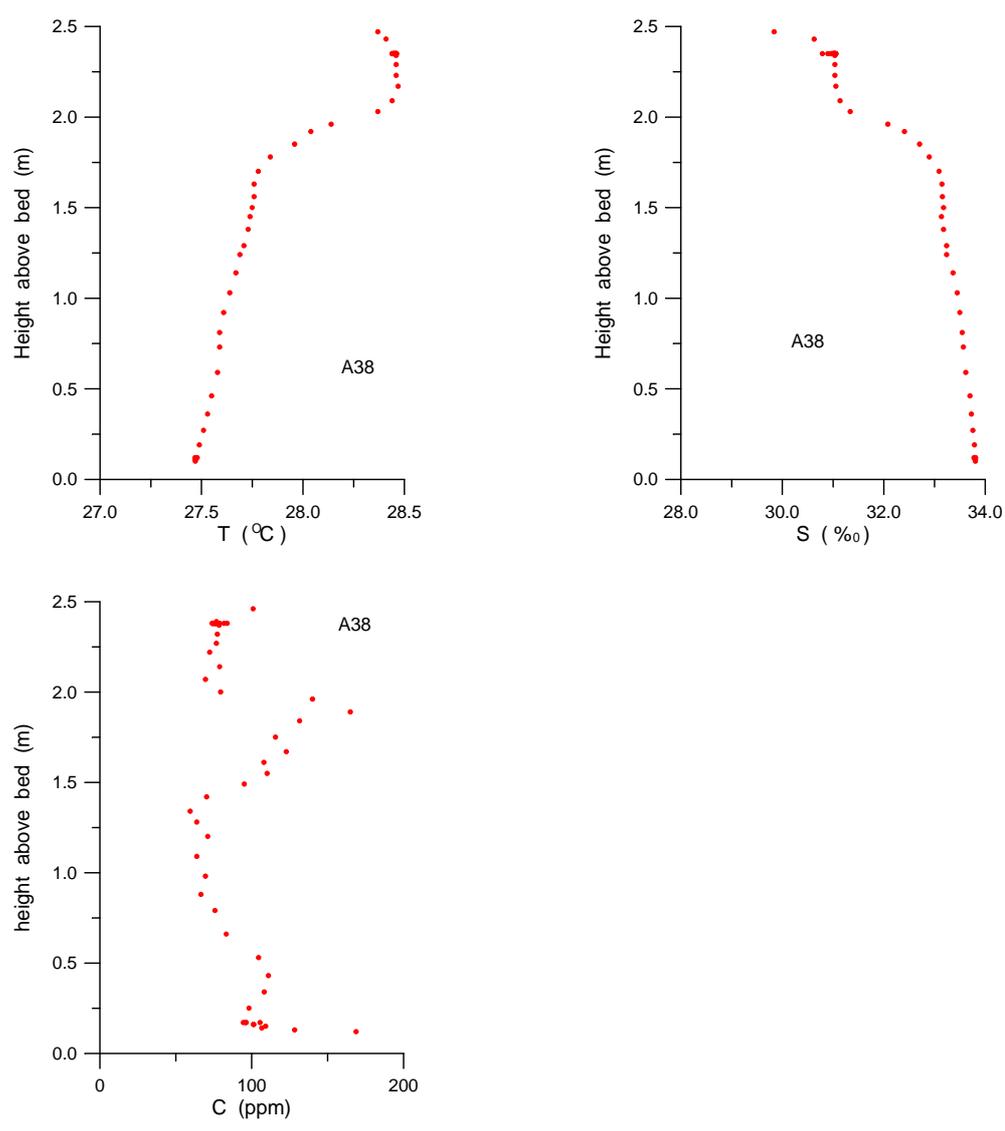


圖 3.10 下游測點 A38 之垂直剖面懸浮質濃度、溫度與鹽度分佈

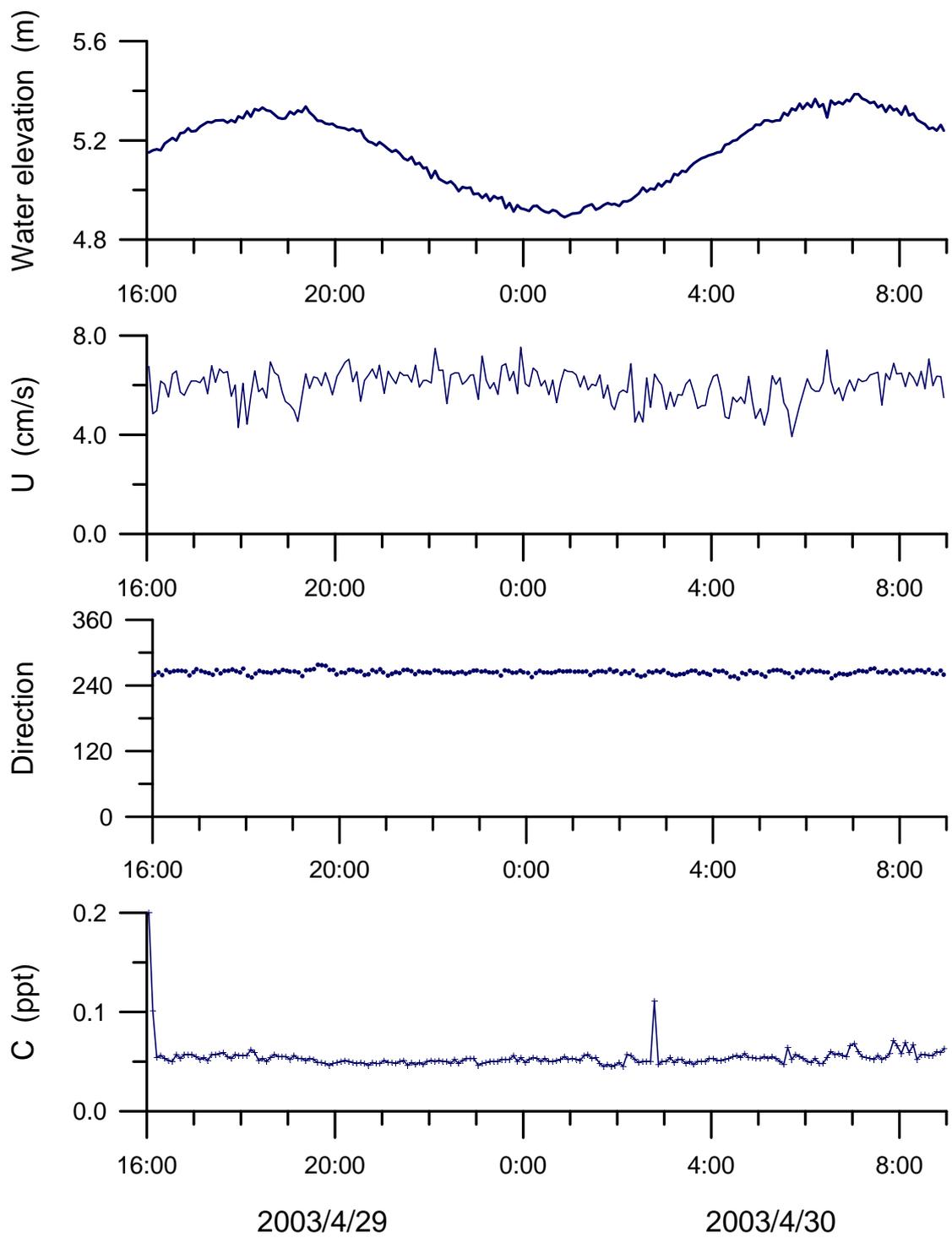


圖 3.11 前鎮河測站底床上 20cm 處觀測結果

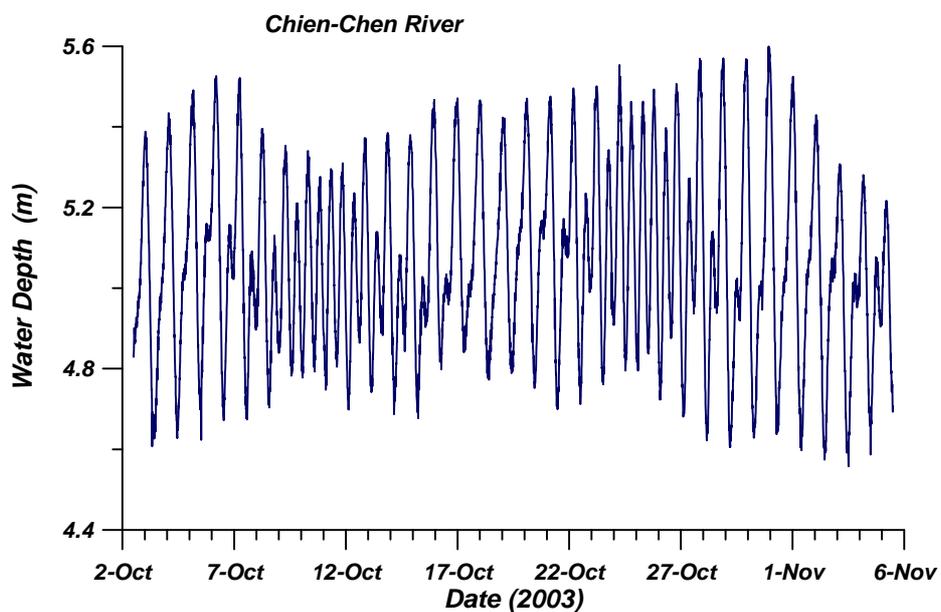


圖 3.12 前鎮河測站之水位歷時變化

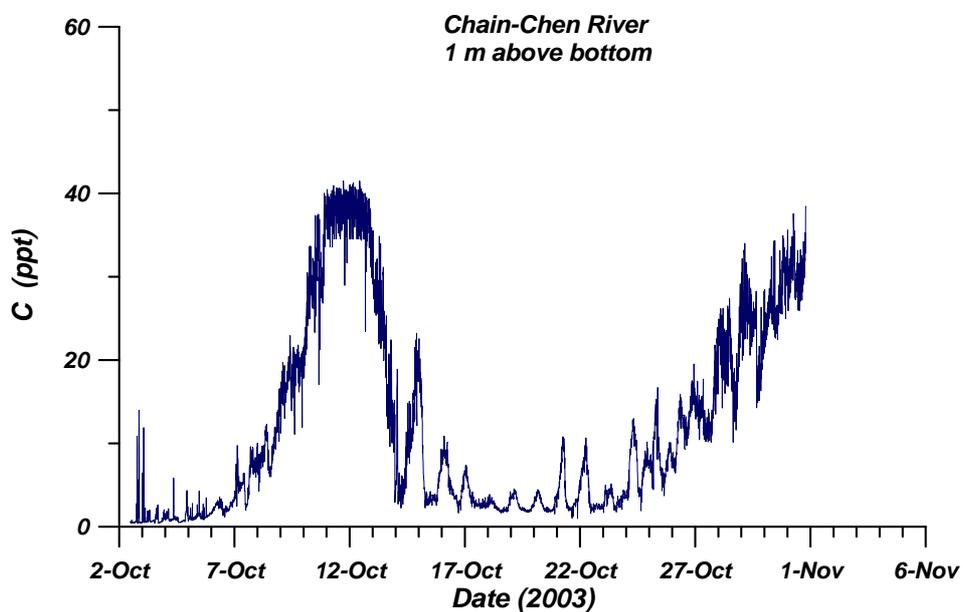


圖 3.13 前鎮河測站之懸浮質濃度歷時變化

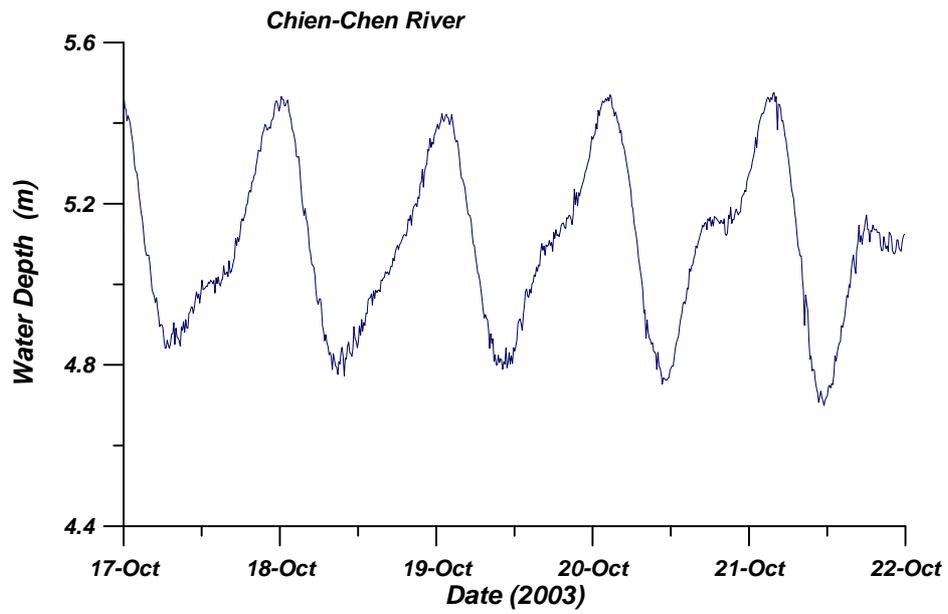


圖 3.14 前鎮河測站之潮位歷時變化

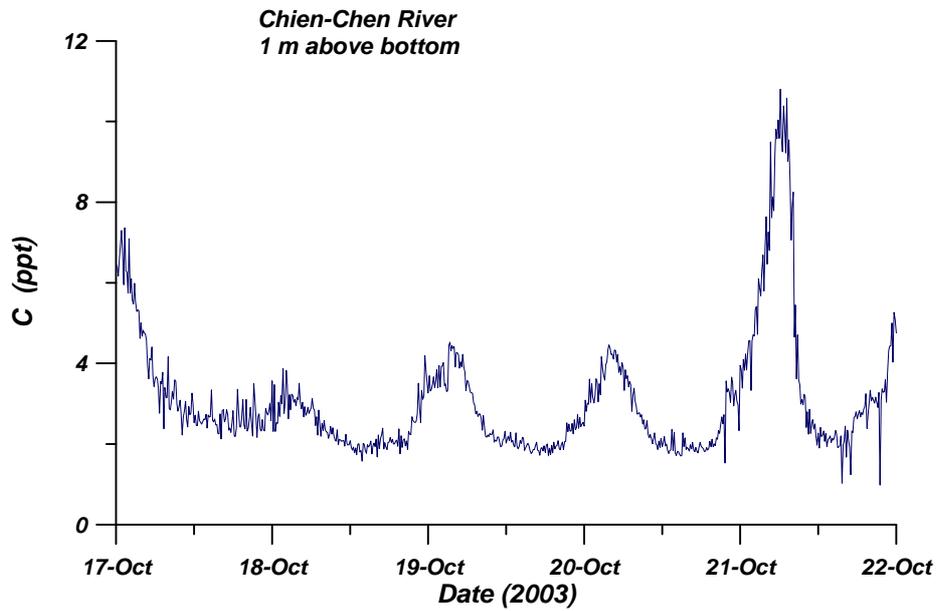


圖 3.15 前鎮河測站底床附近之懸浮質濃度變化

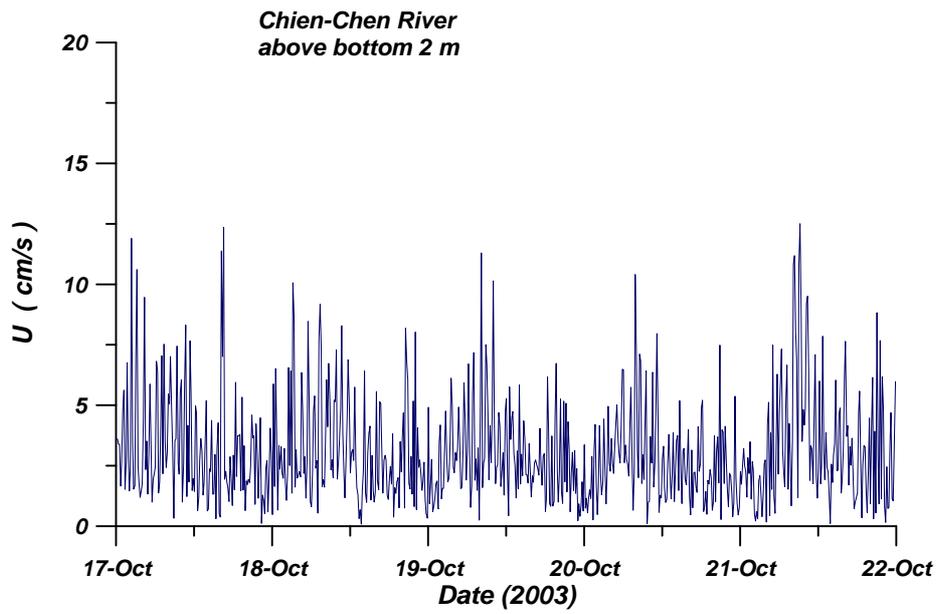


圖 3.16 前鎮河測站底床上 2 米處流速歷時變化

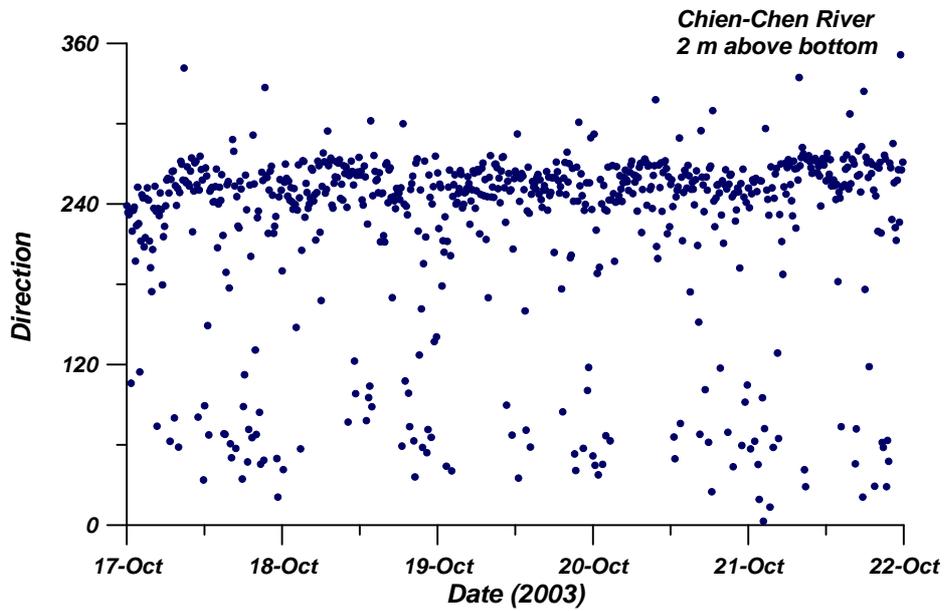


圖 3.17 前鎮河測站底床上 2 米處流向歷時變化

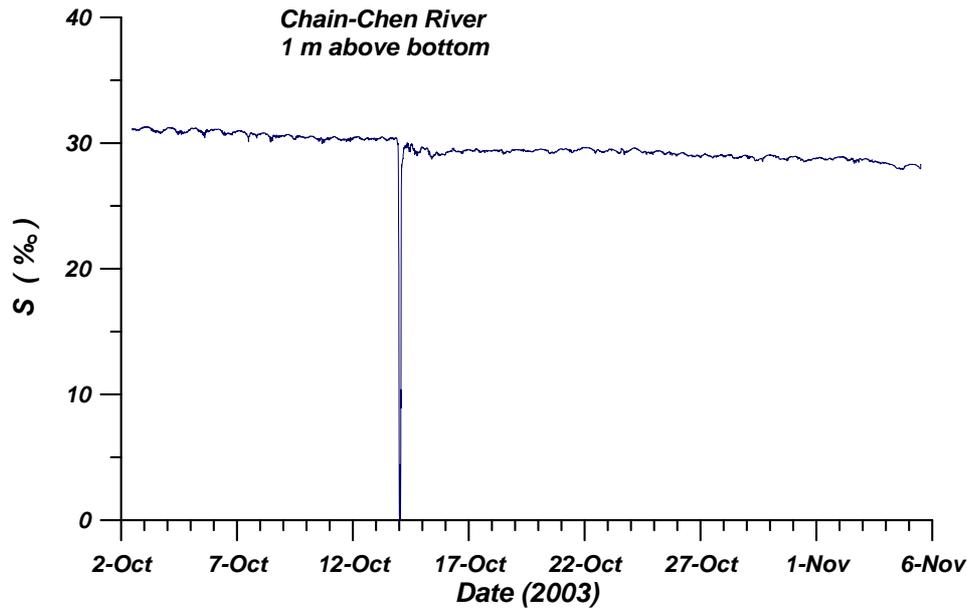


圖 3.18 前鎮河測站之鹽度歷時變化

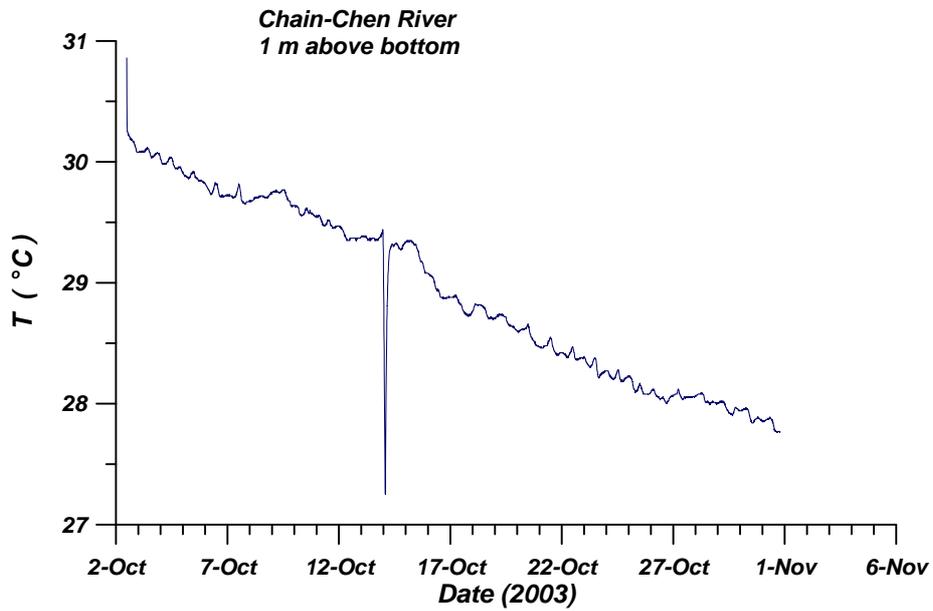


圖 3.19 前鎮河測站之水溫歷時變化

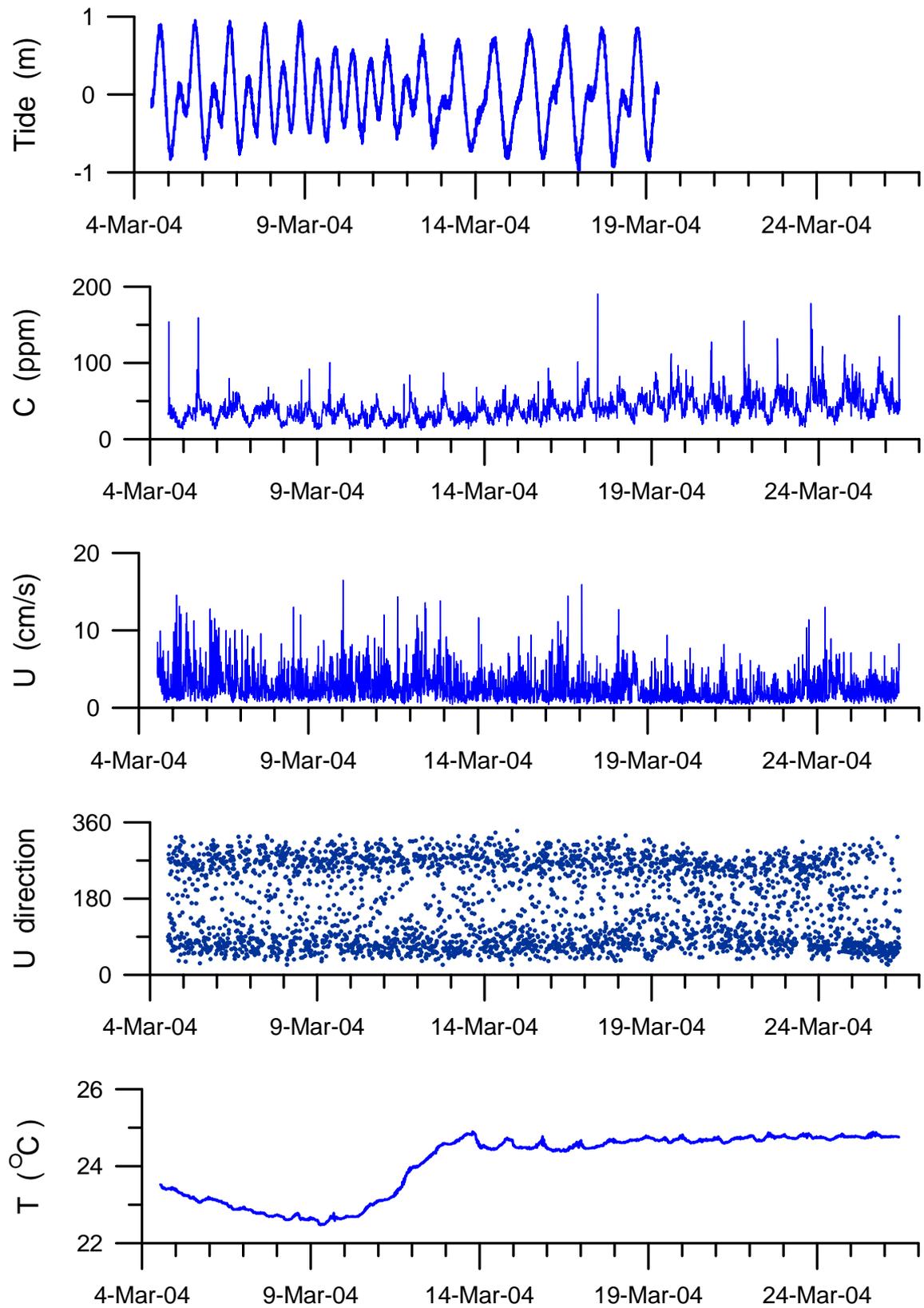


圖 3.20 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果

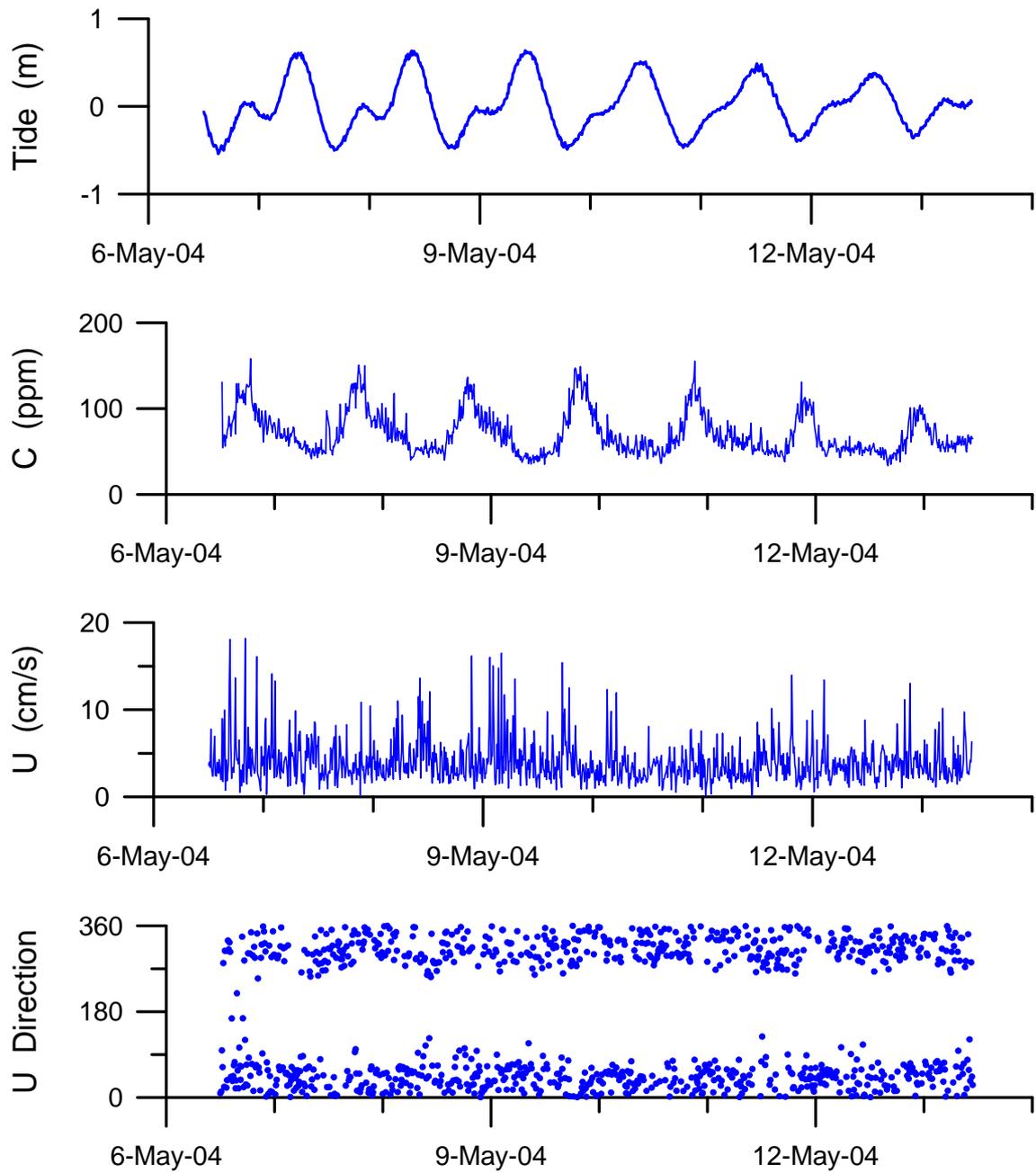


圖 3.21 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果

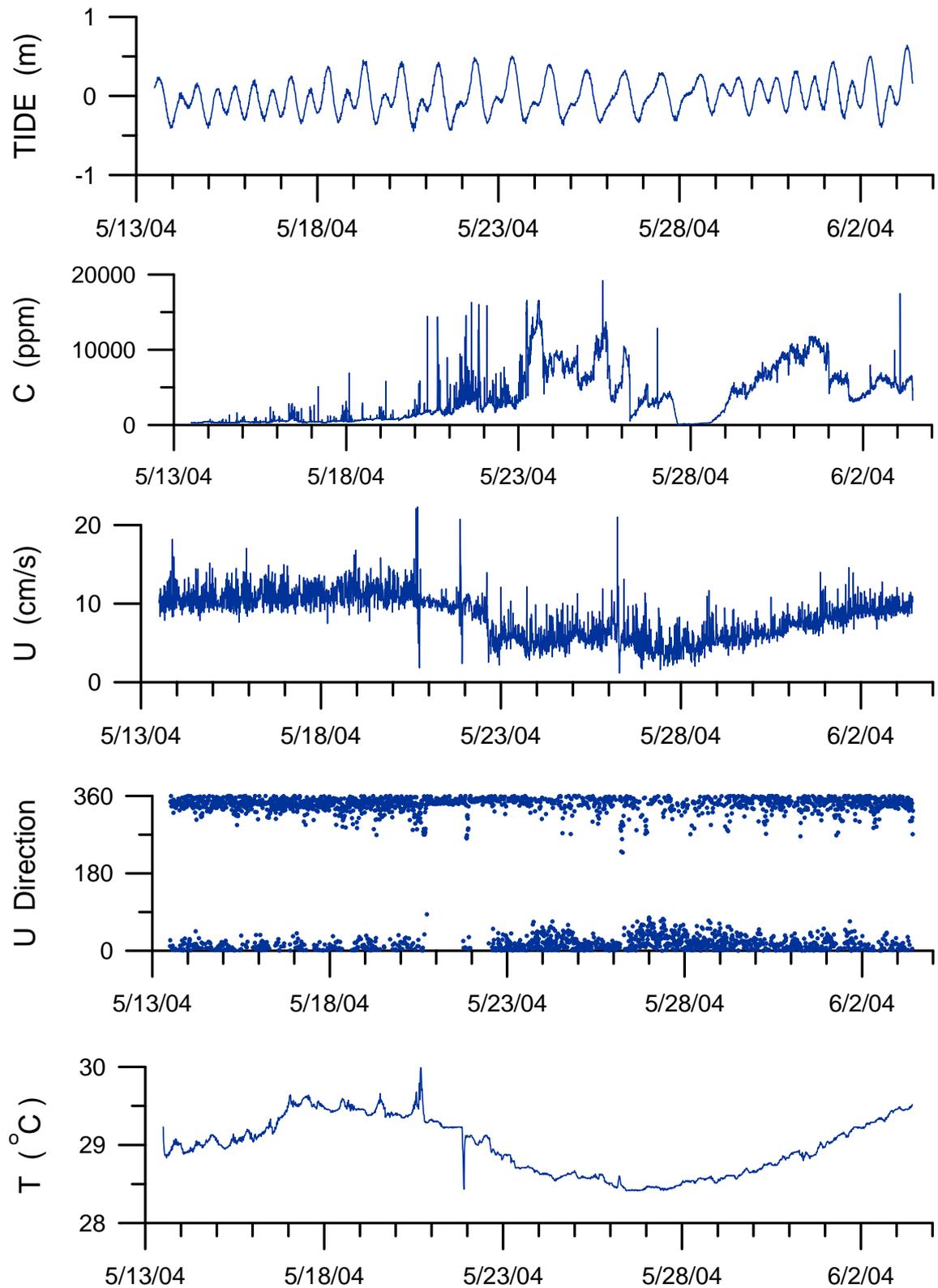


圖 3.22 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果

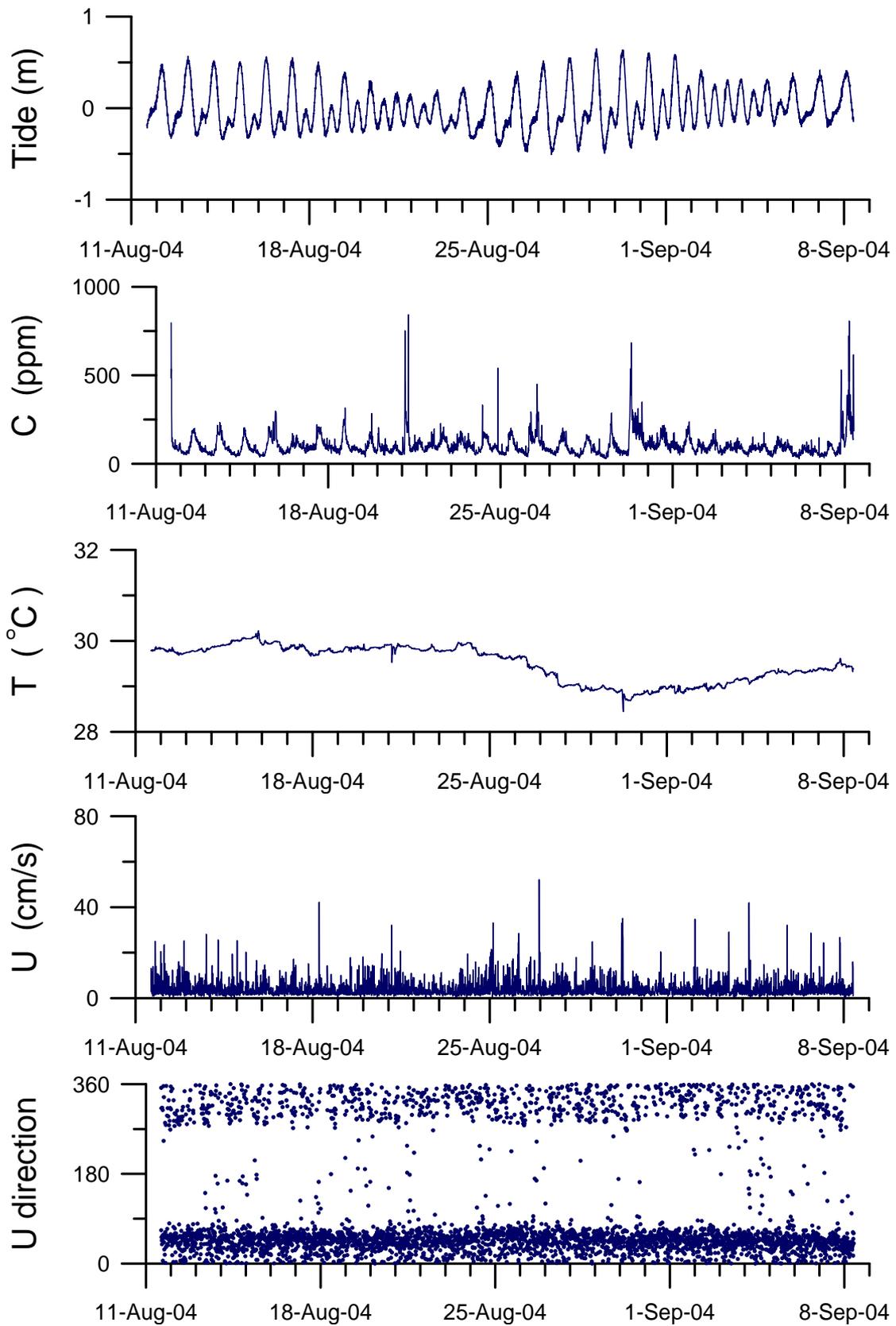


圖 3.23 前鎮河測站底床上 30cm 處觀測結果

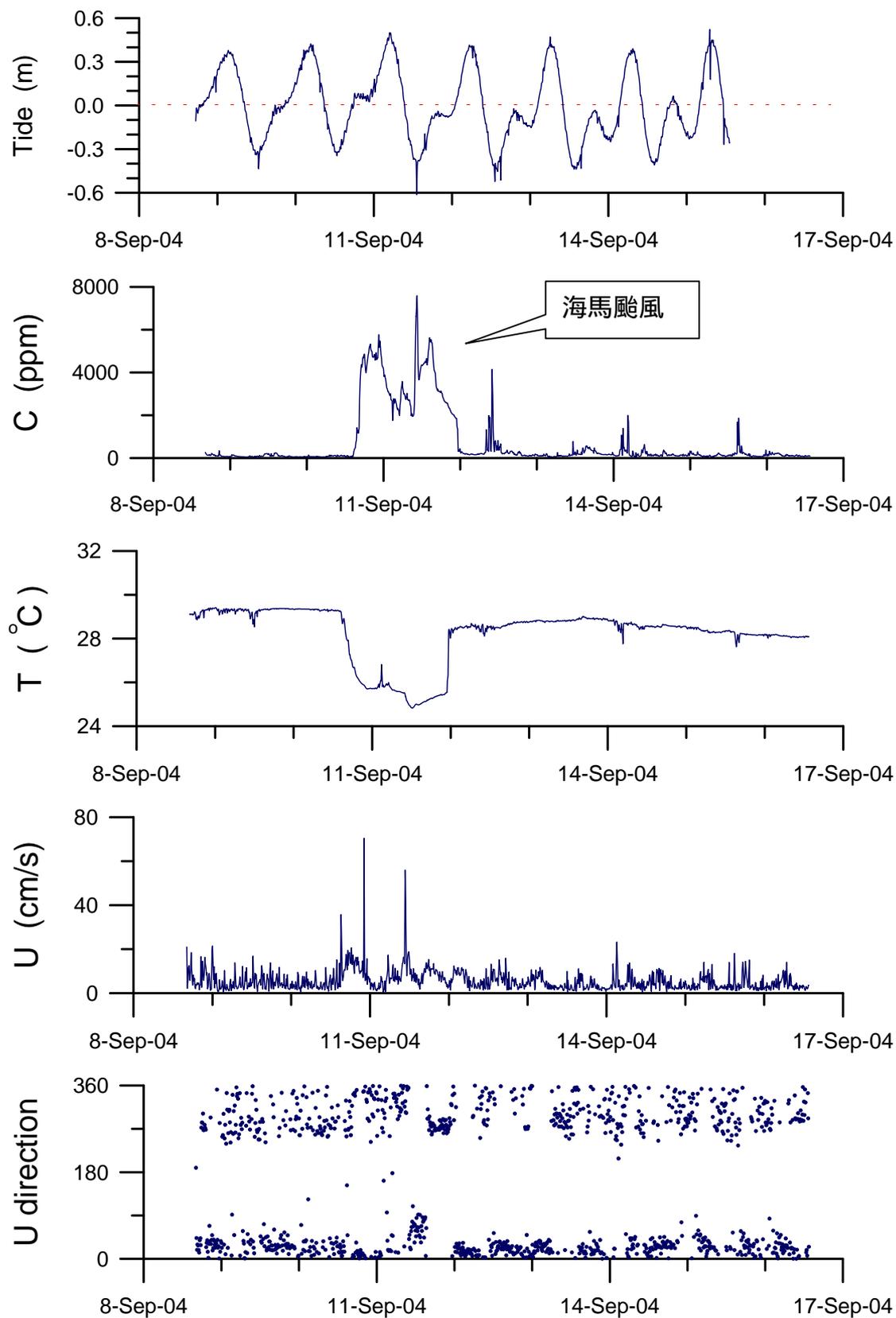


圖 3.24 前鎮河測站底床上 50cm 處觀測結果

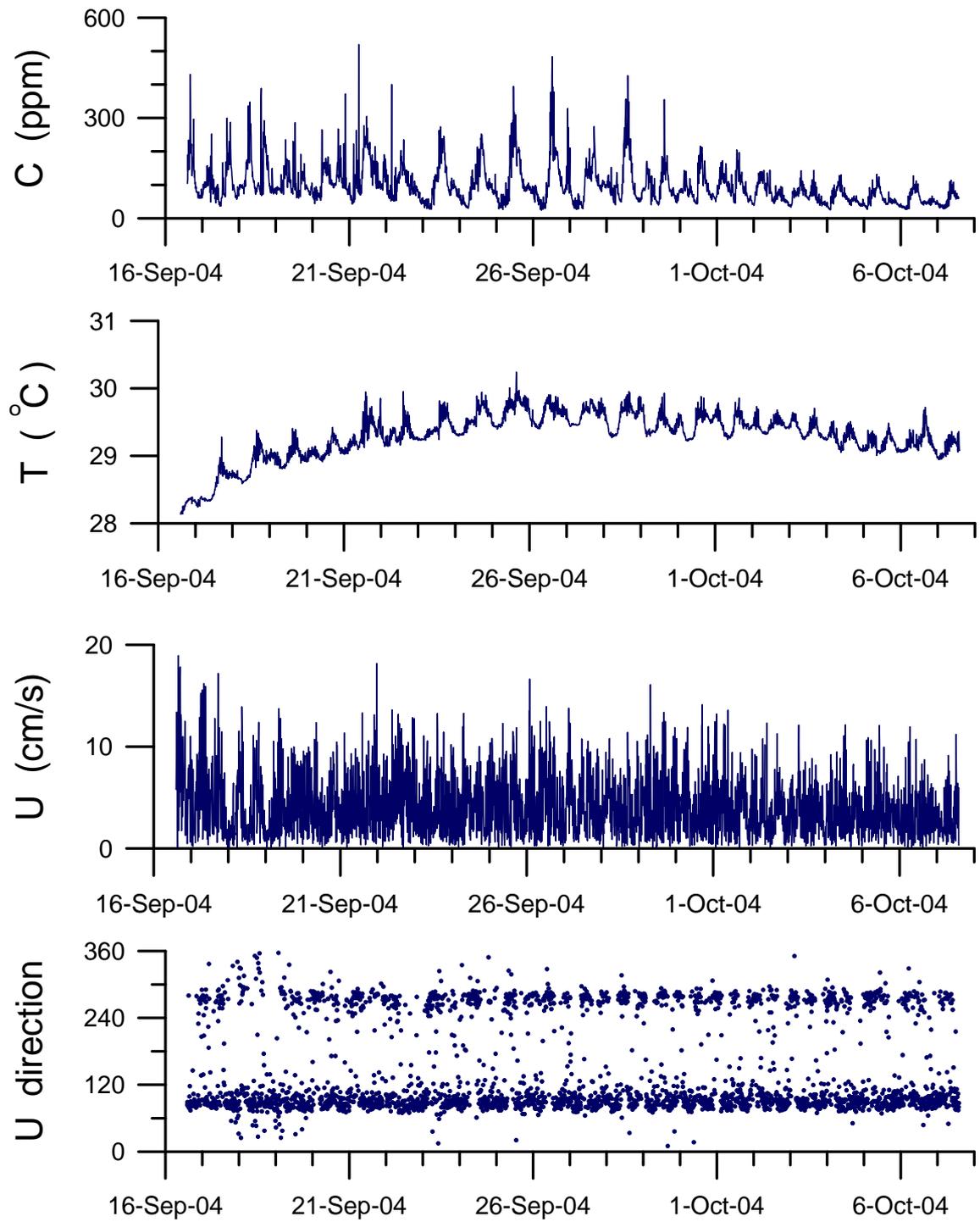


圖 3.25 前鎮河測站底床上 50cm 處觀測結果

3.1.3 鹽水溪河口流況與懸浮質濃度觀測

鹽水溪入海口位於高雄港內航道最南端的中鋼碼頭旁，如照片 3.9，為一大排水溝涵，常有垃圾隨污水排入港區。主流全長約 4.6 公里，上游至山明路與利昌街交接處已是涓涓細流，照片 3.10 為積滿淤泥的鹽水溪上游。雖然該溪平時排水量很少，溪口水流主要為感潮流運動，但在雨季或颱風來臨時仍有可能將淤泥沖刷排入港池內，成為港池淤泥來源之一。

鹽水溪口測站水深約 7 米，淤泥很厚，表層呈浮泥狀。以 2.5 米長取樣管，如照片 3.11，鑽取底質後，現場以每 10 公分間隔切取約 100cc 土樣，攜回實驗室分別量其含水量，分析結果如圖 3.26，表層有約 15 公分厚的液泥層，容易隨水流移動。中鋼碼頭旁大型礦砂船或運煤船停靠頻繁，露天式卸貨作業極易將礦砂或煤灰等散落碼頭邊海中。觀測作業時經常可見污水散佈於該區域海面，照片 3.12 為水面污水由該區海域向外擴散情形，圖 3.27 即為剖面觀測之懸浮質濃度分佈情形，表層較低的溫度與鹽度表示上游有淡水注入溪水中。鹽水溪上游未設截流站，河道中又累積大量污泥，豪雨或颱風季節極可能將污泥帶入港區內。照片 3.13 與照片 3.14 分別為中鋼碼頭旁佈放儀器及收回儀器髒污情形，

圖 3.28 為安裝於鹽水溪口測站底床上 3 米位置之儀器觀測結果，時間為今(93)年 8 月 11 日至 9 月 8 日，水中懸浮質約 200ppm 以下，流速很小。圖 3.29 則為安裝於測站底床上 0.5 米位置之儀器觀測結果，時間為今(93)年 9 月 8 日至 9 月 17 日，水中懸浮質在 9 月 10 日及 11 日兩天曾短暫高達 4000ppm，流速雖不大，主要流向則是往港區方向，水溫也有短暫下降情形，此為當時午後雷陣雨所造成，可見上游洪流確有將河道積泥沖刷進入港區的可能。



照片 3.11 位於中鋼碼頭旁的鹽水溪入海口



照片 3.12 鹽水溪上游河床淤泥累積情形



照片 3.13 底質鑽採用不鏽鋼底泥鑽管



照片 3.14 由中鋼海域向港區擴散的表層污水



照片 3.15 中鋼碼頭旁佈放儀器情形



照片 3.16 佈放水中沾滿污泥的觀測儀器

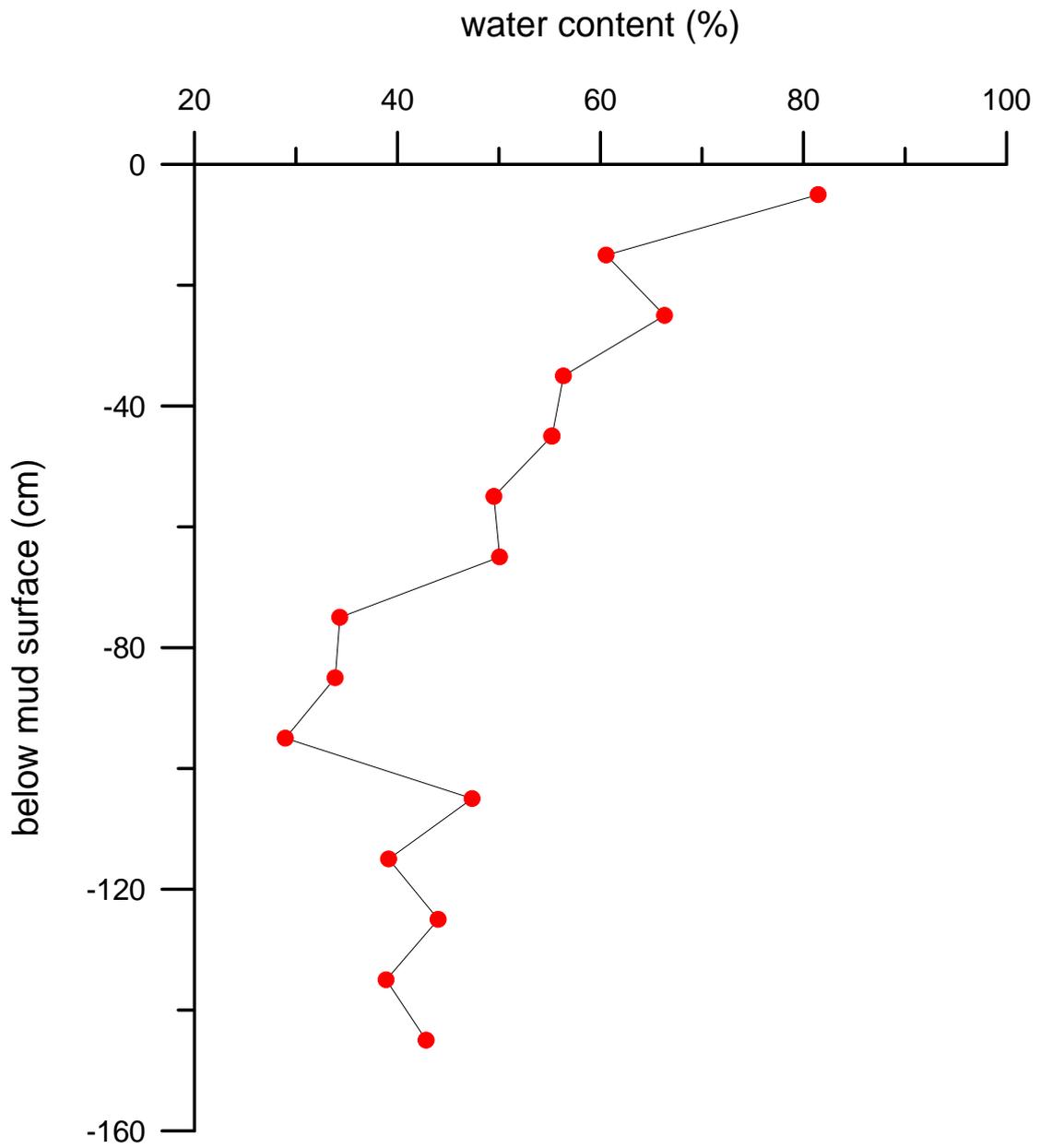


圖 3.26 鹽水溪口測站底泥含水量之垂直分佈

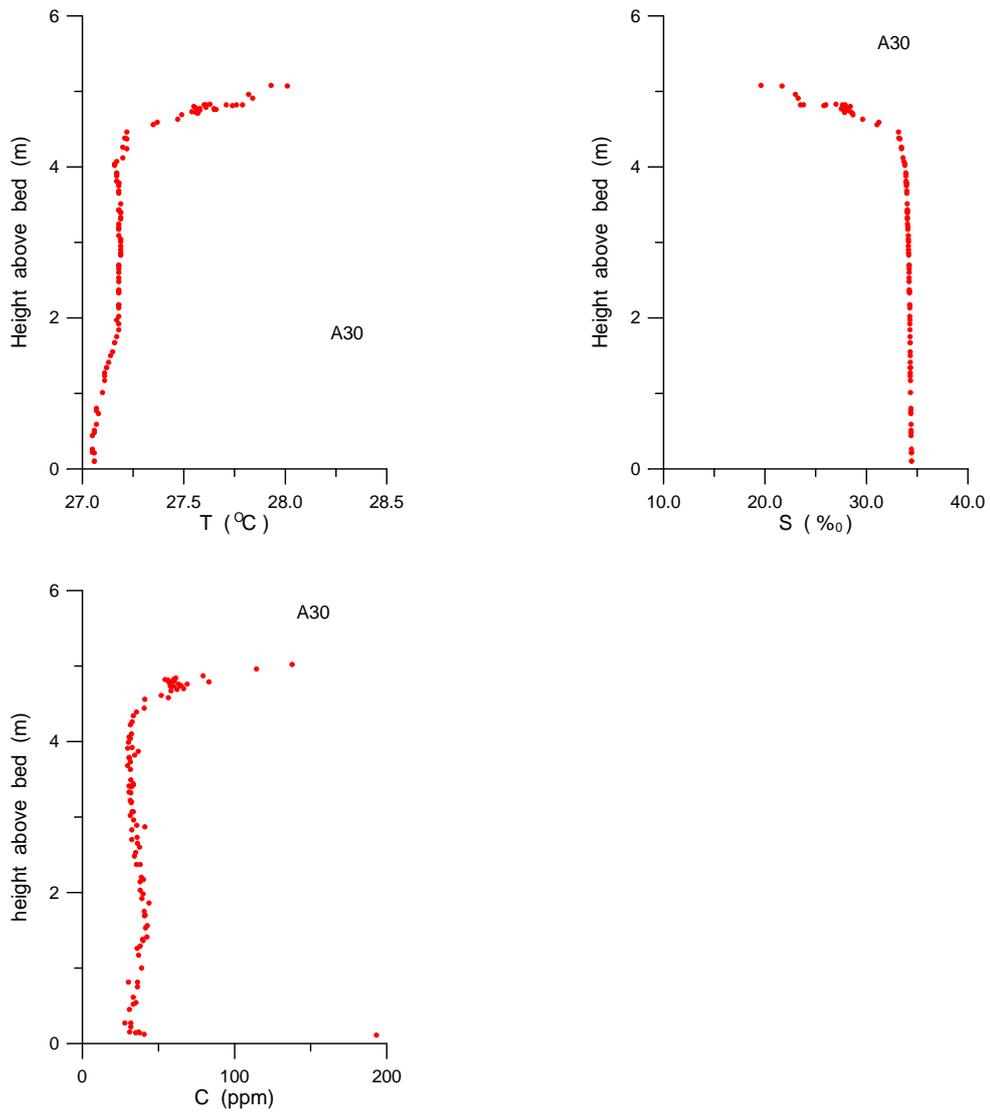


圖 3.27 中鋼測點之剖面溫、鹽與懸浮質濃度分佈

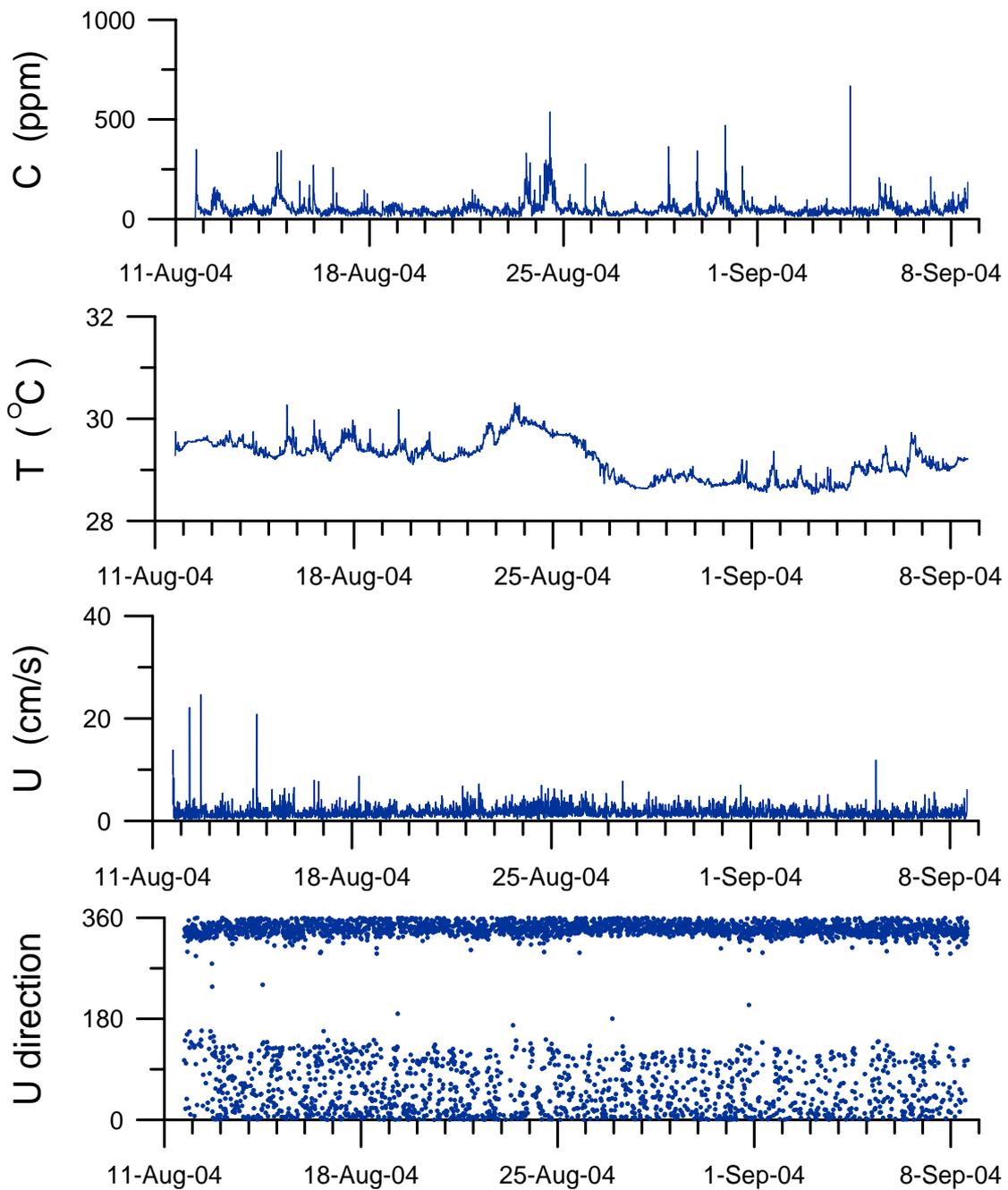


圖 3.28 鹽水溪口測站底床上 3 米位置之儀器觀測結果

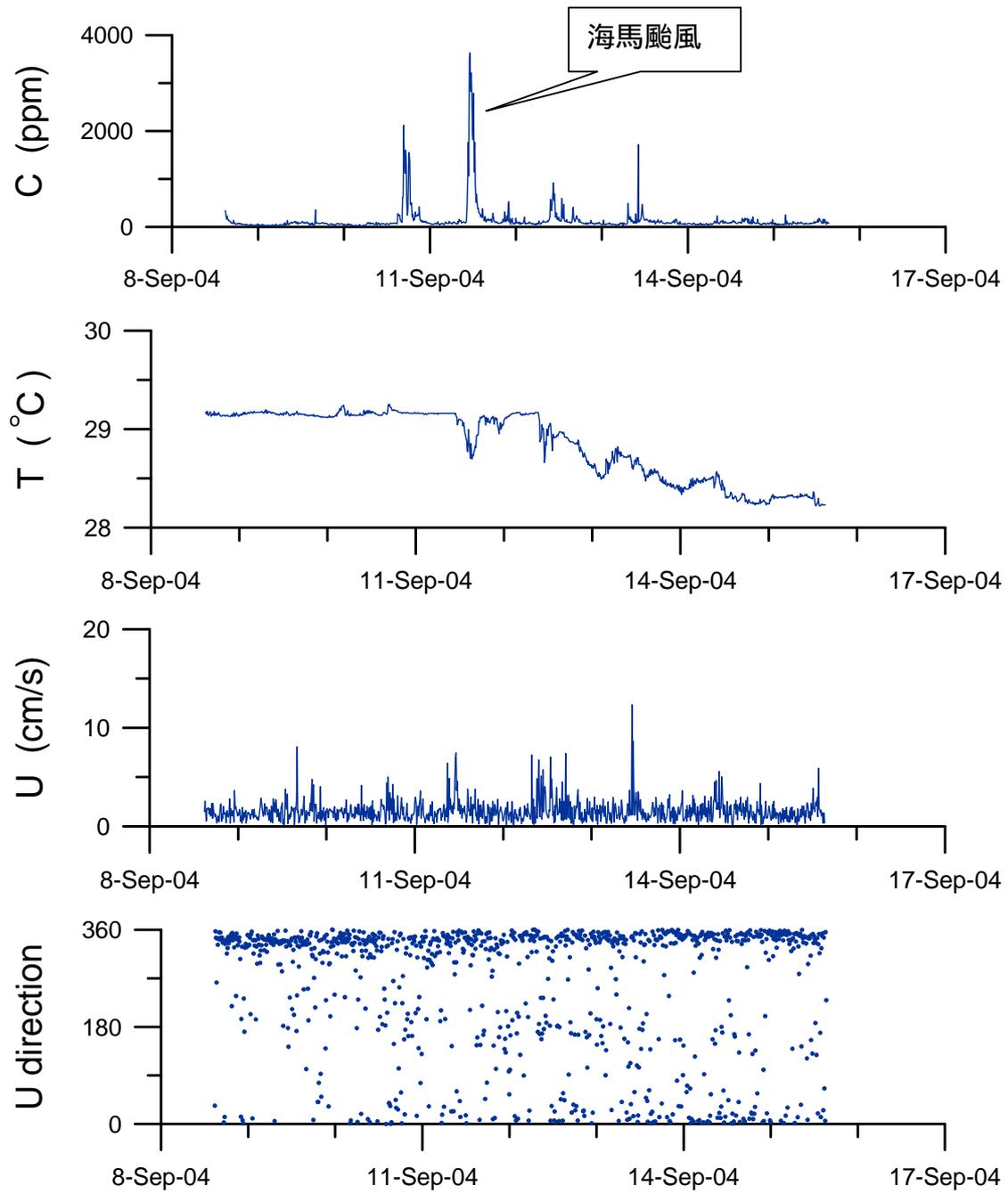


圖 3.29 鹽水溪口測站底床上 0.5 米位置之儀器觀測結果

3.1.4 一港口流況與懸浮質濃度觀測

高雄港一港口出口處寬約 300 公尺，防波堤長約 900 公尺，堤頭水深約 9 公尺，港口外兩側漂沙不易直接輸入，除非有較大波浪如颱風時可能在堤頭外形成高濁度渾水，隨著海流進入港區，然後在靜穩環境下沉澱淤積。照片 3.17 為一港口觀測儀器安裝作業情形；照片 3.18 則為觀測完成收回之海流儀、濁度計與水位計等。該處航道中央水深約 12 公尺，航道寬只有 130 公尺，往來船隻頻繁，船隻通過時常引發強勁海流，作業時相當危險，儀器只能安裝於航道南邊碼頭下。

圖 3.30 為一港口測站安裝於底床附近之儀器觀測結果，該處水深約 5 公尺，由圖顯示底床附近海流隨漲、退潮而變，漲潮時海水由外向港內流，水溫較低，流速很小，約只有 10~30cm/s；而退潮時海水由港內向外流，水溫較高，流速較大，約 50~70cm/s。平時水中懸浮質濃度不大，大約在 100ppm 以下；7 月 28 日至 29 日外海觀測站測得波高 3m(參考圖 5.18)，一港口底層漲潮流出現 500ppm 較大懸浮質濃度，顯然外海波浪大時，部份懸浮沙會被底層漲潮流帶入港池內。

圖 3.31 則為安裝於測站平均潮位下約 1 公尺之儀器觀測結果，由圖顯示表層附近海流流向一直往外，不隨潮位變化而變，只有流速在漲潮時會減小。所以該處表層流主要是向外，因流速剖面分佈，底層較小流速受外海漲潮流影響會隨潮汐改變流向。



照片 3.17 一港口觀測儀器安裝作業情形



照片 3.18 觀測完成收回之觀測儀器

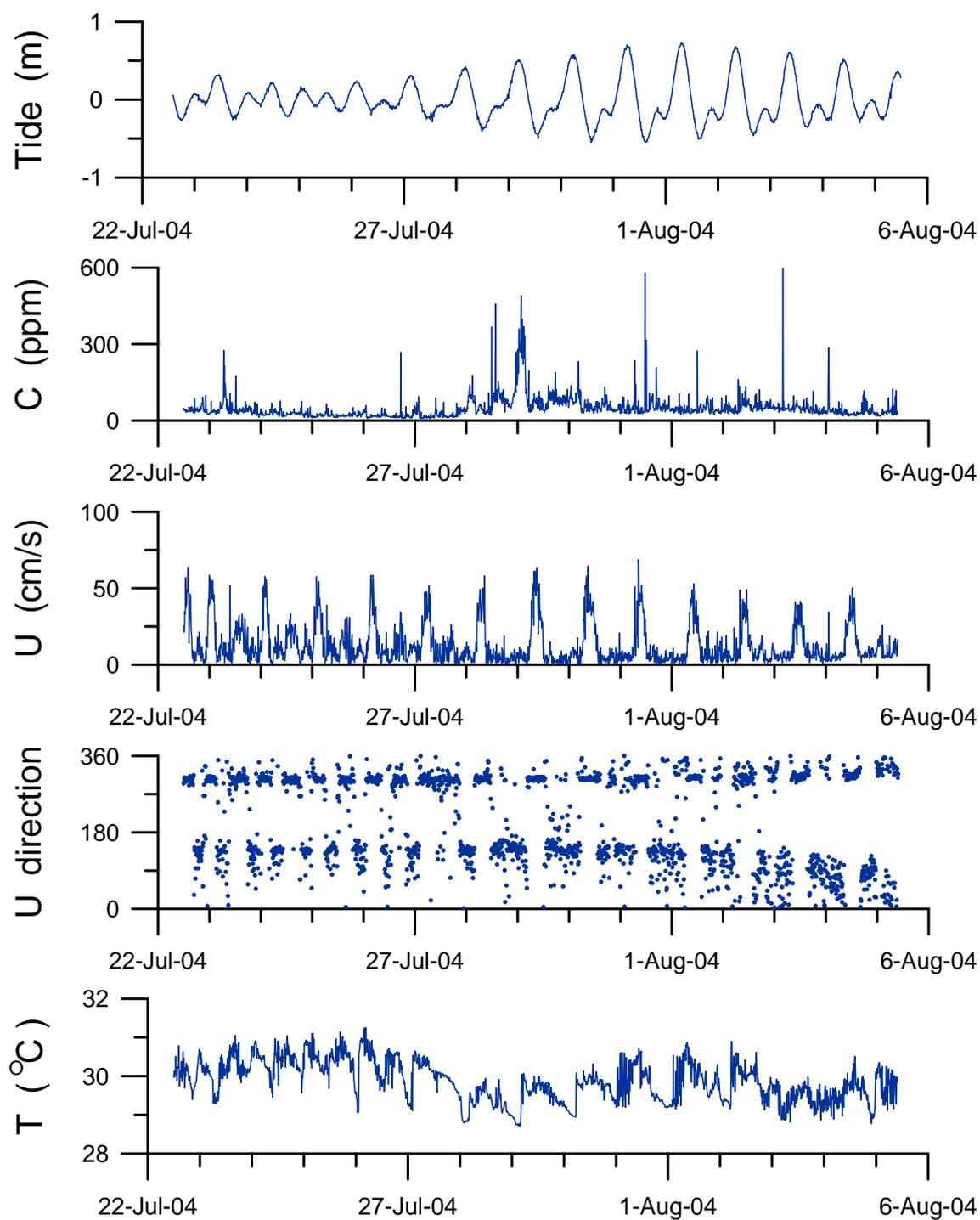


圖 3.30 一港口測站底床附近觀測結果

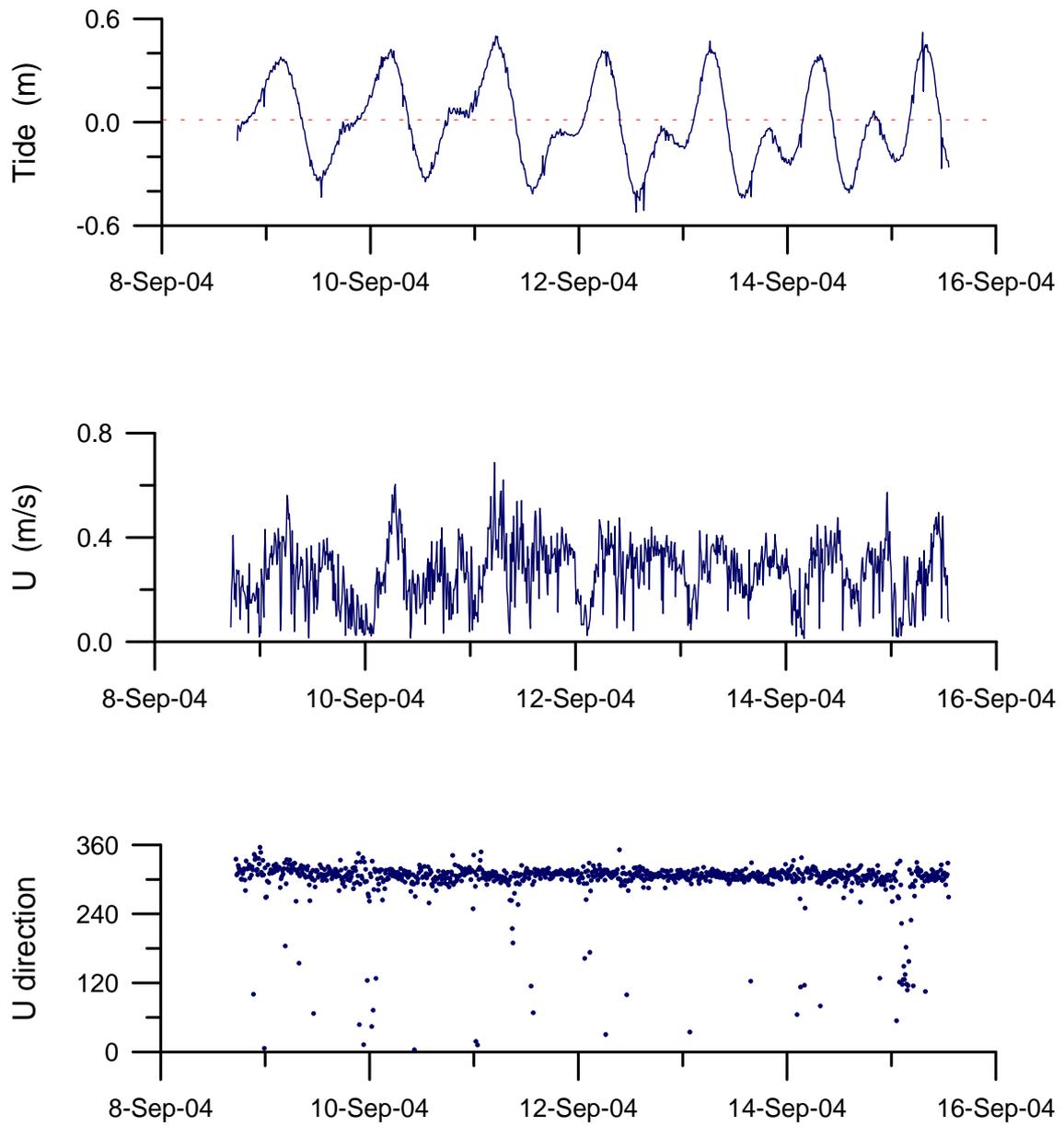


圖 3.31 一港口測站平均潮位下 1.07m 之觀測結果

3.1.5 二港口流況與懸浮質濃度觀測

高雄港二港口出口處寬約 400 公尺，北防波堤由岸向海延伸約 900 公尺，南防波堤由岸向海延伸約 1500 公尺，堤頭水深約 15 公尺，可有效阻絕港口外兩側漂沙直接輸入，除非有較大波浪如颱風時在堤頭外形成高濁度渾水，隨著海流進入港區沉澱淤積。照片 3.19 為安裝於二港口觀測站之海流儀、濁度計與水位計等；照片 3.20 則為安裝作業情形。該處航道中央水深約 22 公尺，航道寬約 250 公尺，往來船隻以大型貨櫃輪居多，船隻航行時貨櫃輪螺旋槳葉轉動引起的紊流可能使部份底泥懸浮漂移，帶動航道內漂沙活動，但因過於危險，作業船隻無法靠近測量。

圖 3.32 為二港口測站安裝於航道出口南岸水深 7 公尺底床上儀器位置示意圖，由於中央航道水深 22 公尺，該位置測得海流仍屬於上層流。當注入港內河川排水量大時，出口處表層流可能持續向外海排水，底層流則因流速小會隨外海漲、退潮而往復流動。圖 3.33 為該測站儀器觀測結果，由圖顯示海流不隨漲、退潮而變，流速約小於 20cm/s，主要流向向西，亦即持續向外海方向流動，屬於上層流。水中懸浮質濃度不高，大約在 100ppm 上下。

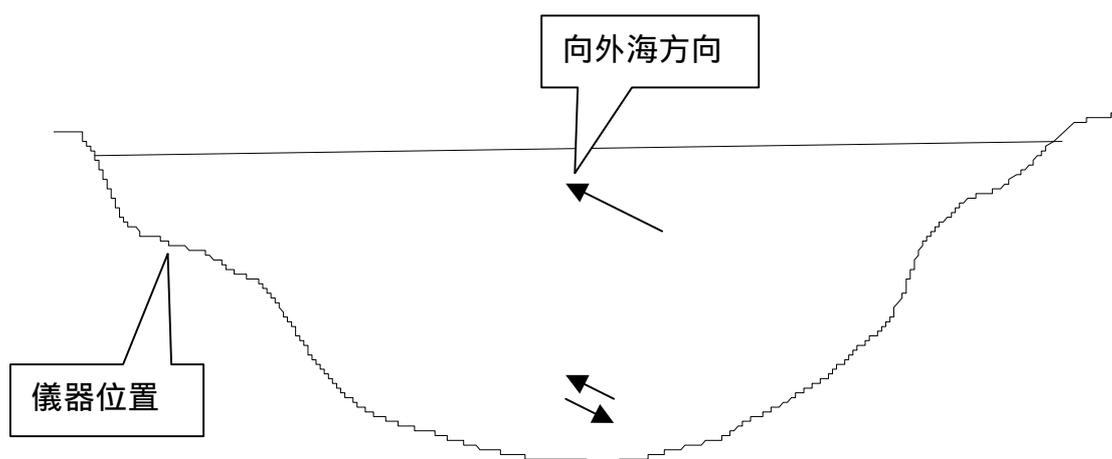


圖 3.32 二港口測站儀器位置示意圖



照片 3.19 安裝於二港口觀測站之海流儀、濁度計與水位計



照片 3.20 觀測儀器安裝作業情形

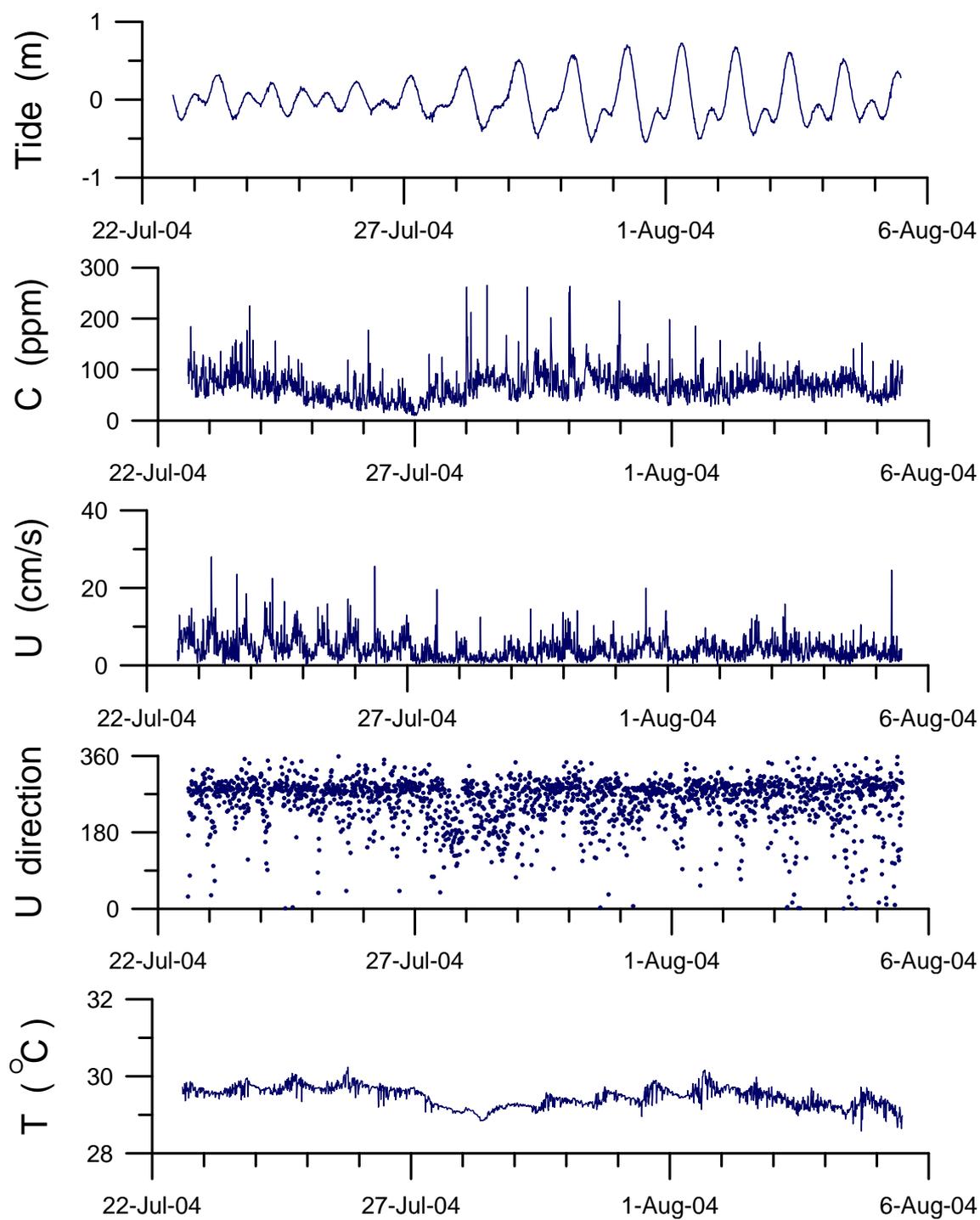


圖 3.33 二港口測站觀測結果

3.1.6 第五船渠流況與懸浮質濃度觀測

高雄港內側次航道之第五船渠位置如圖 3.1，該船渠因河道短及儀器數量不足而未列入主要長期觀測名單。但仍有進行剖面測量、底質取樣分析及量測淤泥深度。渠道口寬 80 公尺，渠道長約 1700 公尺，源自前鎮區之高雄硫酸銨廠附近，出口附近水道內設有水泥樁與圍欄禁止船隻出入，示如照片 3.21。第五船渠道道久未疏濬，早已累積深厚淤泥，也是高雄市五大黑龍江之一。近年來高雄市政府已努力規劃建設市區下水道系統，企圖以愛河模式來整治所有黑龍江，因此在第五船渠上游新建一座截流站閘門，如照片 3.22。

圖 3.34 為在第五船渠口測點 A13，位置如圖 3.2，測得之剖面流與懸浮質濃度分佈，由圖顯示水面附近因太陽照射水溫較高，鹽度稍低，懸浮質濃度只有表層稍高，底層濃度應是儀器觸底所引起。水流似有分層現象，上層水流向港區，下層水流向上游，不過流速約只有 10cm/s。圖 3.35 為上游成功路橋下測點 A35，位置如圖 3.2，測得之剖面流與懸浮質濃度分佈，由圖顯示此處已有明顯分層現象，水深 1.6 公尺，上層約四分之一深度為淡水，懸浮質濃度較高，約 220ppm；淡水層下方有一混合層，然後是海水層，懸浮質濃度較低，約 70ppm。圖 3.36 為更往上游水閘門前方的 A36 測點，位置如圖 3.2，上層約五分之三深度為淡水，水溫較低，懸浮質濃度較高，約 400ppm；淡水層下方為混合層及海水層，水溫較高，懸浮質濃度較低，約 120ppm。

第五船渠水道平時用於排放附近市區廢水，由於該水道內仍積有深厚淤泥，在豪大雨或颱風期間可能隨洪流再懸浮流入港區內。



照片 3.21 第五船渠出口處之水泥樁圍欄



照片 3.22 中山路第五船渠新建截流站閘門

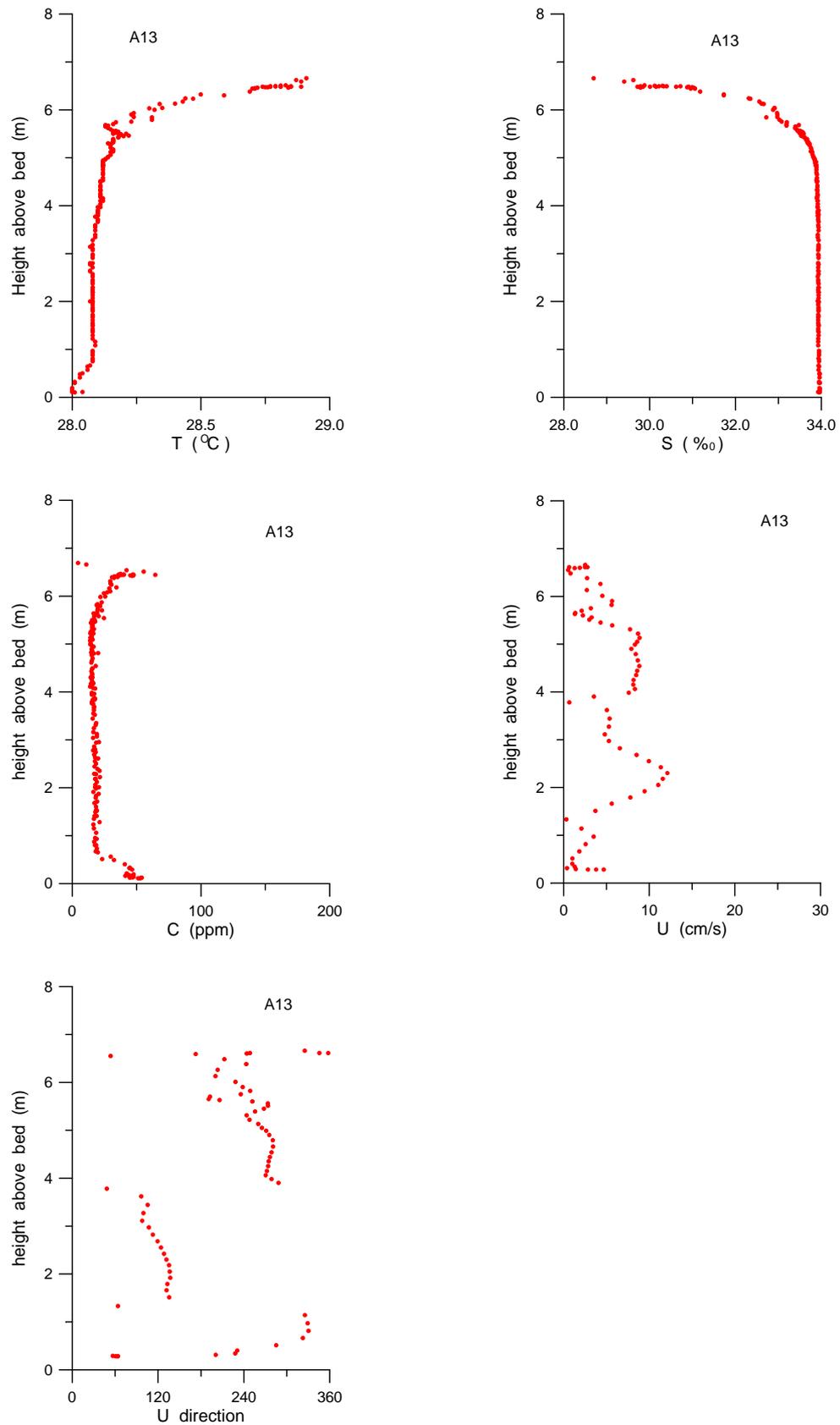


圖 3.34 測點 A13 測得之剖面流與懸浮質濃度分佈

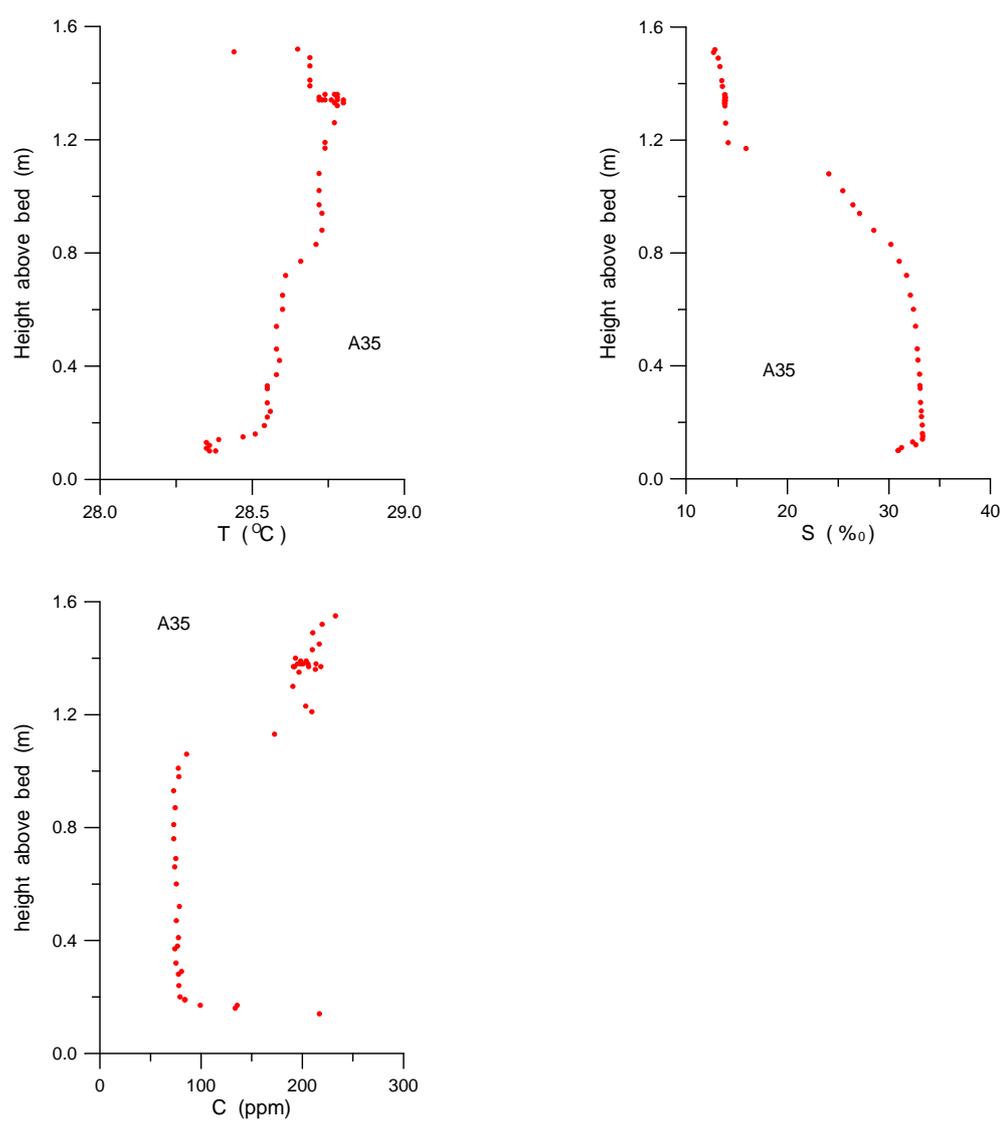


圖 3.35 測點 A35 測得之剖面溫、鹽與懸浮質濃度分佈

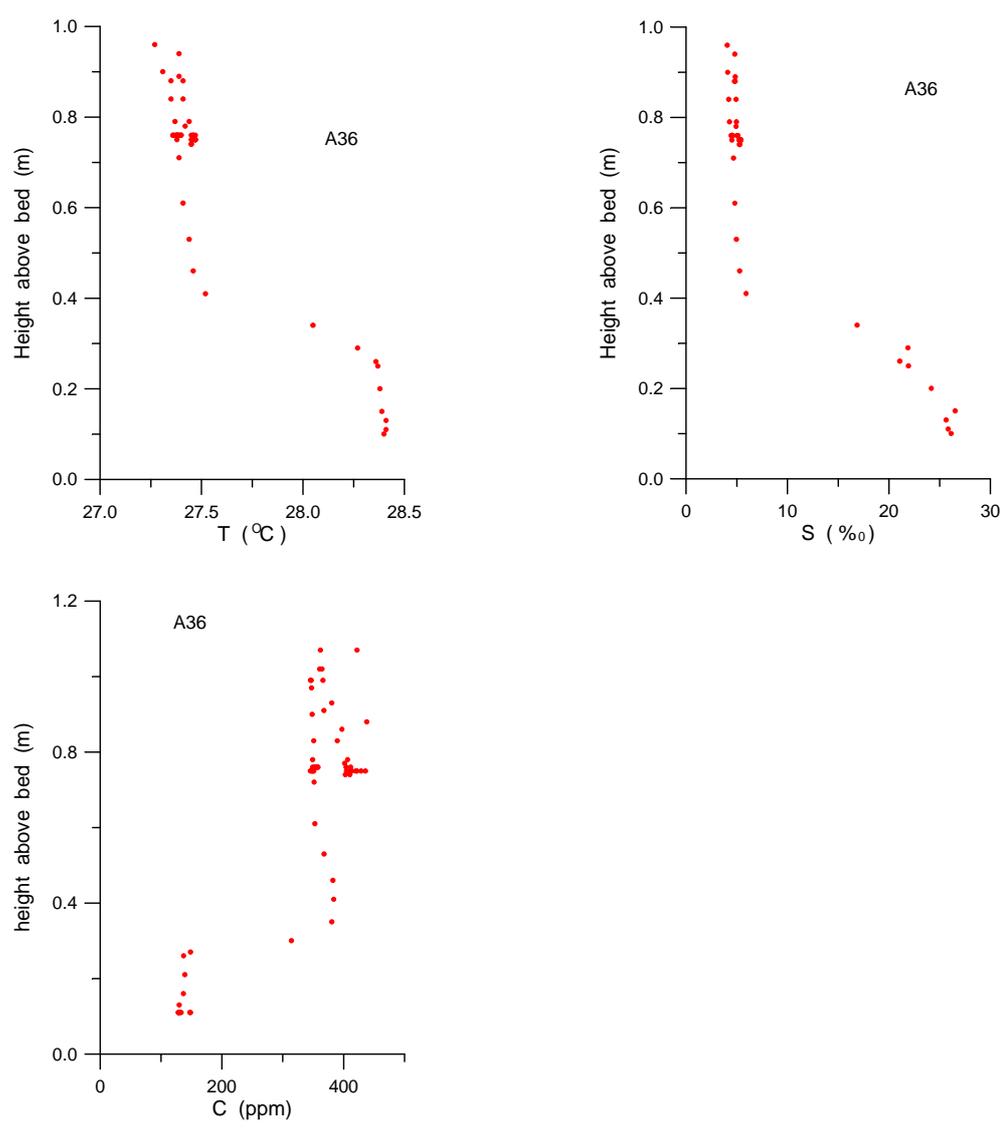


圖 3.36 測點 A36 測得之剖面溫、鹽與懸浮質濃度分佈

第四章 港區懸浮質與底質調查分析

漂沙運動一般需要水流帶動，高雄港港池內淤泥來自懸浮質沉澱或底移質漂沙。二港口航道出口處中央水深約 22 公尺，寬約 250 公尺，潮流不大時，底床剪應力很小，不易帶動漂沙；一港口航道出口處中央水深約 12 公尺，寬度只有 130 公尺，帶動漂沙的可能性比二港口大。其他注入港池的河川與船渠水道，因水淺河道窄淤泥多，上游流量大時，可成為最大的輸沙來源。懸浮質部份經水流攜帶進入港池中，在港池靜穩環境下擴散沉積成為淤泥，為瞭解港池懸浮質濃度與底質分佈情形，在港區內外選擇適當地點進行剖面懸浮質濃度觀測與底質取樣分析。

4.1 港區懸浮質濃度觀測與分析

為瞭解港區內懸浮質濃度分佈狀況，於港區內、外及各河道上游進行剖面流及懸浮質濃度分佈觀測，觀測結果取懸浮質濃度之深度平均分別依照測點座標繪於港區地圖上。圖 4.1 及圖 4.2 為港區懸浮質濃度平面分佈情形，由一港口外海至港區內主航道、次航道與仁愛河下游水道皆有懸浮質濃度較小的清澈水質。不過，在仁愛河截流站上游、第五船渠水道、前鎮河上游及鹽水溪口附近顯然有較大懸浮質濃度，以擴散的角度來看，這些地點就是污染源位置。

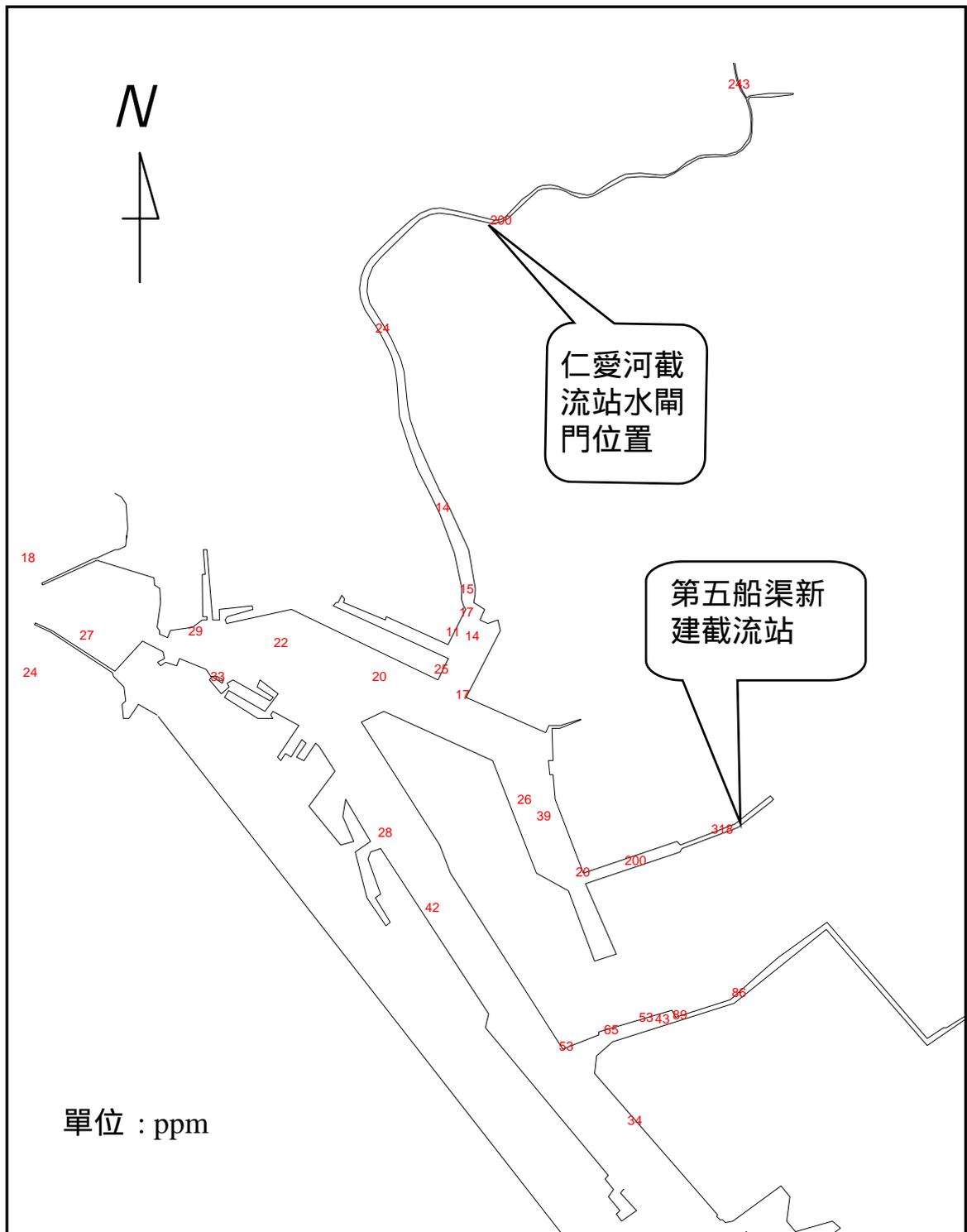


圖 4.1 港區懸浮質濃度分佈圖(I)

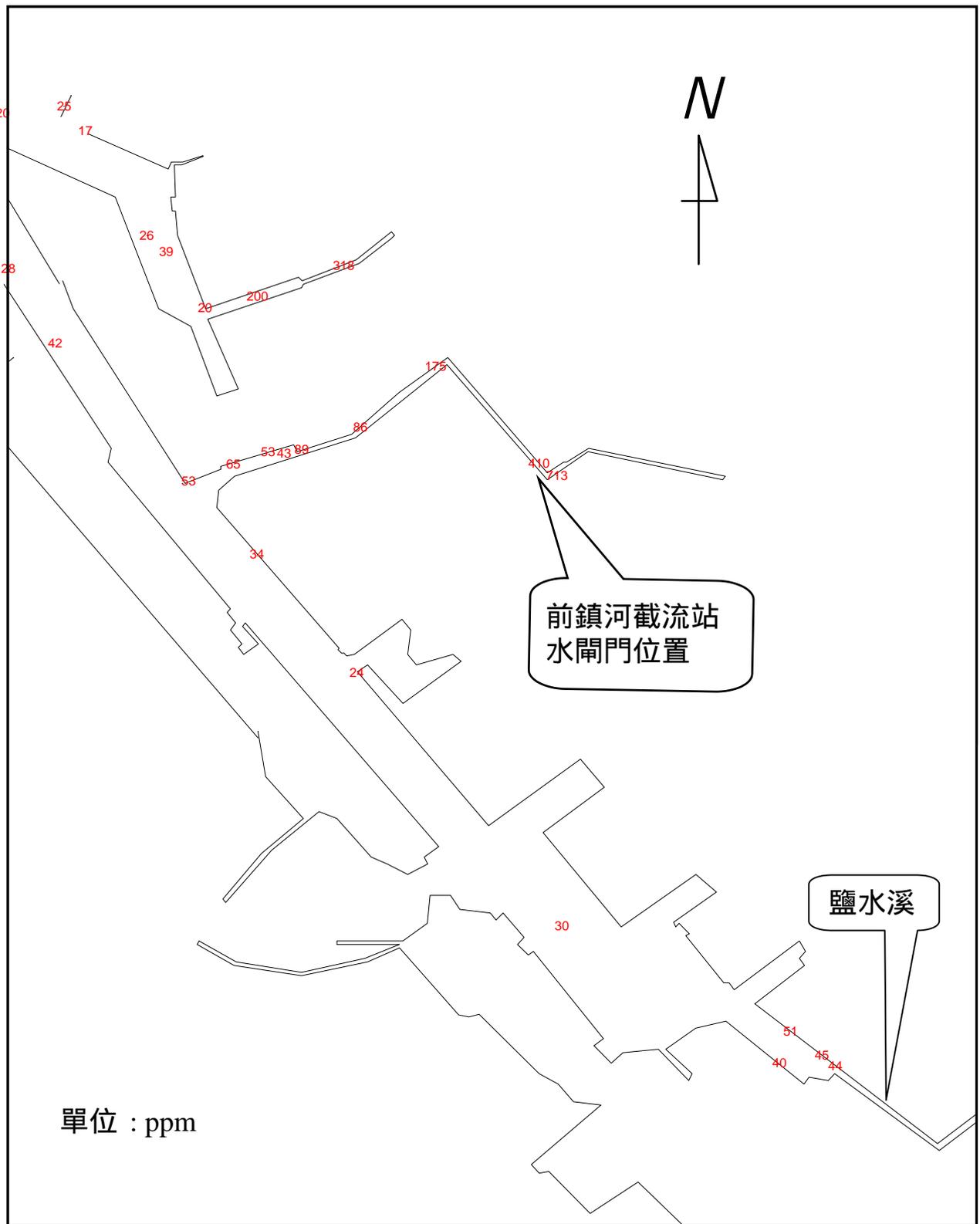


圖 4.2 港區懸浮質濃度分佈圖(II)

4.2 港區底質取樣與分析

4.2.1 底質取樣作業及分析方法

為瞭解高雄港港區底泥特性，本研究在港區內外共選擇 35 個取樣點，進行底質取樣與粒徑分析作業。取樣時以 GPS 定位並由潛水人員直接在底床上以取樣瓶蒐集底質泥土，密封運回實驗室以 105 烘乾後即進行粒徑分析作業。港池內大部份底質為粒徑極細之沉泥，分析方法主要是以德製 FRITSCH 雷射粒徑儀分析，其粒徑量測範圍為 0.1 ~ 550 μm 。部份含有較粗沙粒的樣本則先以搖篩機作篩分析，粒徑小於 75 μm 之底盤部份再以雷射粒徑儀處理，然後將兩者合併，求出 D_{50} 值，其分析圖繪於圖 4.3 至圖 4.6。

4.2.2 底質粒徑分析結果及說明

根據 Einstein(1966)，定義沙粒徑範圍為 2000 μm ~ 62 μm ，淤泥粒徑範圍為 62 μm ~ 4 μm ，分類如表 4.1。

表 4.1 泥沙之分類

名稱	粒徑(μm)
極粗沙	2000 ~ 1000
粗沙	1000 ~ 500
中沙	500 ~ 250
細沙	250 ~ 125
極細沙	125 ~ 62
粗淤泥	62 ~ 31
中淤泥	31 ~ 16
細淤泥	16 ~ 8
極細淤泥	8 ~ 4

各底質取樣點編號、經緯度座標、 D_{50} 值及位置說明列如表 4.2。由於部份取樣點較為接近，為避免在圖上表示時字體重疊造成困擾，因此只顯示 28 個點，依其編號及座標標示於圖 4.7 與圖 4.8，可以更清楚各取樣點之實際位置。對照粒徑分佈圖與其取樣位置，分別說明如下：

1. 第一點位於一港口外北方約 300 公尺，水深約 8 公尺處，雖然由粒徑之累積分佈曲線得 D_{50} 為 $15.49 \mu\text{m}$ ，其粒徑分佈則顯示有兩類主要成份，一為中沙，另一為淤泥，由於該點距岸約 1000 公尺，主要粒徑應該屬於淤泥範圍，不過沿北防波堤流向外海之沿岸流可將近岸較粗沙粒帶往外海，因此該點會含有沙的成份。
2. 第二點位於南防波堤南方約 500 公尺位置，水深約 10.5 公尺，其成份主要為細沙與淤泥，不過細沙的成份較多些。
3. 第三點位於南防波堤南方約 250 公尺位置，水深約 9 公尺，成份大部份為細沙~粗沙，顯示該處沿南防波堤帶往外海之沿岸漂沙活動旺盛。

一港口外南、北兩側沿岸都有漂沙活動將沙帶往港口附近，這些沙有可能被浪或流帶入港口內，由於防波堤之遮蔽效應在阻絕外海波浪的直接衝擊，進入港口的沙主要靠潮流來帶動。

4. 第四點位於港口內北側其成份為粗沙~淤泥之混合物， D_{50} 為 $69.72 \mu\text{m}$ 。
5. 第五點位於港口航道中央，成份也是粗沙~淤泥之混合物，不過分佈曲線較不平滑，可能是取樣關係或是位於航道中央受過往船隻螺旋槳攪拌作用的結果。
6. 第六點在一港口安檢站旁，主成份為細沙與淤泥，含沙量較多。
7. 第七點位於 VIVA 船塢旁，水深約 8 公尺，主成份為含沙之淤泥，淤泥量較多。

8. 第八點與第九點都在迴船池北側的 21 號繫船浮筒旁，主成份也是含沙之淤泥，顯示部份細沙有進入到港池部份水域。
9. 從第十點往南至二港口北側的第二十四點止，除了仁愛河口的第十三點及前鎮河口的第二十點有部份細沙外其餘皆大至為淤泥成份，第十六點有極少量中沙獨立出現在此海床上，不知其來源為何？不過主要成份還是淤泥，河口細沙有可能由上游沖刷帶來。
10. 第二十五點與第二十六點位於二港口的主航道出口處南邊，只有極少量的細沙成份，而位於出口以南港池的第二十七點至第二十九點卻含有較多量的細沙粒徑成份，且位於更南側的鹽水溪口的第三十點與第三十一點也是不含細沙的淤泥。因此二港口以南港區細沙成份來源有兩種可能性，一是來自二港口外海，繞過第二十五點後進入該區水域，畢竟該區航道寬廣水域遼闊；一是來自該水域附近卸煤碼頭的煤灰散落物或污水排放。
11. 第三十二點與第三十三點位於二港口防波堤內，由細沙與部份泥組成，較接近港口的第三十三點則含沙成份較多。
12. 第三十四點與第三十五點分別位於港口外北側與南側，北側的點含泥量較多，南側的點則幾乎全為細沙，顯然南側沿防波堤北上的漂沙活動較為旺盛。

綜合上述分析可以看出港口外的漂沙活動會將細沙帶到港口附近，在潮流帶動下部份進入一港口與二港口的防波堤內，一港口的海外漂沙可以到達迴船區；但是二港口的海外漂沙只到達航道出口處，也許有部份進入二港口以南水域。此外，港池內絕大部份水域底質以 $10\ \mu\text{m}$ 左右的細淤泥為主，與各河川入口底質相同，因此高雄港港池內淤泥主要還是來自注入港區的河川及船渠水道。

表 4.2 港區底質取樣點座標、D₅₀ 及位置說明

序號	樣本編號	東經座標 120° X'	北緯座標 22° Y'	D ₅₀ (μ m)	位置說明
1	930723B	15.3	37.468	15.49	一港口外北方
2	930723A	15.4	36.638	41.25	一港口外南方
3	931007E	15.471	36.819	217.5	一港口外南方接近南 防波堤
4	931007F	15.673	37.232	69.72	一港口堤內北側
5	930723C	15.627	37.189	19.94	一港口堤內中央航道
6	930723D	16.013	36.909	26.01	一港口安檢站旁
7	930723E	16.393	36.786	10.69	VIVA 船塢旁
8	930604K	16.53629	36.98495	9.92	21 號浮筒旁
9	930723F	16.518	36.992	10.72	21 號浮筒旁
10	930723G	17.002	36.821	7.96	25 號浮筒旁
11	930604J	17.0026	36.83697	6.74	25 號浮筒旁
12	920808C	17.41887	37.11393	3.89	仁愛河口海上皇宮旁
13	930603G	17.42387	37.20492	7.77	仁愛河口
14	930604I	17.70805	36.36203	5.61	31 號浮筒旁
15	930604H	17.7841	36.16206	5.57	33 號浮筒旁
16	930723H	16.921	36.252	8.93	44 號浮筒旁
17	930604L	16.92455	36.23405	5.91	44 號浮筒旁
18	930604M	17.21273	35.7971	4.64	50 號浮筒旁
19	930723I	17.198	35.808	6.35	50 號浮筒旁
20	930603A	18.30844	35.20518	11.39	前鎮河口
21	930603B	18.07329	34.62626	5.33	61 號浮筒旁
22	930722K	18.182	34.476	6.47	62 號浮筒旁
23	930603C	18.79676	33.64038	7.15	長榮碼頭邊
24	930722I	18.748	33.731	6.99	長榮碼頭邊
25	930603D	19.34211	33.08346	7.84	2 號燈旁
26	930722G	19.333	33.084	8.45	2 號燈旁
27	930722H	19.641	32.937	9.56	4 號燈旁
28	930603E	19.65831	32.94048	10.45	4 號燈旁
29	930722J	19.826	32.714	8.72	6 號燈旁
30	930805A	20.909	32.302	5.99	中鋼碼頭邊
31	930603F	20.94215	32.28156	7.07	中鋼碼頭邊

32	931007J	18.868	32.94	89	二港口内 C 燈標旁
33	931007I	18.219	32.801	99.77	二港口内南防波堤旁
34	930722C	17.952	33.124	41.54	二港口外北方
35	931007H	18.234	32.633	178.9	二港口外南方

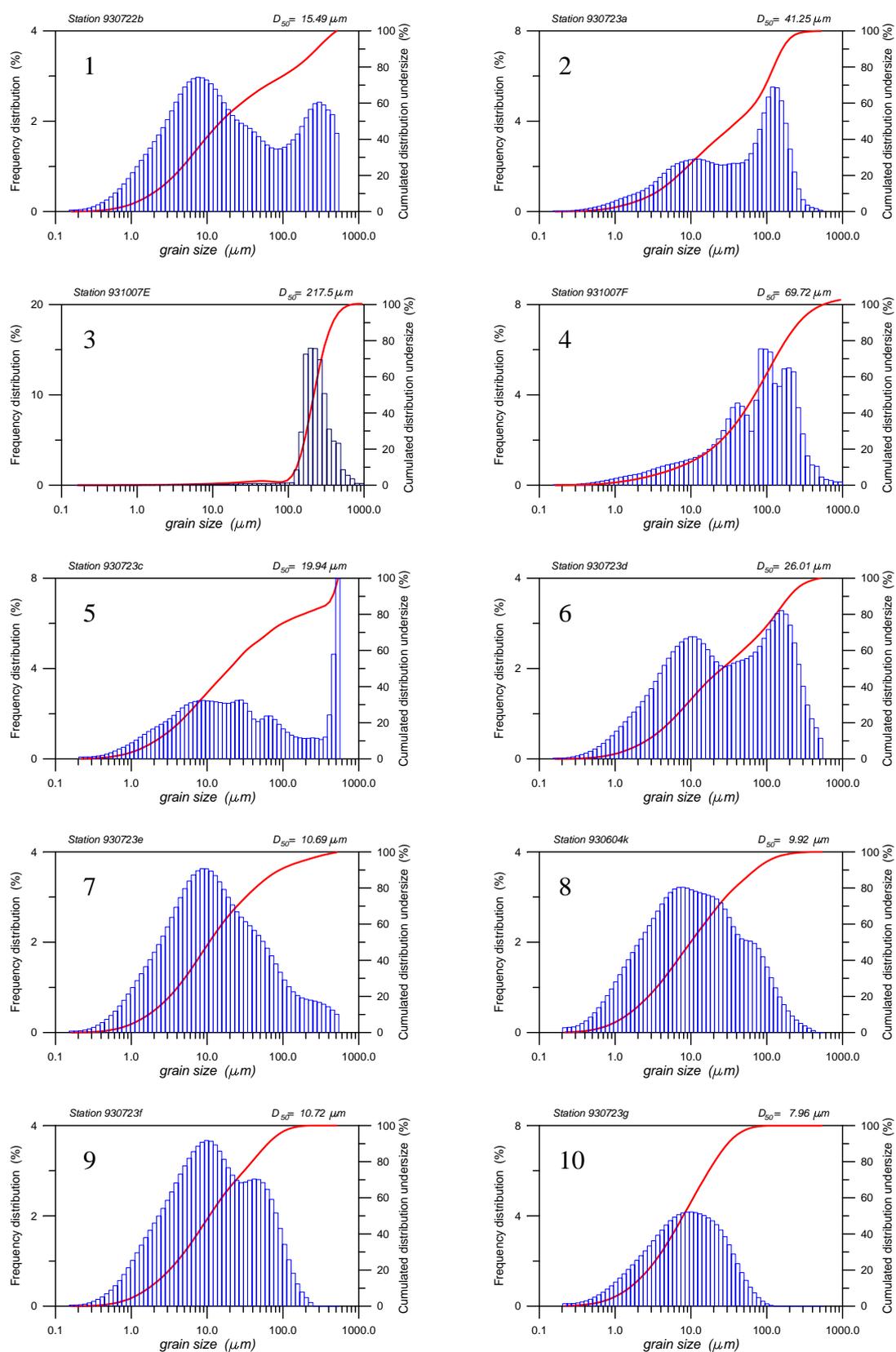


圖 4.3 港區底質粒徑分析圖(I)

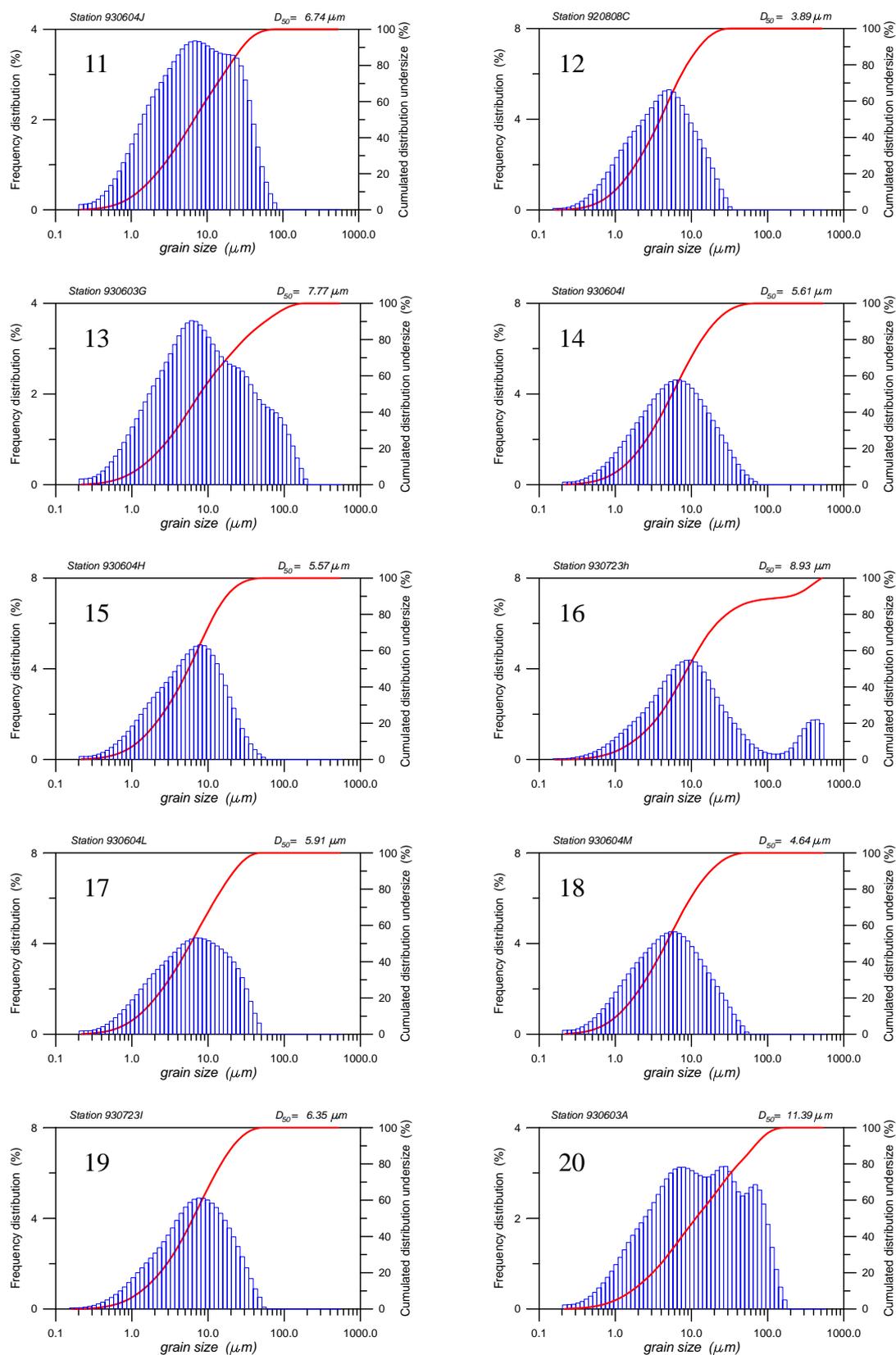


圖 4.4 港區底質粒徑分析圖(II)

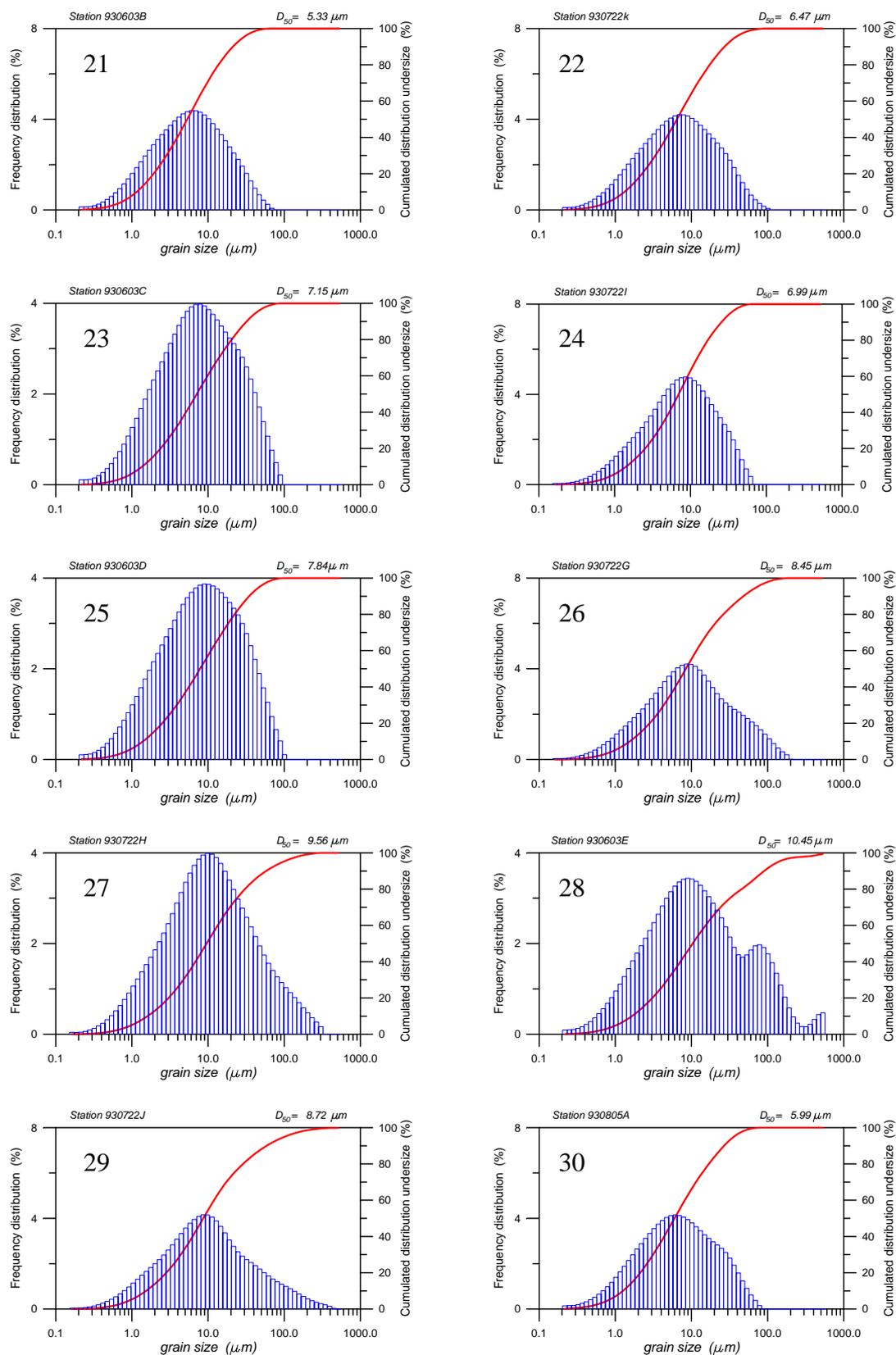


圖 4.5 港區底質粒徑分析圖(III)

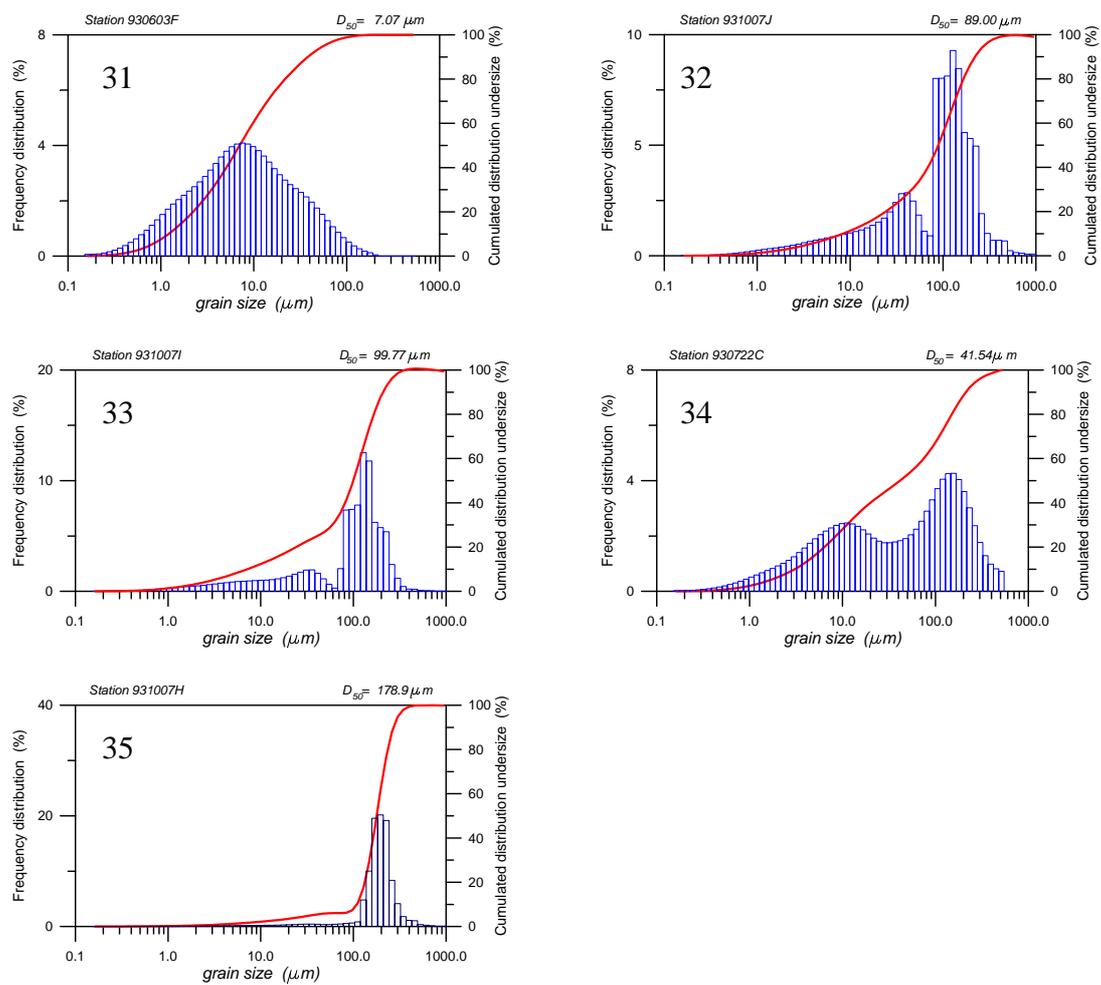


圖 4.6 港區底質粒徑分析圖(IV)

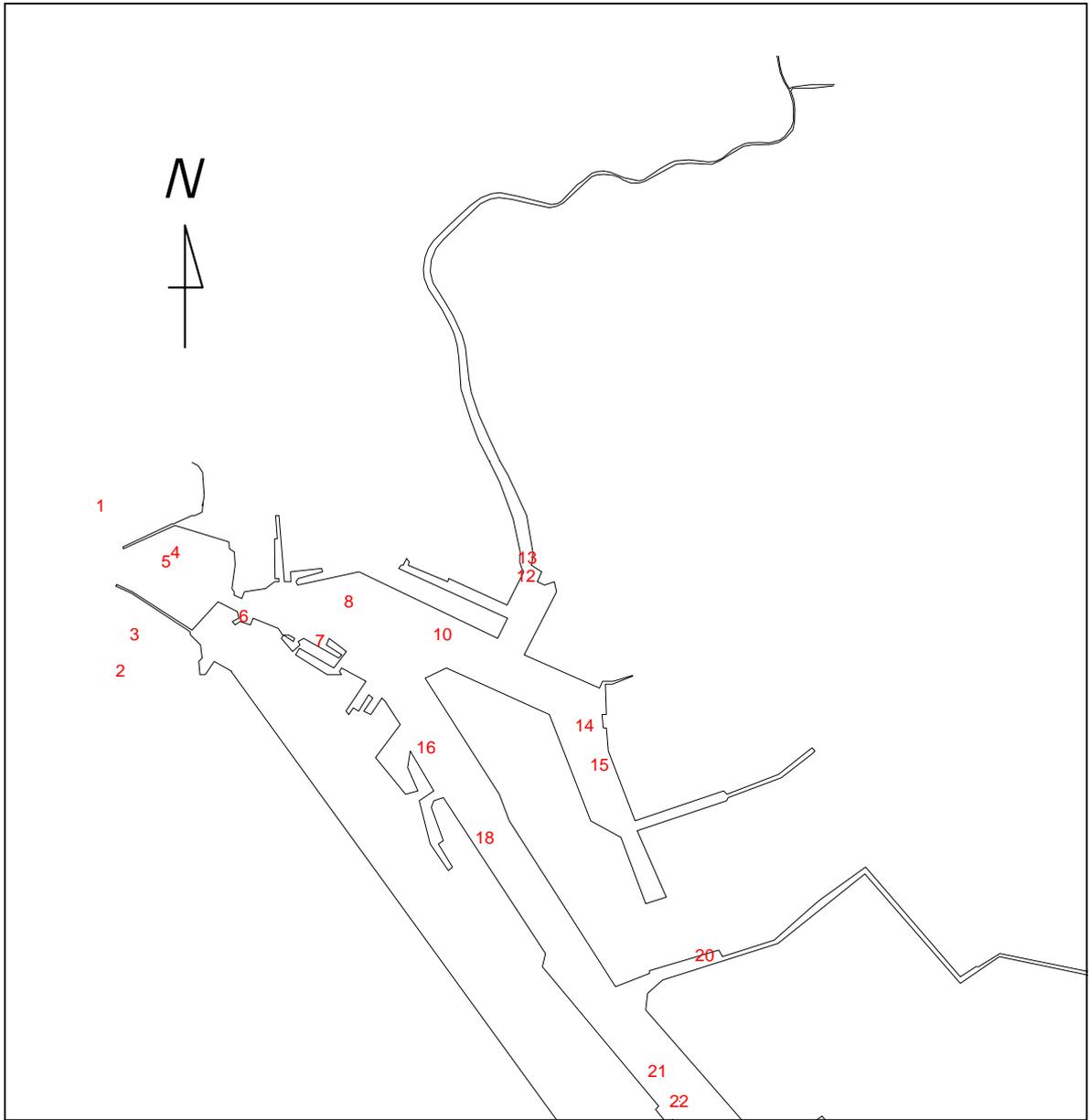


圖 4.7 港區底質取樣點位置示意圖(I)

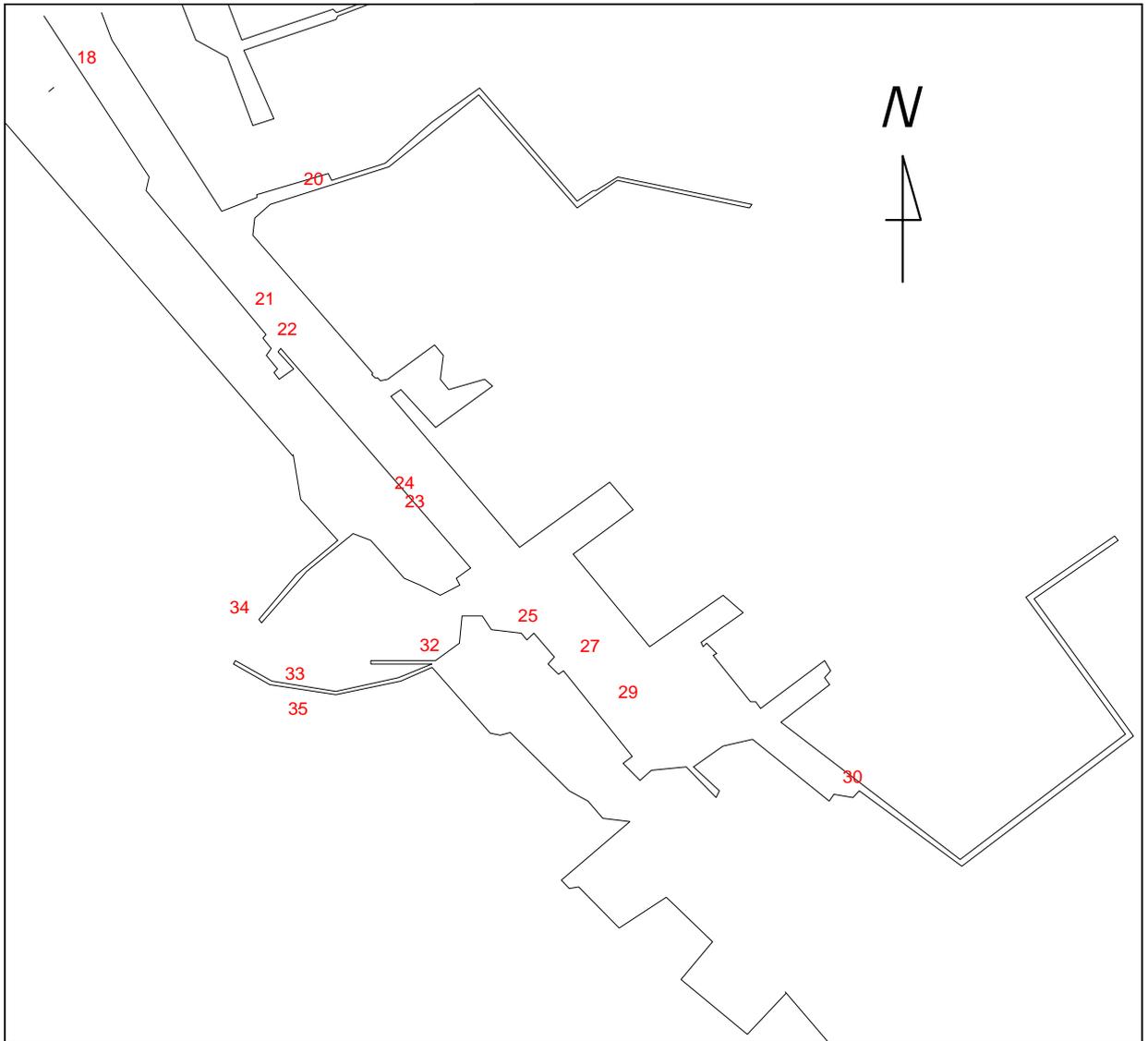


圖 4.8 港區底質取樣點位置示意圖(II)

第五章 高雄港外海波浪與海流觀測分析

5.1 觀測方式及說明

本所於 2000 年 12 月中旬在高雄一港口與二港口間亦即高雄市中區污水處理廠附近海域，安裝一組波高波向與剖面海流即時傳送監測系統做長期之觀測，本計畫另在高雄港一港口北側及二港口南側建立海流觀測站，各觀測站之位置分布如圖 5.1 所示，進行一年四次(春、夏、秋及颱風季)之現場觀測，項目包含海流、波浪、海水位等三大項，依觀測時間可分為春季觀測、夏季觀測、秋季觀測及颱風季觀測。觀測包含中央氣象局發布陸上颱風警報時期，所以當研判有颱風可能侵台前，即適時佈放觀測儀器於規劃之測站，俾利量測颱風影響高雄港海域之海象資料。

海流剖面、波浪、海水位及水溫觀測作業，提供高雄港港池淤沙調查研究，從而了解港池內各區淤沙之來源，做為碼頭船席淤積浚挖及拋泥之處理依據，以減少營運成本及提高服務航商之滿意度。

5.1.1 海流觀測

- (1) 測站：一港口北側及二港口南側各 1 站，共二站。
- (2) 時間：春、夏、秋季期間及颱風季期間各進行 1 次，共四次，每次逐時觀測 15(含)天以上。
- (3) 觀測項目：流速、流向。

颱風季期間觀測以中央氣象局發布台灣本島陸上警報為依據。

5.1.2 波浪觀測

- (1) 測站：一港口北側及二港口南側各 1 站，共二站。

(2) 時間：春、夏、秋季期間及颱風季期間各進行 1 次，共四次，
每次逐時觀測 15(含)天以上。

(3) 觀測項目：示性波高、示性週期。

5.1.3 海水位觀測

(1) 測站：一港口北側及二港口南側各 1 站，共二站。

(2) 時間：春、夏、秋季期間及颱風季期間各進行 1 次，共四次，
每次逐時觀測 15(含)天以上。

(3) 觀測項目：海水位、海水溫度。

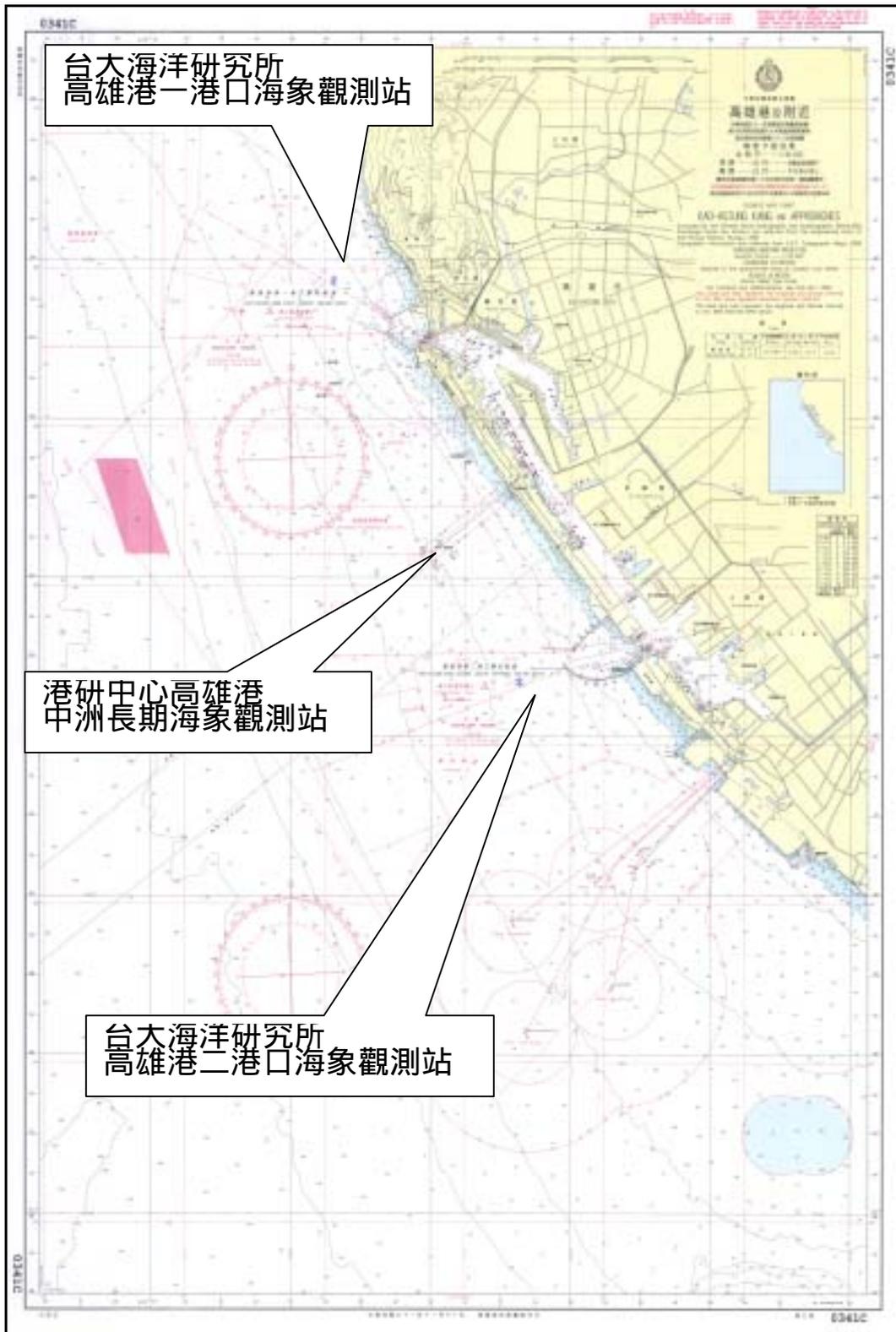


圖 5.1 高雄港流況調查 觀測站位置

5.2 觀測調查期間天氣概述

5.2.1 天氣概述

現場作業自四月初至九月底止，觀測期間初雖偶有東北季風影響觀測海域，但勢力均不強，主要影響之天氣系統為颱風。自四月之舒達颱風生成，迄十月下旬，西北太平洋共生成 24 個颱風。其中六月生成 5 個颱風，八月更生成 8 個颱風，西北太平洋颱風概況如表 5.1，中央氣象局共發布八次海上颱風警報，其中七次還發布陸上颱風警報，警報概況如表 5.2，最近十年颱風生成及警報發布概況如表 5.3，各次颱風警報單如表 5.4。

2004 年發生的颱風當中只有康森(編號 0404)生成於南海，七月初的敏督利颱風(編號 0407)中心由花蓮市南方登陸後，一路北行再由淡水附近出海進入台灣海峽，影響期間引進強烈西南氣流為台灣地區帶來超過 1000 毫米的雨量。之後的之艾利(編號 0417)及海馬(編號 0420)颱風同時也都為本島帶來大量雨水，並導致翡翠、石門等水庫被迫洩洪，帶來極大的災害。十月下旬的納坦颱風(編號 0424)中心由宜蘭頭城附近登陸時，短短二、三個小時為福隆帶來超過 300 毫米的雨量，之後由淡水至富貴角間進入台灣北部海面，由於行徑速度穩定，並未與東北季風產生共伴效應，也並未在北台灣產生非常劇烈的降水。

表 5.1 民國九十三年 西北太平洋颱風概況

(資料時間迄 93 年 10 月 31 日)

颱風編號	中文名稱	英文名稱	生成期間	最大強度	近中心最大風速(m/sec)	最大風速(kt)及出現時間(日/國際時)(美網站)
200401	舒達	SUDAL	04/04 04/15	中度	43.0	130 1000Z
200402	妮妲	NIDA	05/13 05/21	中度	45.0	140 1612Z
200403	奧麥斯	OMAIS	05/16 05/21	輕度	20.0	65 1800Z
200404	康森	CONSON	06/04 06/11	中度	33.0	95 0912Z
200405	璨樹	CHANTHU	06/09 06/13	中度	33.0	45 0918Z
200406	電母	DIANMU	06/13 06/21	強烈	51.0	155 1606Z
200407	敏督利	MINDULLE	06/23 07/04	中度	45.0	125 2818Z
200408	婷婷	TINGTING	06/25 07/03	中度	43.0	80 2818Z
200409	康柏斯	KOMPASU	07/13 07/16	輕度	20.0	45 1418Z
200410	南修	NAMTHEUN	07/25 08/01	中度	43.0	115 2618Z
200411	瑪瑙	MALOU	08/04 08/05	輕度	20.0	30 0406Z
200412	莫蘭蒂	MERANTI	08/03 08/08	中度	38.0	90 0518Z
200413	蘭寧	RANANIM	08/07 08/13	中度	40.0	90 1200Z
200414	馬勒卡	MALAKAS	08/10 08/12	輕度	20.0	35 1100Z
200415	梅姬	MEGI	08/14 08/19	中度	33.0	65 1800Z
200416	佳芭	CHABA	08/18 08/31	強烈	55.0	155 2218Z
200417	艾利	AERE	08/19 08/26	中度	38.0	85 2412Z
200418	桑達	SONGDA	08/27 09/07	中度	48.0	130 3118Z
200419	莎莉佳	SARIKA	09/04 09/07	輕度	28.0	60 0512Z
200420	海馬	HAIMA	09/12 09/13	輕度	18.0	30 1218Z
200421	米雷	MEARI	09/20 10/01	中度	40.0	120 2406Z
200422	馬鞍	MAON	10/04 10/10	強烈	53.0	140 0800Z
200423	陶卡基	TOKAGA	10/13 10/21	中度	43.0	125 1700Z
200424	納坦	NOCK-TEN	10/16 10/26	中度	43.0	110 2300Z

表 5.2 中央氣象局 康森颱風警報單

發 布 時 間：民國 93 年 6 月 9 日 23 時 30 分

警 報 種 類：解除颱風警報

颱風強度及編號：中度颱風，編號第 4 號

(國際命名：CONSON，中文譯名：康森)

警 報 報 數：第 19 報

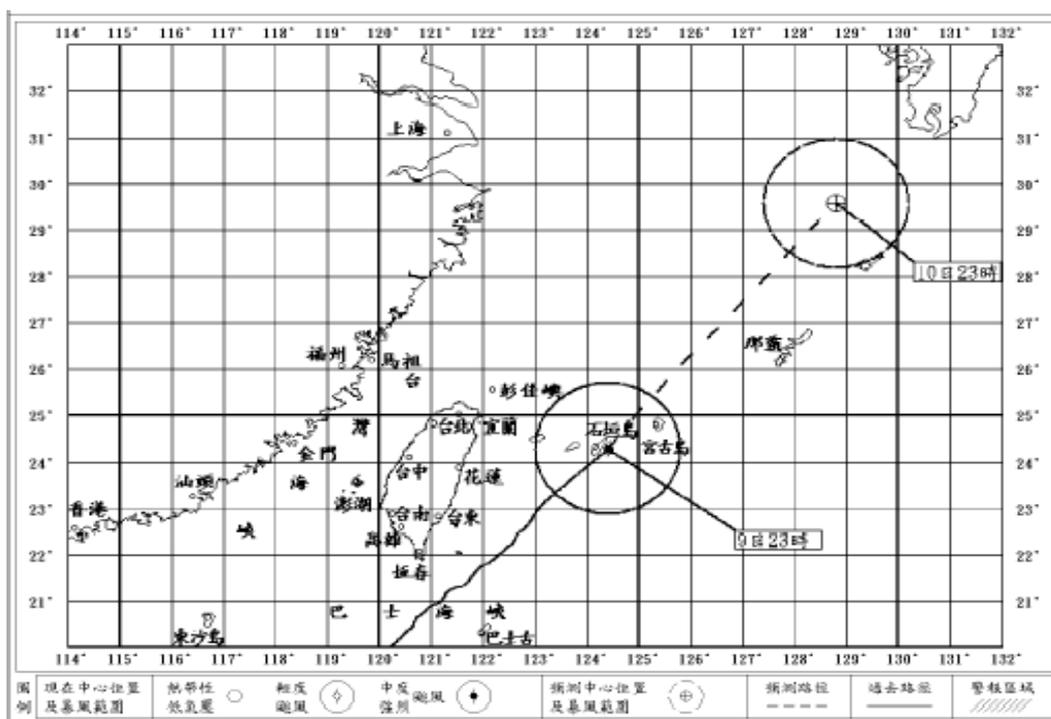
中 心 氣 壓：970 百帕

目 前 時 間：9 日 23 時

中 心 位 置：北緯 24.3 度，東經 124.4 度，

近中心最大風速：每秒 33 公尺(約每小時 120 公里)，相當於 12 級風。

附 註：自 8 日 0 時至 9 日 23 時各地出現較大累積雨量地區如下：
宜蘭縣冬山 281 毫米、屏東縣牡丹池山 112 毫米、花蓮縣龍澗 109 毫米、蘭嶼 92 毫米、台北縣泰平 87 毫米、綠島 71 毫米、台東縣大武 52 毫米。



颱風動態：6 月 6 日於菲律賓西方海面生成，朝北北東緩慢移動，8 日其中心進入巴士海峽，移向轉向東北且加速通過台灣東南近海，朝琉球方向移動，11 日接近日本時變性為溫帶氣旋。

5.2.2 現場工作概況

各測站地理位置如圖 5.1，各次之觀測記錄如表 5.3 至表 5.5，各項觀測作業所獲得之有效資料時間如表 5.6 至表 5.11，本計畫現場觀測作業之工作紀要如表 5.12 所述，現場觀測作業情況如照片 5.1 至照片 5.12 所示。各季觀測作業概況如下：

(一) 春季觀測

春季觀測於民國 93 年 04 月 02 日上午 09 時自高雄觀光碼頭旁搭乘海研三號研究船，前往一港口及二港口海流預定觀測位址佈放錨碇座，並由潛水人員下水安裝觀測儀器，於當日 12 時 10 分順利完成各項預定作業。第 1 次回收工作於民國 93 年 04 月 20 日進行，兩站觀測儀器均順利回收，但二港口錨碇座翻倒，經檢視海底地形，發現正巧位於防波堤拋石區與沙質底交界處，嗣後從儀器資料顯示第二天即已傾斜，故此錨碇位址不佳決定放棄；資料處理時一港口海流儀器亦故障，故首次春季海流觀測作業宣告失敗，但潮波儀資料均為正常。為爭取時效於民國 93 年 04 月 23 日進行春季第二次觀測作業，擬將二港口錨碇座扶正並移位，但搜尋多次並未尋獲只好放棄，一港口順利完成儀器安裝作業。為使觀測作業能繼續進行，工作人員立即重新設計製作錨碇座，並於民國 93 年 05 月 04 日商請海研三號研究船協助佈放新錨碇座，一港口位置約在原錨碇座東南方 80 米處，二港口位置約在原錨碇座西南方 400 米處，隨即順利完成二港口儀器安裝作業。春季第二次回收工作於民國 93 年 05 月 19 日進行，兩站觀測儀器均順利回收，資料處理亦均為正常。

(二) 颱風季觀測

民國 93 年 06 月 08 日晨研究人員研判位於南海之輕度颱風康森可能威脅台灣，隨即緊急進行各項準備工作，作業人員於傍晚抵二港口進行颱風季海流觀測儀器佈放時海況已極差，在完成儀器安裝作業時已天色全暗；為使颱風季觀測作業能繼續進行，工作人員繼續進行一

港口儀器安裝作業，並於當晚 21 時 40 分順利完成各項預定作業。颱風季回收工作於民國 93 年 06 月 24 日進行，兩站觀測儀器均順利回收，資料處理亦均正常，颱風季觀測作業已按進度執行完成。

(三)夏季觀測

夏季觀測於民國 93 年 07 月 22 日上午 07 時，自高雄觀光碼頭旁搭乘工作船前往一港口及二港口布放海流等觀測儀器，回收工作於民國 93 年 08 月 10 日進行，兩站儀器均順利回收。但二港口之觀測儀器遭折損，研判係漁船拖網所造成，資料處理時發現第二天即已如此，所幸儀器並未流失。工作人員隨即準備第二次布放作業，並於民國 93 年 08 月 13 日進行夏季第二次觀測作業，夏季第二次回收工作於民國 93 年 08 月 31 日進行，除一港口之潮波儀遺失外，兩站海流觀測儀器均順利回收，資料處理均為正常，夏季觀測作業亦按進度執行完成。

(四)秋季觀測

秋季觀測於民國 93 年 09 月 08 日進行布放作業，由於一港口之前潮波儀遺失處有發現漁網纏繞，乃將觀測儀器移往新錨碇座安裝，位置在原址東南方約 80 米處水深相同，秋季回收工作於民國 93 年 09 月 24 日進行，兩站海流觀測儀器均順利回收，資料處理亦正常，秋季觀測作業及現場調查工作已按計畫執行完畢。

表 5.3 高雄港流況調查觀測紀錄

春季海流第一次觀測紀錄表

施放時間：93 年 04 月 02 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	下水時間	備註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4582	7124	(E)1C (R)1D S/N 494	H 06:58 -4 L 00:24 -43	10:40	
二港口	22 32.607 N 120 17.827 E	15.8 m	ADP 4682	7121	(E)7C (R)7D S/N 306	H 17:27 33 L 10:51 -14	12:10	

海圖座標：一港口 22 35.518 N 120 14.499 E 二港口 22 32.697 N 120 17.288 E

春季海流第一次觀測紀錄表

回收時間：93 年 04 月 20 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4582	7124	(E)1C (R)1D S/N 494	H 07:34 26 L 01:21 -22	08:45	
二港口	22 32.607 N 120 17.827 E	15.8 m	ADP 4682	7121	(E)7C (R)7D S/N 306	H 20:25 6 L 14:27 -38	09:55	錨碇座 翻倒

春季海流第二次觀測紀錄表

施放時間：93 年 04 月 23 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	下水時間	備註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	TP 7121	(E)1C (R)1D S/N 494	H 08:50 34 L 01:34 -19	10:00	
						H 22:40 -14 L 16:51 -37		

春季海流第二次觀測紀錄表

施放時間：93 年 05 月 04 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	下水時間	備註
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	RDI 2691	TP 7124	(E)7C (R)7D S/N 306	H 06:40 33 L 00:30 -31	10:50	
						H 19:36 12 L 13:34 -44		

春季海流第二次觀測紀錄表

回收時間：93 年 05 月 19 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	TP 7121	(E)1C (R)1D S/N 494	H 07:01 36 L ** **	12:25	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	RDI 2691	TP 7124	(E)7C (R)7D S/N 306	H 20:15 -8 L 14:33 -40	10:05	

表 5.4 高雄港流況調查觀測紀錄

颱風季海流觀測紀錄表

施放時間：93 年 06 月 08 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	下水時間	備 註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	7121	(E)1C (R)1D S/N 494	H 11:07 48 L 19:41 -43	21:40	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	ADP 4582	7124	(E)7C (R)7D S/N 306	H ** ** L ** **	19:40	

颱風季海流觀測紀錄表

回收時間：93 年 06 月 24 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	7121	(E)1C (R)1D S/N 494	H 11:08 36 L 19:19 -31	10:00	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	ADP 4582	7124	(E)7C (R)7D S/N 306	H ** ** L ** **	08:40	

夏季海流第一次觀測紀錄表

施放時間：93 年 07 月 22 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	7121	(E)7C (R)7D S/N 327	H 10:07 46 L 02:37 -7	10:55	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	ADP 4582	7124		H 23:52 4 L 17:49 -22	08:20	

二港口錨碇座內積砂約 55 公分；一港口新錨碇座外約積 20 公分即遭砂掩埋，舊錨碇座內積砂約 40 公分，外部情況較不嚴重。

夏季海流第一次觀測紀錄表

回收時間：93 年 08 月 10 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	7121	(E)7C (R)7D S/N 327	H 03:35 40 L 12:22 -13	10:15 09:50	ADP TP
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	ADP 4582	7124		H ** ** L ** **	08:15	儀器連 接部份 折損

表 5.5 高雄港流況調查觀測紀錄

夏季海流第二次觀測紀錄表

施放時間：93 年 08 月 13 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	TP 7121	(E)7C (R)7D S/N 327	H 05:39 54 L 13:57 -27	08:50	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	RDI 2691	TP 7124		H ** ** L ** **	07:20	

夏季海流第二次觀測紀錄表

回收時間：93 年 08 月 31 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.449 N 120 15.029 E	13 m	ADP 4682	TP 7121	(E)7C (R)7D S/N 327	H 08:04 69 L 01:18 -7	11:30	潮波儀 遺失
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	RDI 2691	TP 7124		H 21:00 22 L 15:19 -19	09:50	

秋季海流觀測紀錄表

施放時間：93 年 09 月 08 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.473 N 120 15.066 E	13 m	ADP 4682	TP 7122	(E)7C (R)7D S/N 327	H 02:33 43 L 11:47 -14	13:30	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	RDI 2691	TP 7124		H ***** L *****	16:10	

(一港口儀器移至新錨碇座)秋季海流觀測紀錄表

回收時間：93 年 09 月 24 日

站名	經緯度 (GPS)	水深	海流儀 S/N	潮波儀 S/N	釋放儀 S/N	潮 汐	出水時間	備 註
一港口	22 37.473 N 120 15.066 E	13 m	ADP 4682	TP 7122	(E)7C (R)7D S/N 327	H 03:27 59 L 11:51 -32	09:30	
二港口	22 32.465 N 120 17.680 E	16.5 m	RDI 2691	TP 7124		H ***** L *****	12:50	

註：依據氣象局潮汐表，當較低高潮位與較高低潮位間的潮差不明顯(< 4 cm)時將其忽略(*****)，此有時一天只會出現一次高低潮。

表 5.6 高雄港一港口海流觀測作業所獲得之有效資料時間表

次數	起始時間	結束時間	資料筆數	觀測項目
1	93/04/23 10:10	93/05/19 12:10	3757	流速、流向
2	93/06/08 21:40	93/06/24 09:50	2234	流速、流向
3	93/07/22 11:00	93/08/10 09:30	2728	流速、流向
4	93/08/13 09:00	93/08/31 11:10	2606	流速、流向
5	93/09/08 13:40	93/09/24 09:10	2278	流速、流向

表 5.7 高雄港二港口海流觀測作業所獲得之有效資料時間表

次數	起始時間	結束時間	資料筆數	觀測項目
1	93/05/04 11:00	93/05/19 09:50	2154	流速、流向
2	93/06/08 19:40	93/06/24 08:20	2237	流速、流向
3	93/08/13 07:30	93/08/31 09:20	2604	流速、流向
4	93/09/08 16:30	93/09/24 12:40	2282	流速、流向

表 5.8 高雄港一港口波浪觀測作業所獲得之有效資料時間表

次數	起始時間	結束時間	資料筆數	觀測項目
1	93/04/02 11:00	93/04/20 08:00	436	波高、週期
2	93/04/23 11:00	93/05/19 12:00	626	波高、週期
3	93/06/08 22:00	93/06/24 09:00	372	波高、週期
4	93/07/22 11:00	93/08/10 09:00	455	波高、週期
5	93/09/08 14:00	93/09/24 09:00	380	波高、週期

表 5.9 高雄港二港口波浪觀測作業所獲得之有效資料時間表

次數	起始時間	結束時間	資料筆數	觀測項目
1	93/04/02 13:00	93/04/20 09:00	429	波高、週期
2	93/05/04 11:00	93/05/19 09:00	359	波高、週期
3	93/06/08 20:00	93/06/24 08:00	373	波高、週期
4	93/07/22 09:00	93/08/10 08:00	456	波高、週期
5	93/08/13 08:00	93/08/31 09:00	434	波高、週期
6	93/09/08 17:00	93/09/24 12:00	380	波高、週期

表 5.10 高雄港一港口海水位觀測作業所獲得之有效資料時間表

次數	起始時間	結束時間	資料筆數	觀測項目
1	93/04/02 11:00	93/04/20 08:00	436	海水位、海水溫
2	93/04/23 11:00	93/05/19 12:00	626	海水位、海水溫
3	93/06/08 22:00	93/06/24 09:00	372	海水位、海水溫
4	93/07/22 11:00	93/08/10 09:00	455	海水位、海水溫
5	93/09/08 14:00	93/09/24 09:00	380	海水位、海水溫

表 5.11 高雄港二港口海水位觀測作業所獲得之有效資料時間表

次數	起始時間	結束時間	資料筆數	觀測項目
1	93/04/02 13:00	93/04/20 09:00	429	海水位、海水溫
2	93/05/04 11:00	93/05/19 09:00	359	海水位、海水溫
3	93/06/08 20:00	93/06/24 08:00	373	海水位、海水溫
4	93/07/22 09:00	93/08/10 08:00	456	海水位、海水溫
5	93/08/13 08:00	93/08/31 09:00	434	海水位、海水溫
6	93/09/08 17:00	93/09/24 12:00	380	海水位、海水溫

表 5.12 「高雄港港池淤沙調查研究---流況調查分析」現場觀測工作紀要

日期	工作紀要
93/03/23	高雄港港池淤沙調查研究---流況調查分析簡報。 (地點：台中港灣技術研究中心)
93/03/25	海流觀測錨碇座施工。 (地點：高雄港海研三號碼頭)
93/04/02	以海研三號布放海流觀測錨碇座及安裝觀測儀器進行春季觀測。
93/04/20	以工作船進行春季觀測儀器回收作業，儀器順利回收但二港口錨碇座翻倒。
93/04/23	以工作船進行春季第二次觀測，但二港口錨碇座未尋獲。
93/04/24	重新設計製作海流觀測錨碇座。
93/05/04	以海研三號布放海流觀測錨碇座及以工作船安裝二港口觀測儀器進行春季第二次觀測。
93/05/19	以工作船進行春季第二次觀測儀器回收作業，儀器順利回收。
93/05/24	提送春季觀測資料、圖表及光碟。
93/06/07	輕度颱風編號第 0404 號(國際命名:CONSON 中文譯名:康森)在呂宋島西方生成，研判可能對台灣構成威脅。
93/06/08	以工作船布放海流觀測儀器進行颱風季觀測。
93/06/24	以工作船進行颱風季觀測儀器回收作業，儀器順利回收。
93/07/16	「高雄港港池淤沙調查研究---流況調查分析」期中審查簡報。(地點：台中梧棲港灣技術研究中心)
93/07/22	以工作船布放海流觀測儀器進行夏季觀測。
93/08/10	以工作船進行夏季觀測儀器回收作業，儀器順利回收，但發現二港口之儀器傾斜(研判被當地漁船拖拉)，在資料判讀處理時，量測資料數據無法做進一步分析，準備第二次夏季觀測作業。
93/08/13	以工作船布放海流觀測儀器進行夏季第二次觀測作業。
93/08/31	以工作船進行夏季第二次觀測儀器回收作業，儀器順利回收。
93/09/08	以工作船布放海流觀測儀器進行秋季觀測。
93/09/23	以工作船進行秋季觀測儀器回收作業，儀器順利回收。
93/09/24~	進行期末報告(審查)之各項資料處理、報告撰寫等工作。



照片 5-1

民國 93 年 04 月 02 日錨碇座及海流觀測儀器安置於高雄港海研三號後甲板準備進行春季海流觀測作業。



照片 5-2

錨碇座於海研三號後甲板進行下放作業。



照片 5-3

作業人員搭乘橡皮艇前往錨碇點安裝海流觀測儀器。



照片 5-4
作業人員在橡皮艇上將觀測儀器交潛水人員。



照片 5-5
一港口海流觀測儀器安放後狀況。



照片 5-6
二港口海流觀測儀器安放後狀況。



照片 5-7
作業人員重新設計製作錨碇座。



照片 5-8
錨碇座正在進行灌漿作業。



照片 5-9
海流觀測收放作業使用之工作船。



照片 5-10

觀測儀器安放在新錨碇座之狀況。



照片 5-11

觀測儀器安放在錨碇座並以繩索固定。



照片 5-12

春季海流觀測儀器回收後之狀況。

5.3 海流調查分析

5.3.1 海流現場調查資料分析

以 Nortek 底碇式都卜勒流剖儀(bottom mounted NDP)觀測一港口北側及二港口南側主航道口之流況。底碇式都卜勒流剖儀設定觀測頻率為每 10 分鐘觀測一次，每次紀錄約 2 分鐘資料，每次觀測水深每 2 公尺為一層之流速剖面分布。由於底碇式都卜勒流剖儀受到海表面強烈反射的干擾，因此僅能觀測海表面下 2 至 3 公尺以下的海流。

觀測所得之資料進行海流基本統計分析；一港口當地水深為 -12m，觀測資料包含水深-3 m 至-9 m 間每 2 m 一層之海流資料；二港口當地水深為-16 m，觀測資料包含水深-3 m 至-13 m 間每 2 m 一層之海流資料，各層海流之觀測統計如表 5.13 至表 5.21。

春季觀測期間內一港口所測得之最大流速為 65.7 cm/s(表層-3 m)，當時流向為 348.7°，發生在民國 93 年 05 月 05 日 15 時 50 分；二港口所測得之最大流速為 88.8 cm/s(表層-3 m)，當時流向為 327.2°，發生在民國 93 年 05 月 08 日 13 時 50 分。

颱風季觀測期間內一港口所測得之最大流速為 71.5 cm/s(-5 m)，當時流向為 349.6°，發生在民國 93 年 06 月 22 日 11 時；二港口所測得之最大流速為 85.1 cm/s(底層-13 m)，當時流向為 25.7°，發生在民國 93 年 06 月 14 日 21 時。

夏季觀測期間內一港口所測得之最大流速為 113.8 cm/s(表層-3 m)，當時流向為 343.7°，發生在民國 93 年 08 月 27 日 14 時 30 分；二港口所測得之最大流速為 134.3 cm/s(表層-3 m)，當時流向為 161.9°，發生在民國 93 年 08 月 24 日 01 時 10 分。

秋季觀測期間內一港口所測得之最大流速為 70.3 cm/s(表層-3 m)，當時流向為 330.6°，發生在民國 93 年 09 月 11 日 07 時 50 分；二港口所測得之最大流速為 97.3 cm/s(表層-3 m)，當時流向為 331.2°，發

生在民國 93 年 09 月 10 日 10 時 20 分。

綜合各統計圖表顯示，一港口春季觀測期間流向主要為南北向及北北西與南南東向，流速大於 1 節的比例，由上層至底層都不到 3%；二港口春季觀測期間流向主要為北北西與南南東向及西北向，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 18.4%遞減到 6.8%。

一港口颱風季觀測期間流向與春季觀測期間類似，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 4.8%遞減到 1.0%，較春季觀測期間略為增強；二港口颱風季觀測期間流向較為散亂有逆時鐘偏西北西及東南東向之態勢，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 4.7%減到 1.5%，較春季觀測期間為小。

一港口夏季第一次觀測期間流向仍與春季觀測期間類似，但南南東向比率明顯增多，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 9.5%遞減到 2.9%，較春季觀測期間增強許多；一港口夏季第二次觀測期間流向與第一次觀測期間類似，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 22.5%遞減到 3.2%；二港口夏季第二次觀測期間流向約有近一半比率為南南東向，流速大於 1 節的比例，除底層為 38.5%外，其餘均大於 50%。

一港口秋季觀測期間流向主要為北北西向與夏季觀測期間完全相反，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 5.8%遞減到 0.4%，較夏季觀測期間減弱許多；二港口秋季觀測期間主要流向也轉為北北西向，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 25.1%減到 4.1%，也較夏季觀測期間減弱為一半不到。

調查期間流向主要為北北西與南南東，一港口偏北北西與南南東向，二港口偏西北與東南向，應與海岸地形有一定關係。流速二港口較一港口大，可能原因為水深較深。夏季明顯較其他季節大許多，而上層流速有較下層大的驅勢；大致漲潮時偏南退潮時偏北，但在複合潮(混合潮)時較不一致。

表 5.13 高雄港一港口海流春季第二次觀測統計表 資料筆數：3757

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)		U 及 V 標準偏差(cm/s)		最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)		平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)		流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-1.2	-3.4	6.0	22.2	65.7	348.7	3.6	200.2	20.4	93/05/05 15:50
5	0.1	-2.0	4.9	22.1	61.7	347.4	2.0	177.3	19.8	93/05/05 12:50
7	0.9	-2.0	4.3	20.8	59.2	351.2	2.2	154.4	18.6	93/05/08 23:10
9	1.1	-2.1	4.1	18.2	58.8	354.6	2.4	151.7	16.2	93/05/08 22:50

表 5.14 高雄港二港口海流春季第二次觀測統計表 資料筆數：2154

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)		U 及 V 標準 偏差(cm/s)		最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)		平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)		流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-7.6	0.7	15.5	29.9	88.8	327.2	7.6	275.1	29.8	93/05/08 13:50
5	-6.6	1.5	15.1	29.4	86.5	330.6	6.8	283.2	29.1	93/05/07 13:10
7	-5.4	1.8	14.9	28.3	83.6	333.0	5.7	288.7	28.0	93/05/07 12:50
9	-4.5	1.7	14.6	26.9	75.8	333.4	4.8	291.1	26.6	93/05/07 12:40
11	-3.6	1.5	14.1	24.8	65.3	317.9	3.8	292.3	24.8	93/05/08 14:30
13	-2.6	1.3	13.1	22.1	61.1	334.7	2.8	296.1	22.3	93/05/06 11:00

表 5.15 高雄港一港口海流颱風季觀測統計表 資料筆數：2234

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)		U 及 V 標準 偏差(cm/s)		最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)		平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)		流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-0.9	-3.3	6.5	23.7	62.7	346.7	3.4	195.4	21.0	93/06/22 12:50
5	1.2	-3.1	5.9	22.1	71.5	349.6	3.3	158.9	19.5	93/06/22 11:00
7	2.0	-3.4	5.6	19.5	66.0	348.6	4.0	149.8	17.3	93/06/22 12:30
9	2.1	-3.8	5.6	16.0	61.9	350.2	4.4	151.0	14.7	93/06/22 12:30

表 5.16 高雄港二港口海流颱風季觀測統計表 資料筆數：2237

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)		U 及 V 標準 偏差(cm/s)		最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)		平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)		流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-0.2	-6.5	15.5	19.3	63.9	307.3	6.5	181.4	22.5	93/06/23 14:30
5	1.4	-5.9	15.8	18.5	58.9	308.4	6.1	166.3	22.2	93/06/23 14:10
7	2.7	-5.2	16.3	17.1	57.9	307.4	5.8	152.8	21.5	93/06/23 14:40
9	3.7	-3.8	16.5	15.9	53.8	322.9	5.3	135.5	20.8	93/06/22 14:20
11	4.1	-2.5	16.2	14.3	66.8	23.8	4.8	121.4	19.5	93/06/12 18:20
13	3.7	-0.9	14.9	14.3	85.1	25.7	3.8	103.3	18.0	93/06/14 21:00

表 5.17 高雄港一港口海流夏季第一次觀測統計表 資料筆數：2728

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)	U 及 V 標準 偏差(cm/s)	最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)	平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)	流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-0.1 -3.1	9.6 26.4	96.2 347.5	3.1 181.2	23.9	93/07/27 08:50
5	1.7 -2.9	9.1 24.4	85.3 343.4	3.4 149.0	22.2	93/07/27 08:50
7	2.8 -3.3	8.6 22.0	78.7 348.9	4.4 140.2	20.3	93/07/27 08:40
9	2.9 -3.7	8.1 18.7	79.4 345.5	4.6 142.1	17.7	93/07/30 12:00

表 5.18 高雄港一港口海流夏季第二次觀測統計表 資料筆數：2606

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)	U 及 V 標準 偏差(cm/s)	最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)	平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)	流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	0.4 -7.2	10.0 33.6	113.8 343.7	7.2 176.8	30.9	93/08/27 14:30
5	2.2 -7.5	8.1 30.1	94.5 343.5	7.8 163.9	27.9	93/08/28 13:10
7	3.1 -8.2	7.1 25.7	86.5 345.0	8.8 159.4	24.5	93/08/28 13:10
9	2.9 -7.8	6.9 20.9	76.9 348.5	8.3 159.8	20.4	93/08/28 13:10

表 5.19 高雄港二港口海流夏季第二次觀測統計表 資料筆數：2604

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)	U 及 V 標準 偏差(cm/s)	最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)	平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)	流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	2.6 -30.1	23.7 45.5	134.3 161.9	30.3 175.0	51.9	93/08/24 01:10
5	5.1 -30.5	22.3 44.1	131.6 162.5	31.0 170.5	51.3	93/08/24 01:10
7	7.1 -30.6	21.9 42.4	126.6 160.7	31.4 166.9	50.6	93/08/24 01:20
9	8.5 -30.3	21.7 39.9	122.3 160.2	31.5 164.2	49.2	93/08/24 01:00
11	9.4 -28.5	21.2 35.9	115.7 159.2	30.0 161.7	45.9	93/08/24 01:00
13	9.3 -24.3	19.3 30.4	100.1 159.4	26.0 159.1	39.8	93/08/24 00:40

表 5.20 高雄港一港口海流秋季觀測統計表 資料筆數：2278

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)	U 及 V 標準 偏差(cm/s)	最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)	平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)	流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-4.1 7.0	9.2 20.9	70.3 330.6	8.1 329.7	19.9	93/09/11 07:50
5	-1.7 6.0	8.3 18.3	68.5 342.8	6.3 344.5	17.1	93/09/11 07:50
7	-0.2 4.8	7.2 15.5	59.5 340.0	4.8 358.0	14.5	93/09/11 07:50
9	0.3 3.1	6.7 12.6	58.0 342.8	3.1 4.9	11.9	93/09/11 07:50

表 5.21 高雄港二港口海流秋季觀測統計表 資料筆數：2282

深度 (m)	U 及 V 平均值(cm/s)	U 及 V 標準偏 差(cm/s)	最大流速(cm/s) 及其流向(deg.)	平均流速 (cm/s) 及平均流向(deg.)	流速純量平 均 (cm/s)	最大流速發生時 間(yy/mm/dd/hh)
3	-9.9 5.2	15.2 32.8	97.3 331.2	11.2 297.6	32.5	93/09/10 10:20
5	-6.8 3.5	14.8 30.5	89.1 332.1	7.7 297.3	29.8	93/09/10 10:30
7	-4.3 2.5	14.7 28.6	82.6 322.0	5.0 299.6	27.8	93/09/11 07:50
9	-2.6 1.9	14.4 26.5	75.2 152.2	3.2 306.5	25.9	93/09/19 21:20
11	-1.3 1.5	13.8 24.3	71.1 148.8	2.0 319.9	23.8	93/09/19 21:20
13	-0.2 1.2	12.3 21.2	66.9 145.1	1.2 350.1	20.9	93/09/18 21:10

5.3.2 海流資料比較分析

本所於 2000 年 12 月中旬經會勘後選定在高雄一港口與二港口間即高雄市中區污水處理廠附近海域，安裝壹組波高波向與剖面海流即時傳送監測系統，海底電纜沿著污水排放管鋪設。

為了解三站海流之相互關係，由相同時段之觀測資料，進行比較分析。中洲站(水深 19.5 米)選取-1 米、-7 米、-14 米處之海流資料代表上、中、底層之海流流況；一港口(水深 12 米)選取-3 米、-7 米、-9 米處之海流資料代表上、中、底層之海流流況；二港口(水深 16 米)選取-3 米、-7 米、-13 米處之海流資料代表上、中、底層之海流流況。以 5 月 4 日 5 月 19 日代表春季 6 月 8 日 6 月 24 日(康森颱風警報期間)代表颱風季 8 月 13 日 8 月 31 日代表夏季及 9 月 8 日 9 月 24 日代表秋季(現場作業受限於計畫期限無法完全具季節代表性)。

由三站海流觀測比較如表 5.22-5.25，沿岸及離岸之海流觀測時間序列如圖 5.2-5.5，春季平均流向均偏北向，最大平均流速出現在二港口；颱風季平均流向均偏南向，最大平均流速出現在中洲站；夏季平均流向均偏南向，最大平均流速出現在二港口，其次中洲站而一港口最小；秋季平均流向均轉為偏北向，最大平均流速上層出現在二港口，中底層卻出現在一港口。表 5.26 及 5.27 為最大流速及最多流向統計，顯示夏半年流速較強，流向則以 NNW 及 SSE 最多。三站海流之相關分析如圖 5.6-5.9，大致二港口與中洲站之相關性較佳，而夏季之相關性較其他季節佳。一港口與二港口兩站海流之相關分析如圖 5.10-5.11，大致一港口與二港口之相關性不佳，而夏季之相關性相對較佳。

表 5.22 高雄港 三站海流第一次觀測比較表(93.05.04 11 : 40 93.05.19 08 : 40)

上層 單位：流速 (cm/sec)、流向 (deg.)

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	-2.4 1.8	6.2 22.0	54.3 350.7	3.0 306.5	20.1
中 洲	-0.2 2.9	10.9 26.2	80.0 341.6	2.9 355.5	24.9
二港口	-7.5 0.8	15.5 29.9	86.3 326.4	7.6 274.4	29.8

中層

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	-0.7 3.4	5.1 22.0	54.7 350.6	3.4 347.9	19.6
中 洲	0.6 4.4	11.0 22.7	66.2 338.5	4.4 8.1	22.1
二港口	-5.3 1.7	14.8 28.4	82.6 331.8	5.6 287.9	27.9

底層

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	0.6 2.1	4.2 18.6	52.1 351.7	2.2 15.8	16.0
中 洲	-0.3 1.0	9.8 15.2	47.4 333.7	1.0 343.7	15.8
二港口	-2.6 1.1	13.1 22.2	57.1 322.6	2.8 293.2	22.3

表 5.23 高雄港 三站海流第二次觀測比較表(93.06.08 22 : 00 93.06.24 08 : 00)

上層 單位：流速 (cm/sec)、流向 (deg.)

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	-0.8 -2.9	6.5 23.8	62.1 345.0	3.0 196.0	21.0
中 洲	5.8 -10.8	10.3 21.1	75.8 346.7	12.2 151.8	22.6
二港口	0.4 -6.6	15.2 19.1	57.7 304.6	6.6 176.3	22.1

中層

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	1.0 -2.8	5.9 22.4	71.5 349.6	3.0 160.7	19.5
中 洲	6.6 -6.4	9.1 18.1	59.1 349.4	9.2 134.2	19.1
二港口	2.7 -5.2	16.4 17.1	52.0 314.2	5.9 152.2	21.5

底層

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	1.9 -3.6	5.7 16.2	60.2 354.0	4.1 152.7	14.7
中 洲	1.5 -3.8	9.5 11.7	35.4 332.8	4.1 157.7	13.8
二港口	3.8 -0.4	15.0 15.2	85.1 25.7	3.8 96.2	18.4

表 5.24 高雄港 三站海流第三次觀測比較表(93.08.13 09 : 00 93.08.31 09 : 00)

上層		單位：流速 (cm/sec)\ 流向 (deg.)					
站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均		
一港口	0.5 -7.3	10.0 33.8	95.8 348.1	7.3 176.3	31.1		
中 洲	13.3 -18.5	16.7 38.1	103.9 147.3	22.8 144.3	40.6		
二港口	2.6 -30.3	23.7 45.7	128.4 162.6	30.4 175.0	52.2		
中層							
站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均		
一港口	2.2 -7.4	8.2 30.1	86.7 345.4	7.7 163.6	27.9		
中 洲	15.1 -20.1	15.8 29.3	88.2 142.1	25.2 143.2	36.7		
二港口	7.2 -30.7	22.0 42.7	124.5 161.6	31.6 166.9	50.9		
底層							
站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均		
一港口	2.9 -7.5	6.6 20.8	65.3 347.8	8.1 158.7	20.1		
中 洲	6.1 -13.5	13.8 19.1	54.7 153.9	14.8 155.8	25.1		
二港口	9.5 -24.2	19.3 30.4	93.0 160.1	26.0 158.6	39.7		

表 5.25 高雄港 三站海流第四次觀測比較表(93.09.08 17:00 93.09.23 00:00)

上層 單位：流速 (cm/sec)、流向 (deg.)

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	-3.9 7.3	9.1 21.1	63.6 338.5	8.3 331.7	20.3
中 洲	-1.8 11.6	11.3 26.5	77.9 339.2	11.7 351.2	25.6
二港口	-9.6 4.9	15.4 32.7	89.6 331.7	10.8 296.7	32.4

中層

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	-1.6 6.0	8.2 18.3	59.8 342.5	6.2 345.1	17.3
中 洲	0.2 5.4	10.3 16.6	61.8 349.6	5.4 2.1	16.8
二港口	-4.0 2.0	14.9 28.6	79.6 326.5	4.4 296.3	28.0

底層

站名	U 及 V 平均值	U 及 V 標準偏差	最大流速 及其流向	平均流速 及平均流向	流速純量 平均
一港口	0.1 3.2	6.7 12.5	52.6 339.4	3.2 1.3	11.9
中 洲	0.4 1.4	9.0 11.6	44.4 337.9	1.5 14.7	12.7
二港口	-0.1 0.5	12.3 21.2	57.9 142.8	0.5 352.6	20.9

表 5.26 流速大於 1 節百分比

	月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		中洲	2002						12.9	18.6	11.7	7.1	8.3
中洲	2003		0	0.4	4.3	4	9.2	11.8	8.2	13.6	6.3	2	
一港口	2004					2.1	4.8		22.5	5.8			
二港口	2004					18.4	4.7		52.6	25.1			

表 5.27 各月最多流向

	月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		中洲	2002						SSE	SSE	SSE	SSE	SSE
中洲	2003		SSW	SE	ESE	SSE	NNW	N, SSE	N, SSE	SSE	SSE	SSE,S	
一港口	2004					S, NNW	S, NNW		SSE, S	NNW			
二港口	2004					NW, SSE	SSE, S		SSE	NNW			

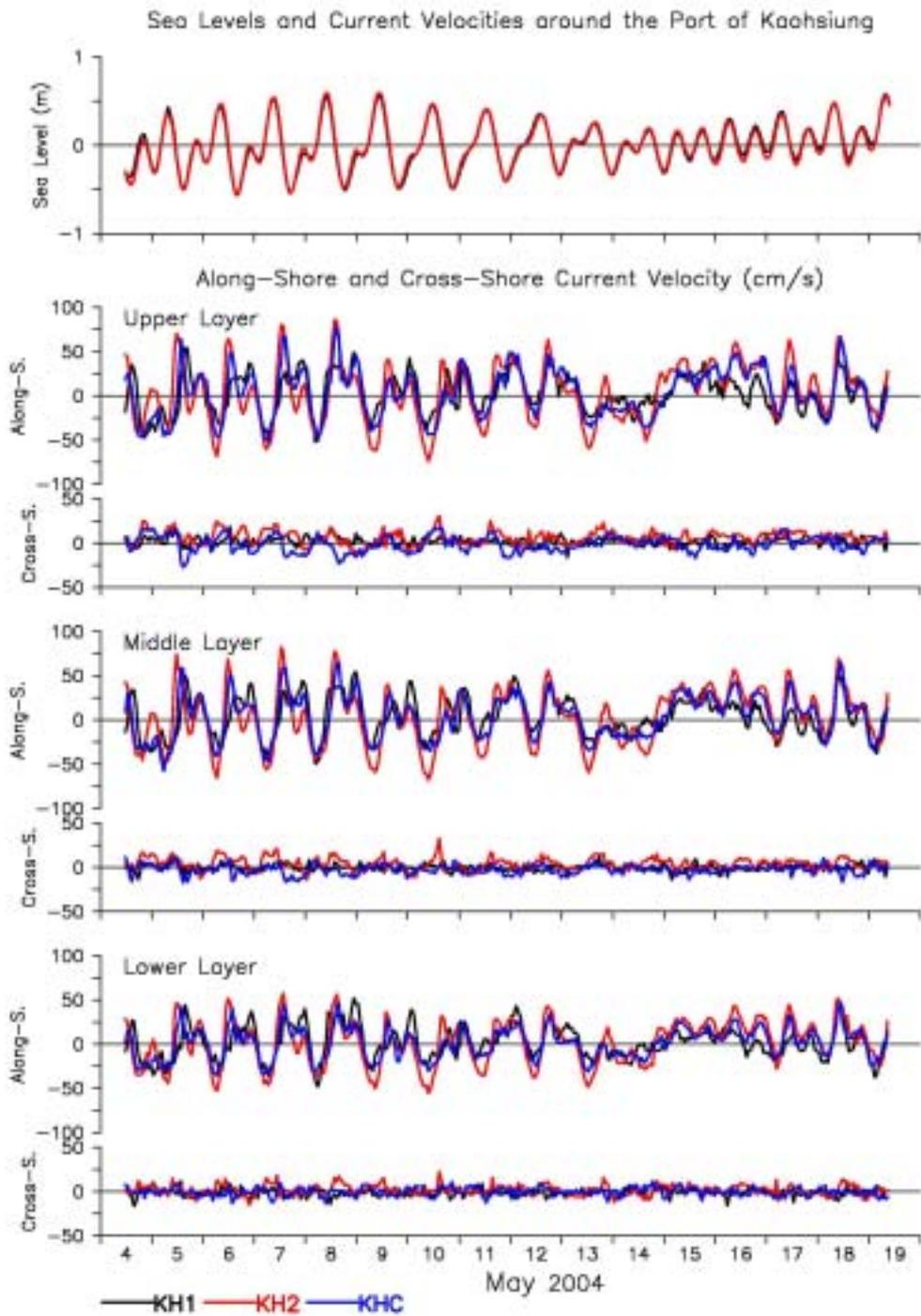


圖 5.2 高雄港三站海流第一次觀測比較時間序列
(KH1：一港口，KH2：二港口，KHC：中洲站)

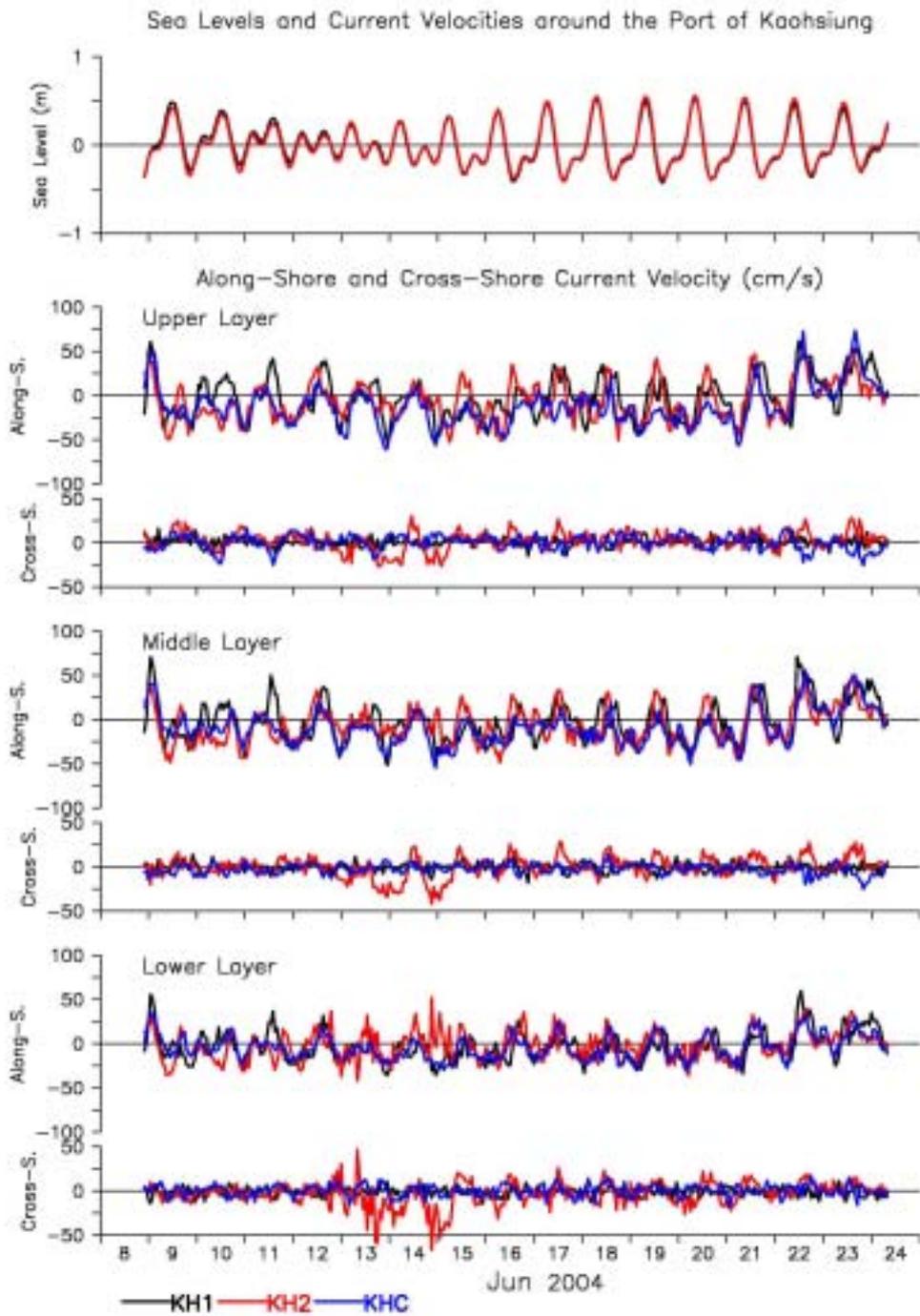


圖 5.3 高雄港三站海流第二次觀測比較時間序列
(KH1：一港口，KH2：二港口，KHC：中洲站)

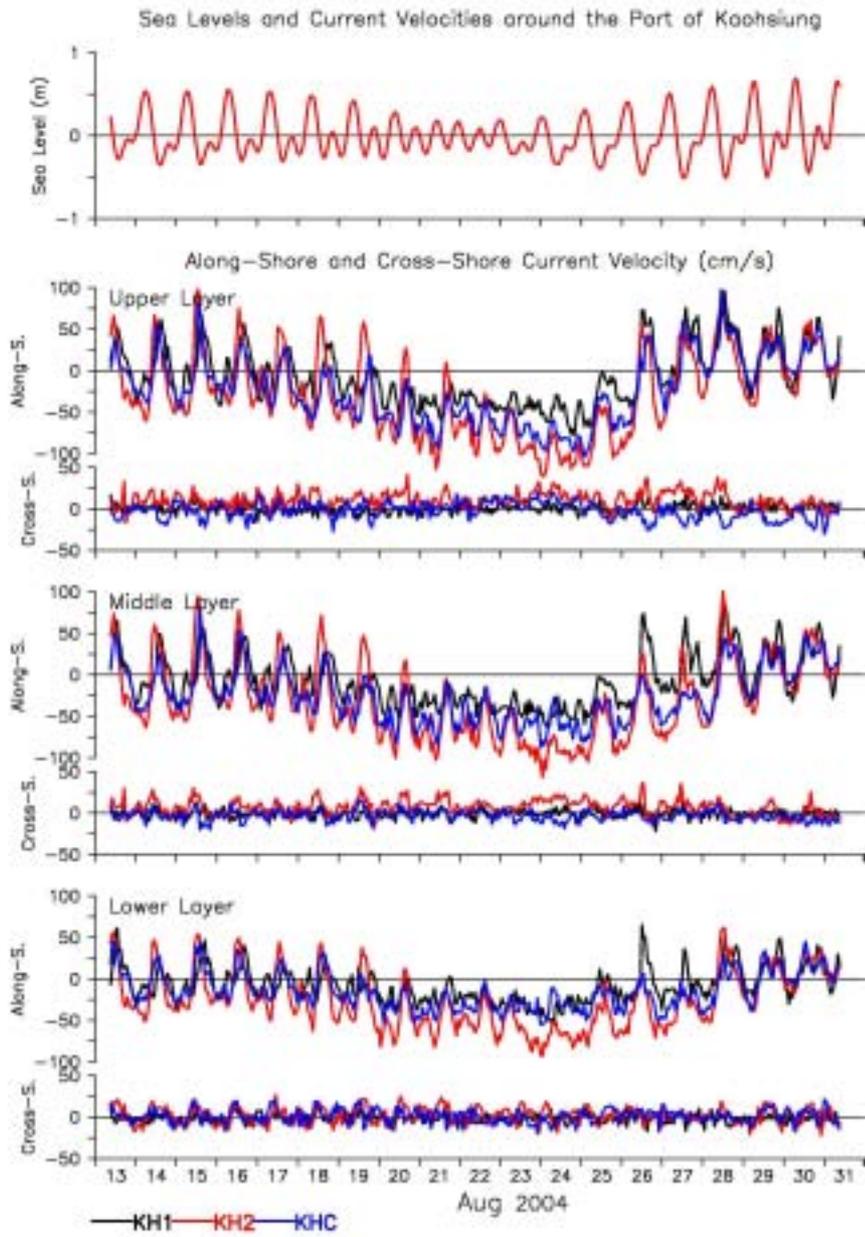


圖 5.4 高雄港三站海流第三次觀測比較時間序列
(KH1：一港口，KH2：二港口，KHC：中洲)

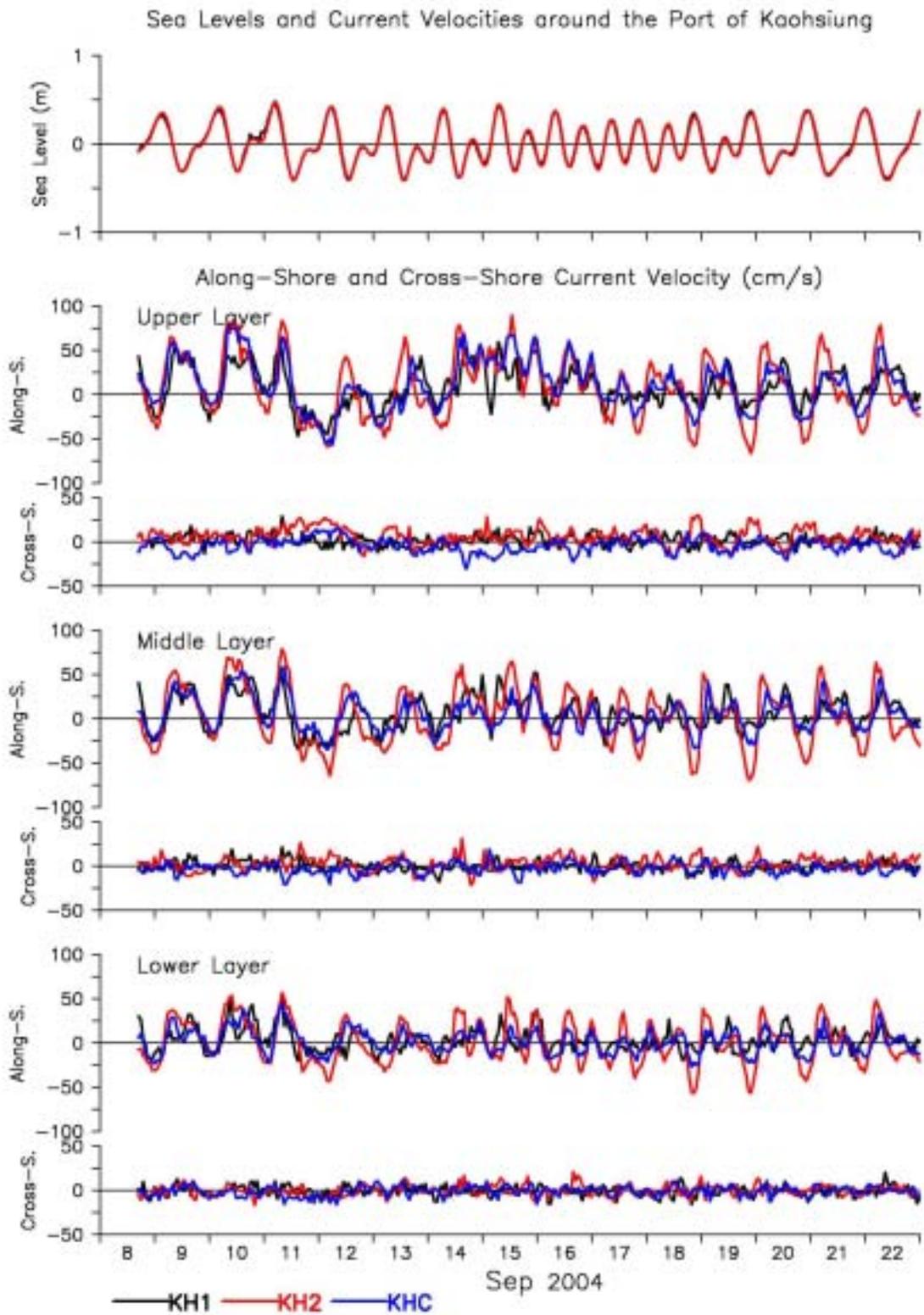
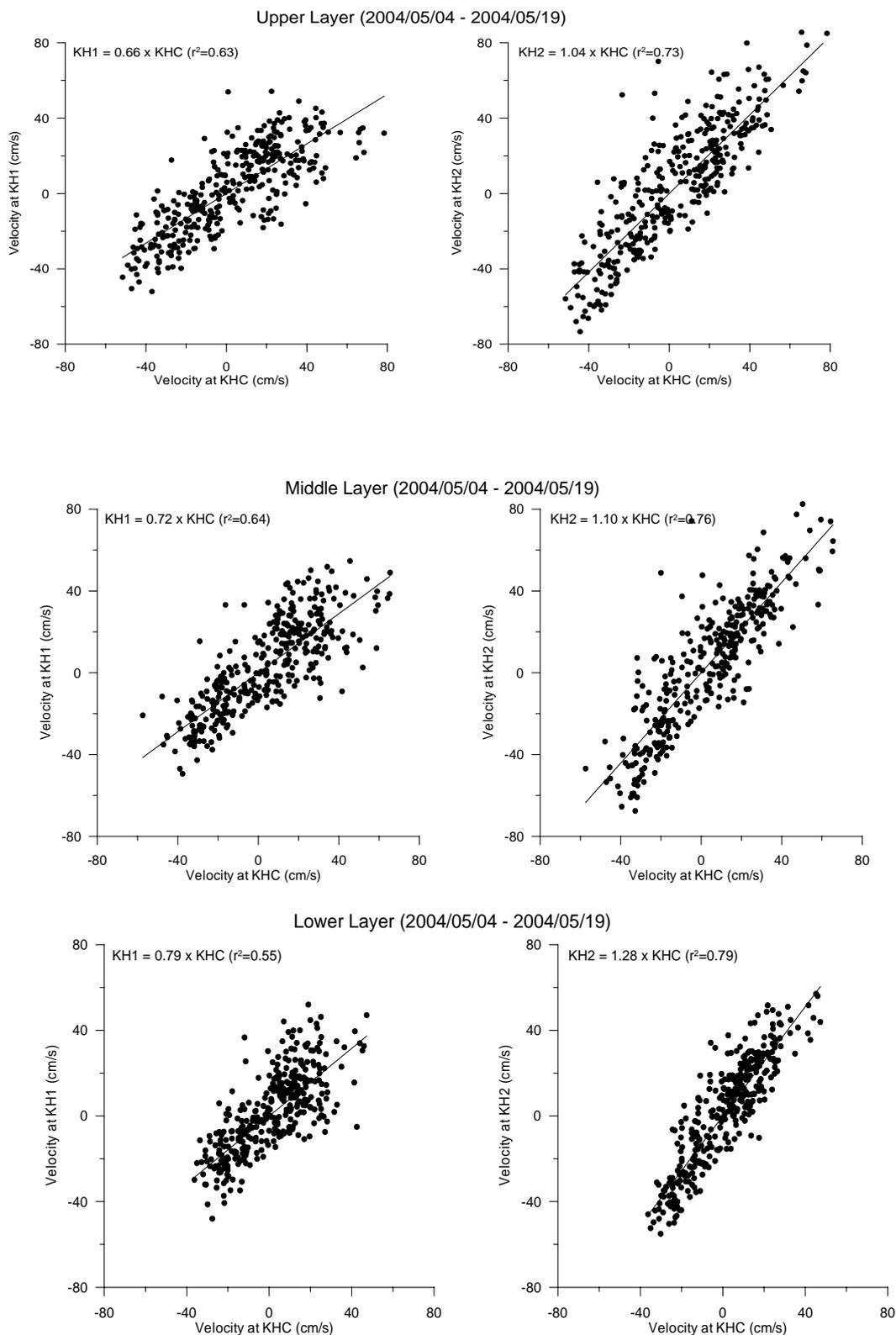


圖 5.5 高雄港三站海流第四次觀測比較時間序列
(KH1：一港口，KH2：二港口，KHC：中洲站)



**圖 5.6 高雄港三站海流第一次觀測相關分析
(KH1：一港口， KH2：二港口， KHC：中洲站)**

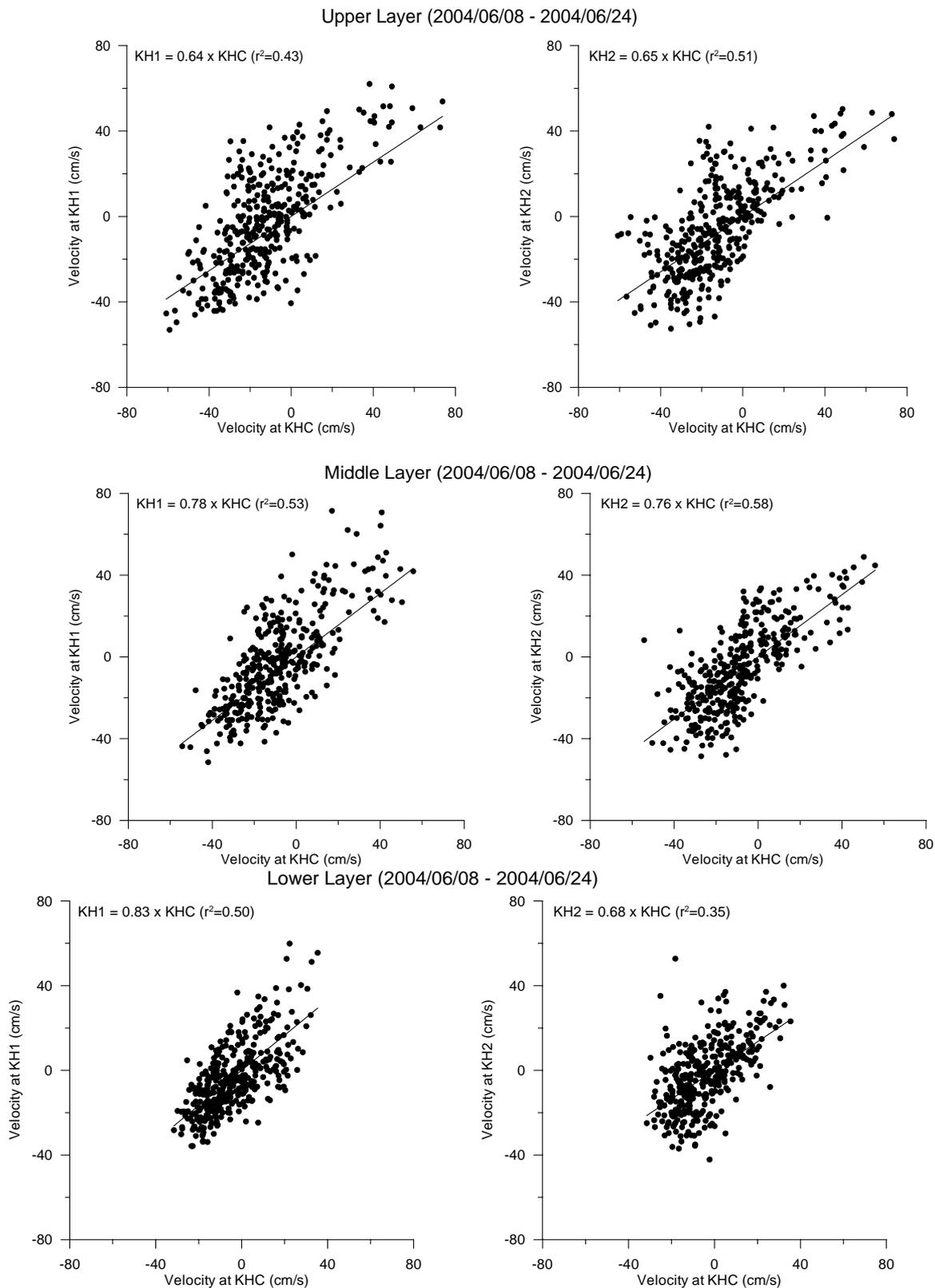


圖 5.7 高雄港 三站海流第二次觀測相關分析
(KH1：一港口， KH2：二港口， KHC：中洲站)

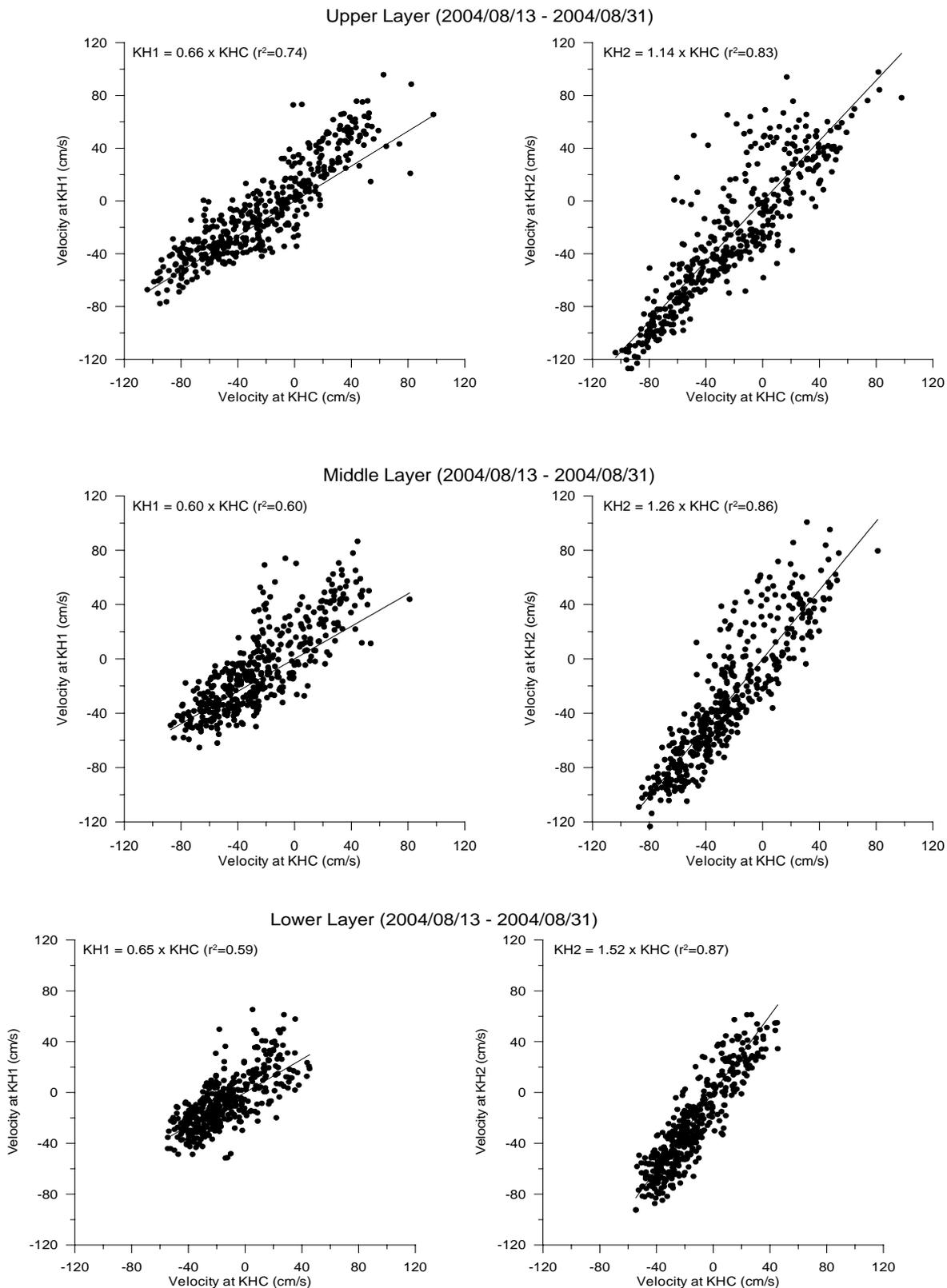


圖 5.8 高雄港 三站海流第三次觀測相關分析
(KH1：一港口，KH2：二港口，KHC：中洲站)

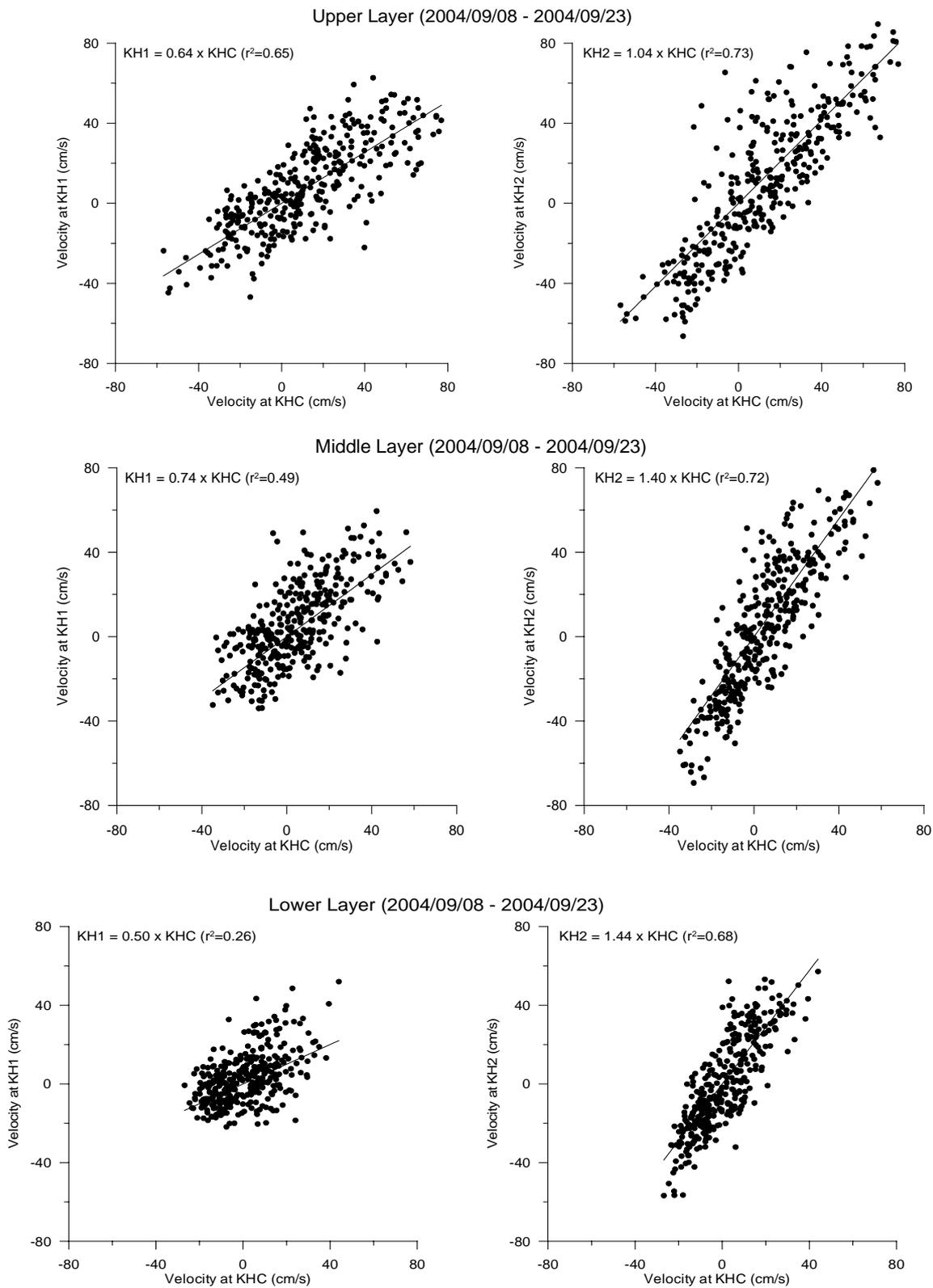


圖 5.9 高雄港三站海流第四次觀測相關分析
(KH1：一港口， KH2：二港口， KHC：中洲站)

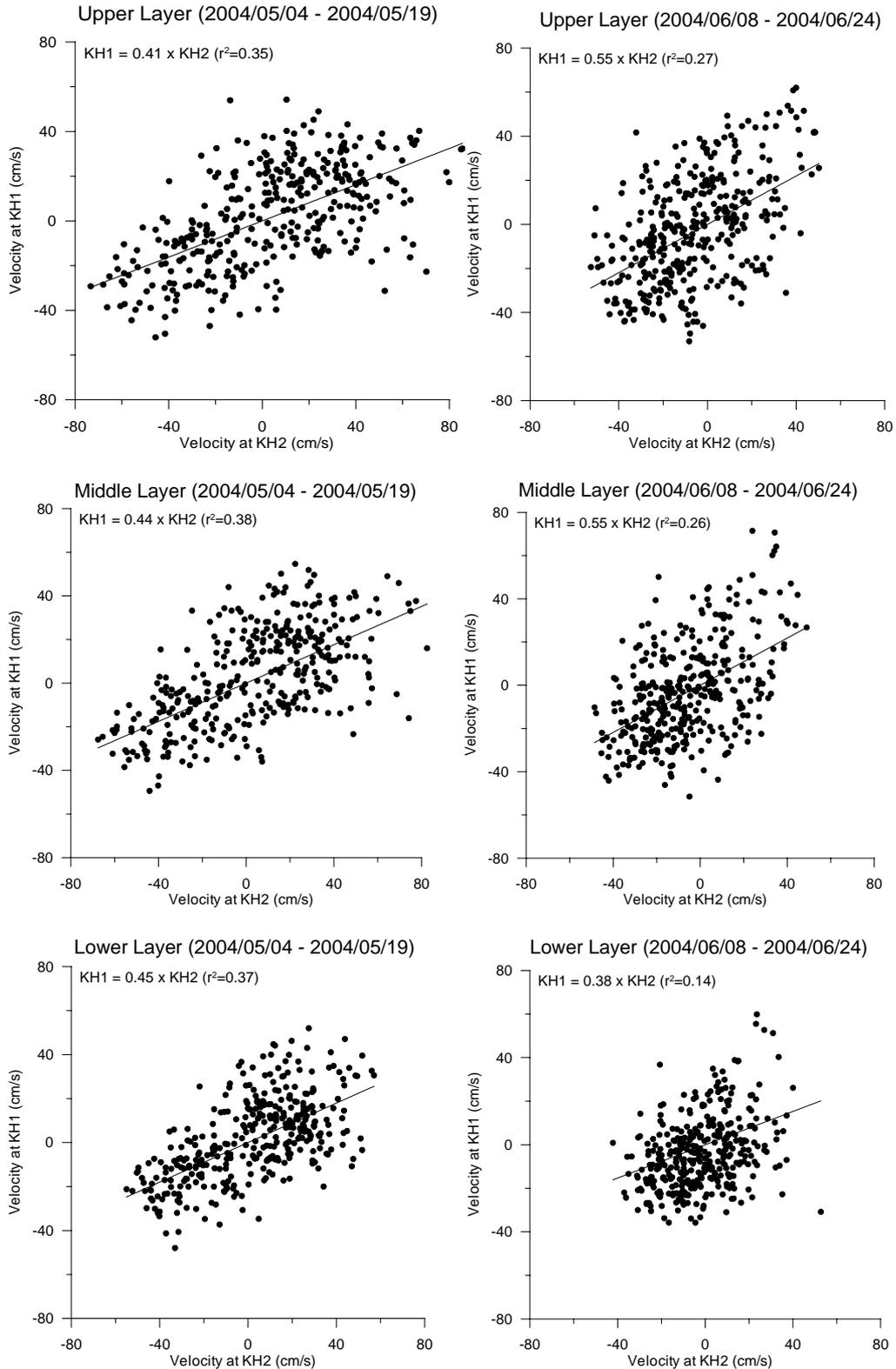


圖 5.10 高雄港一港口及二港口海流第一與第二次觀測相關分析
(KH1：一港口，KH2：二港口)

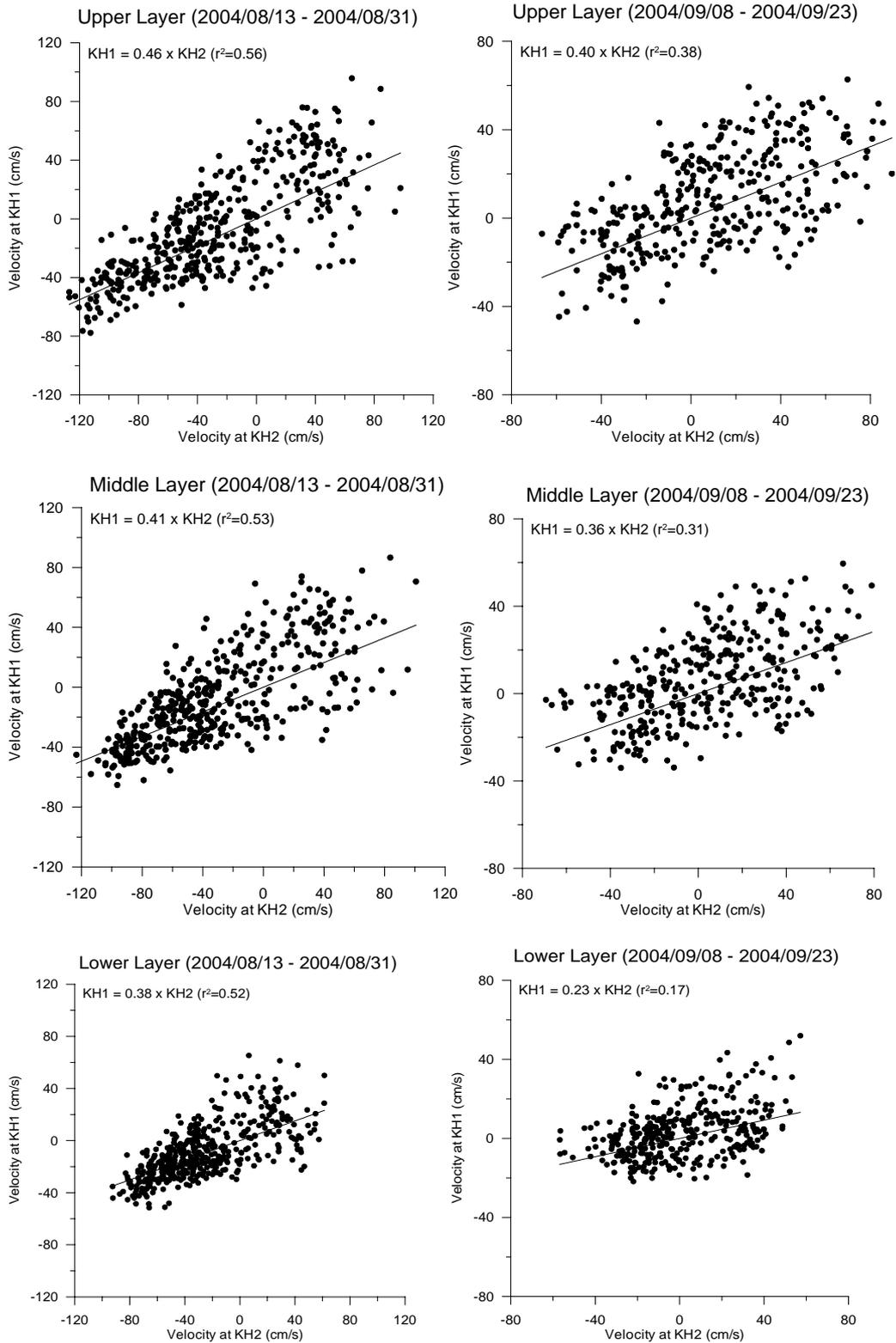


圖 5.11 高雄港一港口及二港口海流第三與第四次觀測相關分析
(KH1：一港口，KH2：二港口)

5.4 波浪及海水位調查分析

5.4.1 波浪現場調查分析

觀測儀器使用 SINO S700 潮波儀，其觀測頻率每小時觀測一次，每次紀錄約 17 分鐘資料。觀測所得之資料進行波浪基本統計分析(包含波高、週期聯合發生機率如表 5.28 表 5.38)及繪製各項資料之時間序列如圖 5.12-5.22。波高(Hs)單位採用公尺(m)，週期(Tz)單位為秒(sec)，海水位(Sea Level)單位採用公尺(m)，海水溫單位為度(°C)。波浪及海水位之觀測統計如表 5.39 至表 5.42。

春季第一次觀測期間內一港口所測得之最大波高為 2.12 m，對應之週期為 11.87 sec，發生在民國 93 年 04 月 13 日 22 時；二港口所測得之最大波高為 2.92 m，對應之週期為 12.27 sec，發生在民國 93 年 04 月 13 日 20 時(第 0401 號中度颱風舒達接近及東北季風環流合成影響)。春季第二次觀測期間內一港口所測得之最大波高為 1.07 m，對應之週期為 4.98 sec，發生在民國 93 年 05 月 18 日 16 時；二港口所測得之最大波高為 0.93 m，對應之週期為 5.30 sec，發生在民國 93 年 05 月 18 日 15 時。颱風季觀測期間內一港口所測得最大波高為 2.60 m，對應之週期為 9.34 sec，發生在民國 93 年 06 月 09 日 04 時；二港口所測得之最大波高為 2.67 m，對應之週期為 9.56 sec，發生在民國 93 年 06 月 08 日 23 時(第 0404 號中度颱風康森接近影響，當時中央氣象局已發布海上及陸上颱風警報)。夏季第一次觀測期間內一港口所測得之最大波高為 3.01 m，對應之週期為 6.89 sec，發生在民國 93 年 07 月 27 日 09 時；二港口所測得之最大波高為 2.96 m，對應之週期為 7.43 sec，發生在民國 93 年 07 月 27 日 04 時(由天氣圖得知當時東沙附近有低氣壓形成)。夏季第二次觀測期間內一港口潮波儀遺失；二港口所測得之最大波高為 3.41 m，對應之週期為 7.40 sec，發生在民國 93 年 08 月 26 日 12 時(第 0417 號輕度颱風艾利在金門西南方陸地)。秋季觀測期間內一港口所測得之最大波高為 2.09 m，對應之週期為 6.96 sec，發生在民國 93 年 09 月 10 日 22 時；二港口所測得之最大波高為 3.67 m，對應之週

期為 7.31 sec, 發生在民國 93 年 09 月 10 日 23 時(由天氣圖得知當時海峽南部有旺盛西南氣流, 於 11 日 23 時形成第 0420 號輕度颱風海馬)。

5.4.2 波浪資料比較分析

為了解三站波浪之相互關係, 由三站相同時段之觀測資料, 進行比較分析。以 5 月 4 日 5 月 19 日代表春季、6 月 8 日 6 月 24 日(康森颱風警報期間)代表颱風季、8 月 13 日 8 月 31 日代表夏季及 9 月 8 日 9 月 24 日代表秋季(現場作業受限於計畫期限無法完全具季節代表性)。三站四季波高週期時間序列如圖 5.23, 大致趨勢均一致。

因波浪並未連續觀測, 由高雄港十號碼頭風速風向資料, 繪製之時間序列如圖 5.24-5.28。秋季觀測期間內一港口 9 月 10 日 22 時測得之最大波高為 2.09 m, 對應之週期為 6.96 sec, 二港口 9 月 10 日 23 時測得之最大波高為 3.67 m, 對應之週期為 7.31 sec。由天氣圖及風速風向資料得知, 9 月 10 日 2 時在台灣海峽南部有低壓形成, 9 月 10 日 21 時高雄港測得風速 9 m/s 風向 187 度, 陣風風速 13.9 m/s 風向 196 度, 9 月 11 日 8 時後高雄港風向轉為西向再轉為西北向, 而海馬颱風於 9 月 12 日 2 時在花蓮外海形成。可確認此觀測之最大波與海馬颱風無直接關係, 而二港口較一港口為大可能原因為水深較深。

表 5.28 高雄港一港口春季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/04/02 11:00 ~ 93/04/20 08:00												資料筆數：430
												單位：%
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	2.79	14.19	5.12	1.16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.26
0.5 – 1.0	4.42	43.02	7.67	2.09	2.79	5.35	3.02	0.7	0.0	0.0	0.0	69.06
1.0 – 1.5	0.0	1.86	1.63	0.0	0.0	0.0	1.16	0.47	0.0	0.0	0.0	5.12
1.5 – 2.0	0.0	0.0	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.23	0.0	0.0	2.1
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.23	0.23	0.0	0.0	0.46
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	7.21	59.07	14.89	3.25	2.79	5.35	4.18	2.8	0.47	0.0	0.0	100.0

表 5.29 高雄港二港口春季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/04/02 13:00 ~ 93/04/20 09:00												資料筆數：429
												單位：%
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	0.47	11.19	16.31	3.96	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.63
0.5 – 1.0	0.0	18.18	25.41	3.50	1.4	2.80	4.43	0.46	0.0	0.0	0.0	56.18
1.0 – 1.5	0.0	0.7	1.17	0.7	0.46	0.23	1.63	2.80	0.47	0.0	0.0	8.16
1.5 – 2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.23	0.93	0.0	0.0	1.16
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.47	0.0	0.0	0.0	0.47
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.47	0.93	0.0	0.0	1.40
總計	0.47	30.07	42.89	8.16	2.56	3.03	6.06	4.43	2.33	0.0	0.0	100.0

表 5.30 高雄港一港口春季第二次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/04/23 11:00 ~ 93/05/19 12:00												資料筆數：626
												單位：%
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	15.65	49.36	2.24	0.16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.41
0.5 – 1.0	7.03	23.80	1.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.11
1.0 – 1.5	0.48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.48
1.5 – 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
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	23.16	73.16	3.52	0.16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.31 高雄港二港口春季第二次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/05/04 11:00 ~ 93/05/19 09:00												資料筆數：359
												單位：%
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	0.0	52.09	22.84	0.84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.77
0.5 – 1.0	0.28	18.38	4.18	1.11	0.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.23
1.0 – 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
1.5 – 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
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	0.28	70.47	27.02	1.95	0.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.32 高雄港一港口颱風季觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/06/08 22:00 ~ 93/06/24 09:00											資料筆數：372 單位：%	
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 6.0	6.0 7.0	7.0 8.0	8.0 9.0	9.0 10.0	10.0 11.0	11.0 12.0	12.0 13.0	13.0 以上	總計
0.0 – 0.5	0.27	12.37	13.17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.81
0.5 – 1.0	0.27	14.25	22.04	9.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.96
1.0 – 1.5	0.54	2.69	19.09	1.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.39
1.5 – 2.0	0.0	0.27	1.88	0.27	0.81	0.53	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.76
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27	0.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.81
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27
總計	1.08	29.57	56.18	10.75	1.08	1.34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.33 高雄港二港口颱風季觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/06/08 20:00 ~ 93/06/24 08:00											資料筆數：373 單位：%	
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 6.0	6.0 7.0	7.0 8.0	8.0 9.0	9.0 10.0	10.0 11.0	11.0 12.0	12.0 13.0	13.0 以上	總計
0.0 – 0.5	0.0	8.58	11.26	1.34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.18
0.5 – 1.0	0.0	4.02	30.83	16.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.74
1.0 – 1.5	0.0	0.54	15.82	5.09	0.27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.72
1.5 – 2.0	0.0	0.0	2.41	0.0	0.27	0.27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.59
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.61	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.61
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
總計	0.0	13.14	60.32	23.32	0.54	2.68	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.34 高雄港一港口夏季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/07/22 11:00 ~ 93/08/10 09:00											資料筆數：455 單位：%	
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	0.0	3.08	35.16	0.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.90
0.5 – 1.0	0.0	10.11	29.23	3.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.64
1.0 – 1.5	0.0	0.0	3.95	3.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.25
1.5 – 2.0	0.0	0.0	2.86	2.85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.71
2.0 – 2.5	0.0	0.0	2.42	1.76	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.18
2.5 以上	0.0	0.0	0.66	0.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.32
總計	0.0	13.19	74.28	12.53	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.35 高雄港二港口夏季第一次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/07/22 09:00 ~ 93/08/10 08:00											資料筆數：456 單位：%	
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	0.0	1.53	28.95	3.29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.77
0.5 – 1.0	0.0	4.61	19.95	21.93	0.88	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.37
1.0 – 1.5	0.0	0.0	0.22	6.14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.36
1.5 – 2.0	0.0	0.0	0.88	5.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.92
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.66	3.95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.61
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	1.97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.97
總計	0.0	6.14	50.66	42.32	0.88	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.36 高雄港二港口夏季第二次觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/05/04 11:00 ~ 93/05/19 09:00												資料筆數：359
												單位：%
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5 – 1.0	0.0	1.15	23.50	19.13	0.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.70
1.0 – 1.5	0.0	4.61	6.68	3.92	0.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.44
1.5 – 2.0	0.0	1.38	5.30	2.53	0.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.91
2.0 – 2.5	0.0	0.0	3.46	3.46	7.37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.29
2.5 以上	0.0	0.0	0.46	7.14	8.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.66
總計	0.0	7.14	39.40	36.18	17.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.37 高雄港一港口秋季觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/09/08 14:00 ~ 93/09/24 09:00												資料筆數：380
												單位：%
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0 以上	總計
	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0		
0.0 – 0.5	3.95	42.36	1.32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.63
0.5 – 1.0	1.84	16.32	15.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.16
1.0 – 1.5	0.0	0.53	13.69	2.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.11
1.5 – 2.0	0.0	0.0	1.84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.84
2.0 – 2.5	0.0	0.0	0.26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.26
2.5 以上	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	5.79	59.21	32.11	2.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.38 高雄港二港口秋季觀測波高及週期聯合發生機率統計表

觀測日期：93/09/08 17:00 ~ 93/09/24 12:00											資料筆數：380 單位：%	
示性週 期(秒) 示性 波高 (m)	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 6.0	6.0 7.0	7.0 8.0	8.0 9.0	9.0 10.0	10.0 11.0	11.0 12.0	12.0 13.0	13.0 以上	總計
0.0 – 0.5	0.0	34.47	12.37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.84
0.5 – 1.0	0.0	11.85	6.31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.16
1.0 – 1.5	0.0	1.84	14.74	2.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.68
1.5 – 2.0	0.0	0.0	6.84	4.74	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.58
2.0 – 2.5	0.0	0.0	1.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.05
2.5 以上	0.0	0.0	2.37	1.32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.69
總計	0.0	48.16	43.68	8.16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 5.39 高雄港一港口波浪觀測統計表

起訖日期	資料筆數	H1/3(m) 平均值	H1/3 標準差	T1/3(sec) 平均值	T1/3 標準差	Hmax (m)	Tmax (sec)	Hmax 發生時間
93/04/02-93/04/20	430	0.69	0.28	6.37	1.69	2.12	11.87	93/04/13 22:00
93/04/23-93/05/19	626	0.44	0.18	5.26	0.37	1.07	4.98	93/05/18 16:00
93/06/08-93/06/24	372	0.78	0.39	6.35	0.73	2.60	9.34	93/06/09 04:00
93/07/22-93/08/10	455	0.76	0.52	6.49	0.47	3.01	6.89	93/07/27 09:00
93/09/08-93/09/24	380	0.61	0.38	5.81	0.65	2.09	6.96	93/09/10 22:00

表 5.40 高雄港二港口波浪觀測統計表

起訖日期	資料筆數	H1/3(m) 平均值	H1/3 標準差	T1/3(sec) 平均值	T1/3 標準差	Hmax (m)	Tmax (sec)	Hmax 發生時間
93/04/02-93/04/20	429	0.67	0.39	6.97	1.85	2.92	12.27	93/04/13 20:00
93/05/04-93/05/19	359	0.41	0.14	5.83	0.49	0.93	5.30	93/05/18 15:00
93/06/08-93/06/24	373	0.78	0.43	6.70	0.69	2.67	9.56	93/06/08 23:00
93/07/22-93/08/10	456	0.80	0.54	6.91	0.51	2.96	7.43	93/07/27 04:00
93/08/13-93/08/31	434	1.45	0.81	7.15	0.76	3.41	7.40	93/08/26 12:00
93/09/08-93/09/24	380	0.82	0.70	6.15	0.54	3.67	7.31	93/09/10 23:00

表 5.41 高雄港一港口水位觀測統計表

起訖日期	最高水位(m)	最高水位發生時間	最低水位(m)	最低水位發生時間	最高水溫(°C)	最高水溫發生時間	最低水溫(°C)	最低水溫發生時間
93/04/02-93/04/19	13.36	93/04/10 10:00	12.43	93/04/12 23:00	27.86	93/04/20 08:00	25.19	93/04/04 04:00
93/04/23-93/05/19	13.37	93/05/19 07:00	12.24	93/05/06 15:00	29.51	93/05/17 00:00	26.98	93/04/25 15:00
93/06/08-93/06/24	13.65	93/06/20 08:00	12.69	93/06/19 16:00	29.82	93/06/24 02:00	26.11	93/06/17 07:00
93/07/22-93/08/10	13.87	93/07/31 06:00	12.64	93/07/30 14:00	30.75	93/07/23 23:00	27.40	93/08/03 06:00
93/09/08-93/09/24	13.20	93/09/24 03:00	12.31	93/09/23 11:00	30.40	93/09/08 16:00	28.06	93/09/12 16:00

表 5.42 高雄港二港口水位觀測統計表

起訖日期	最高水位(m)	最高水位發生時間	最低水位(m)	最低水位發生時間	最高水溫(°C)	最高水溫發生時間	最低水溫(°C)	最低水溫發生時間
93/04/02-93/04/19	16.82	93/04/10 10:00	15.73	93/04/03 00:00	27.90	93/04/19 17:00	25.18	93/04/04 11:00
93/05/04-93/05/19	17.64	93/05/09 10:00	16.48	93/05/06 15:00	29.53	93/05/16 19:00	26.74	93/05/07 12:00
93/06/08-93/06/24	17.63	93/06/20 08:00	16.58	93/06/08 20:00	29.20	93/06/24 05:00	26.29	93/06/19 03:00
93/07/22-93/08/10	18.17	93/08/21 07:00	16.89	93/07/31 15:00	30.37	93/07/27 10:00	27.66	93/08/05 10:00
93/08/13-93/08/31	18.03	93/08/30 07:00	16.83	93/08/27 13:00	30.72	93/08/20 02:00	25.65	93/08/23 22:00
93/09/08-93/09/24	17.85	93/09/11 05:00	16.84	93/09/24 12:00	30.33	93/09/10 16:00	27.86	93/09/19 02:00

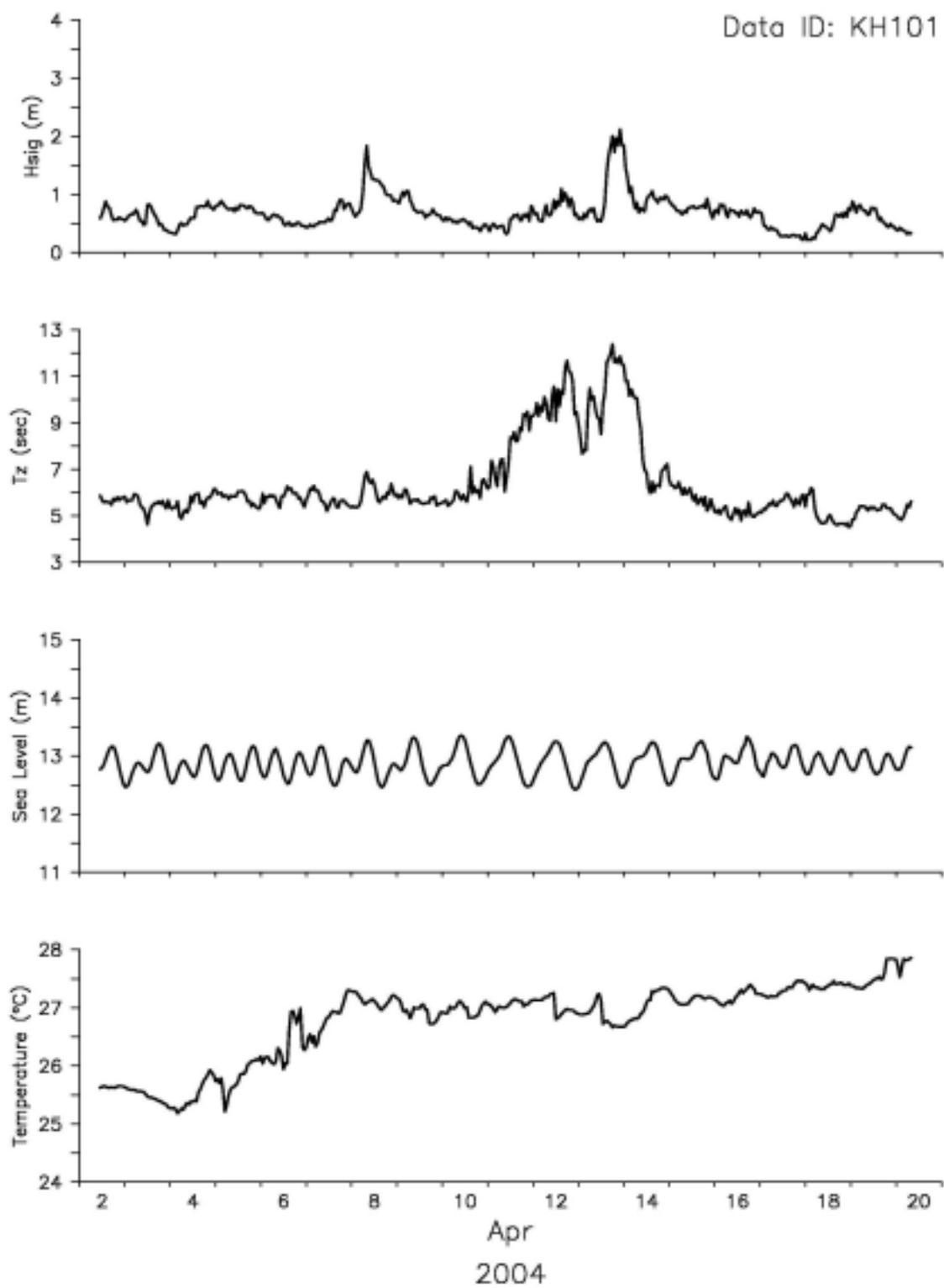


圖 5.12 高雄港一港口 春季潮波儀第一次觀測時間序列

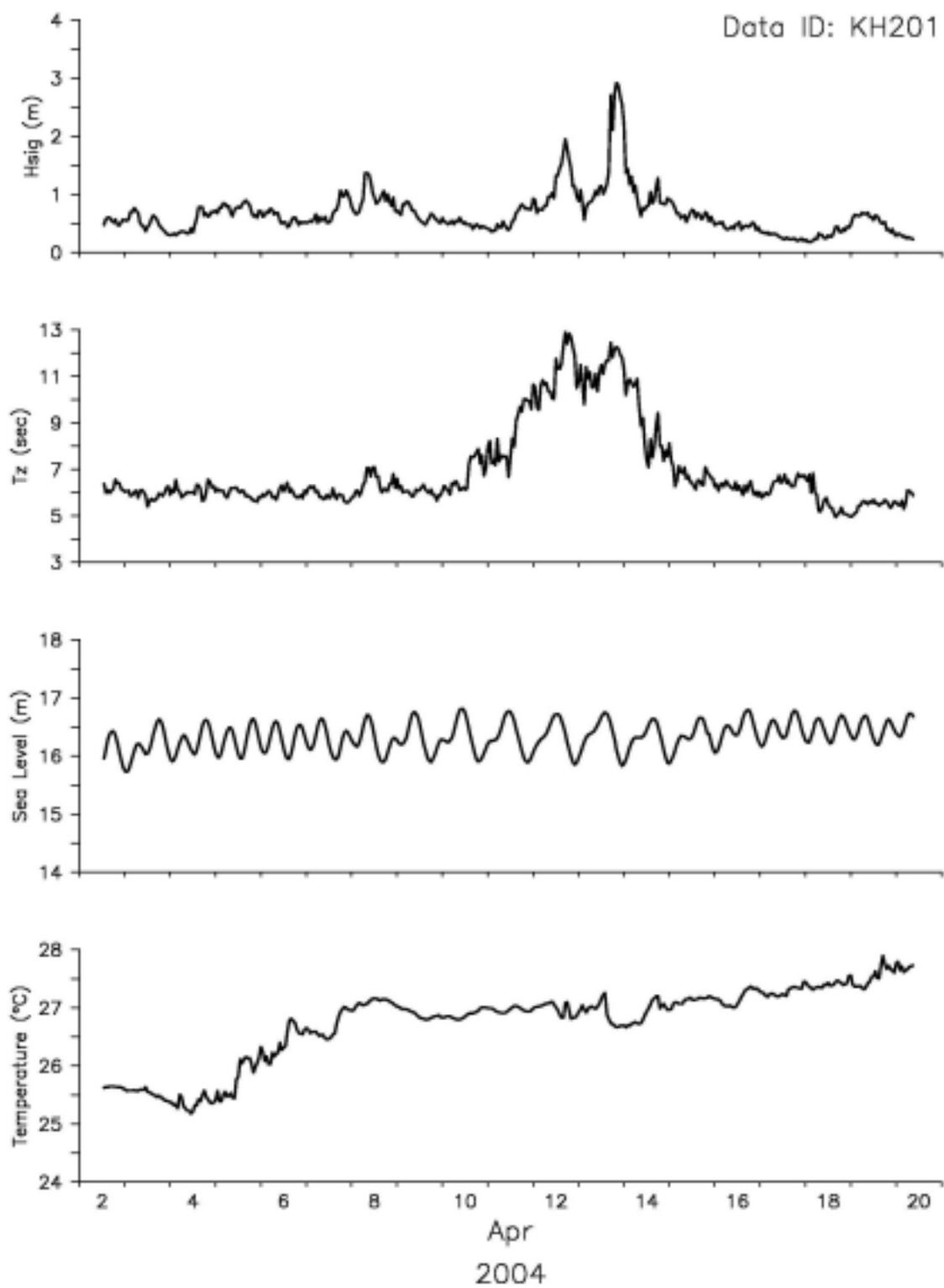


圖 5.13 高雄港二港口 春季潮波儀第一次觀測時間序列

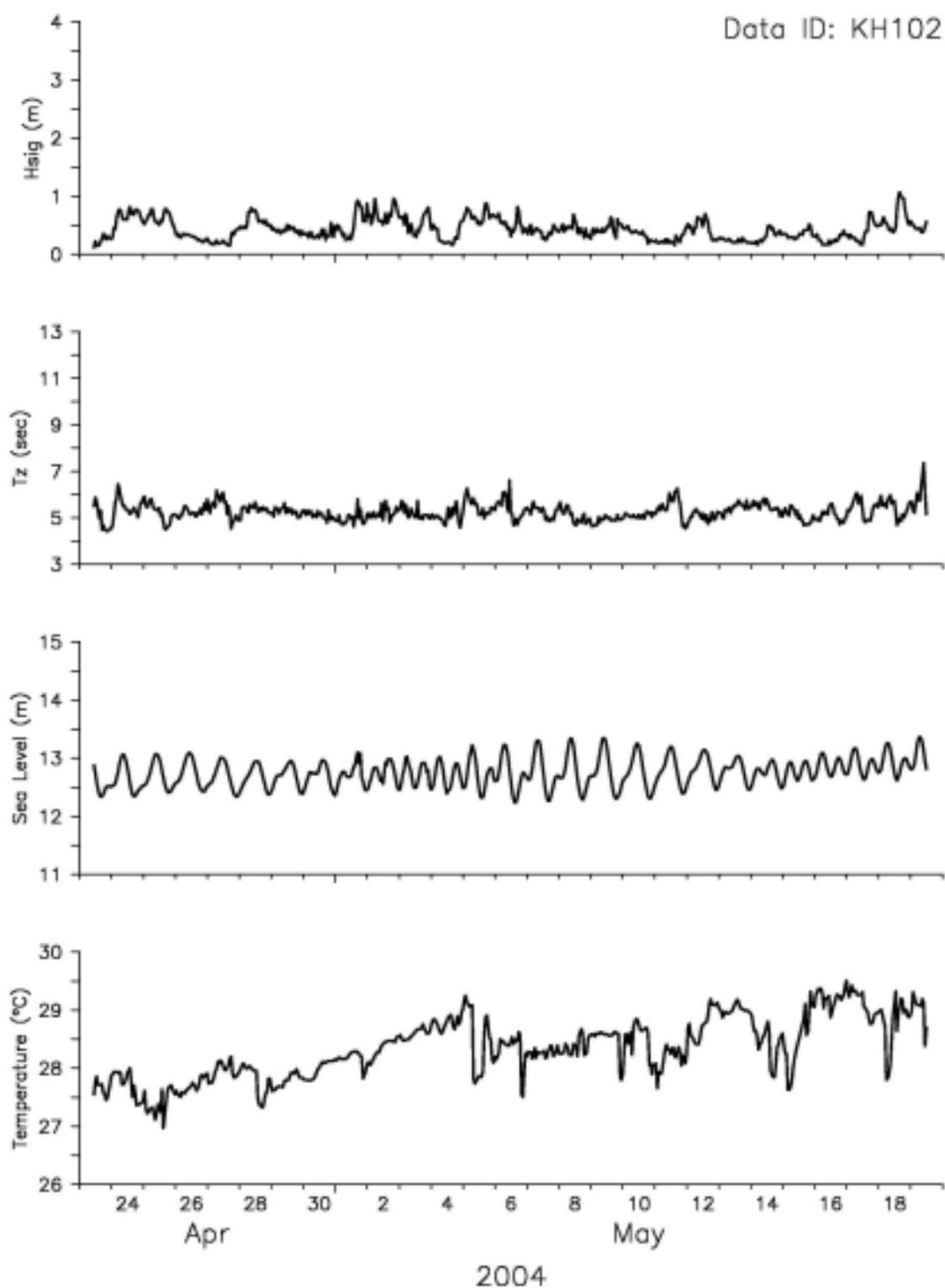


圖 5.14 高雄港一港口 春季潮波儀第二次觀測時間序列

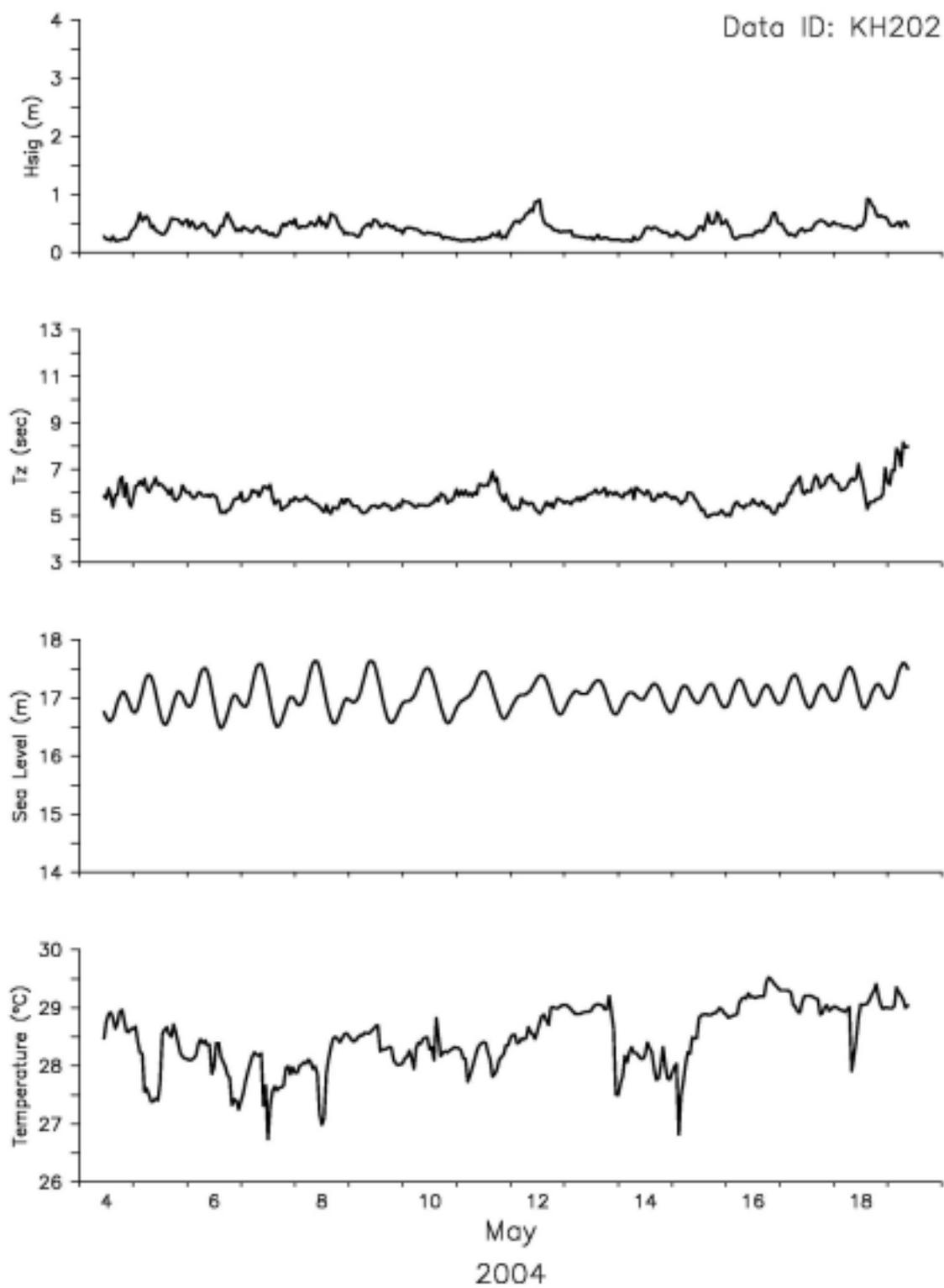


圖 5.15 高雄港二港口 春季潮波儀第二次觀測時間序列

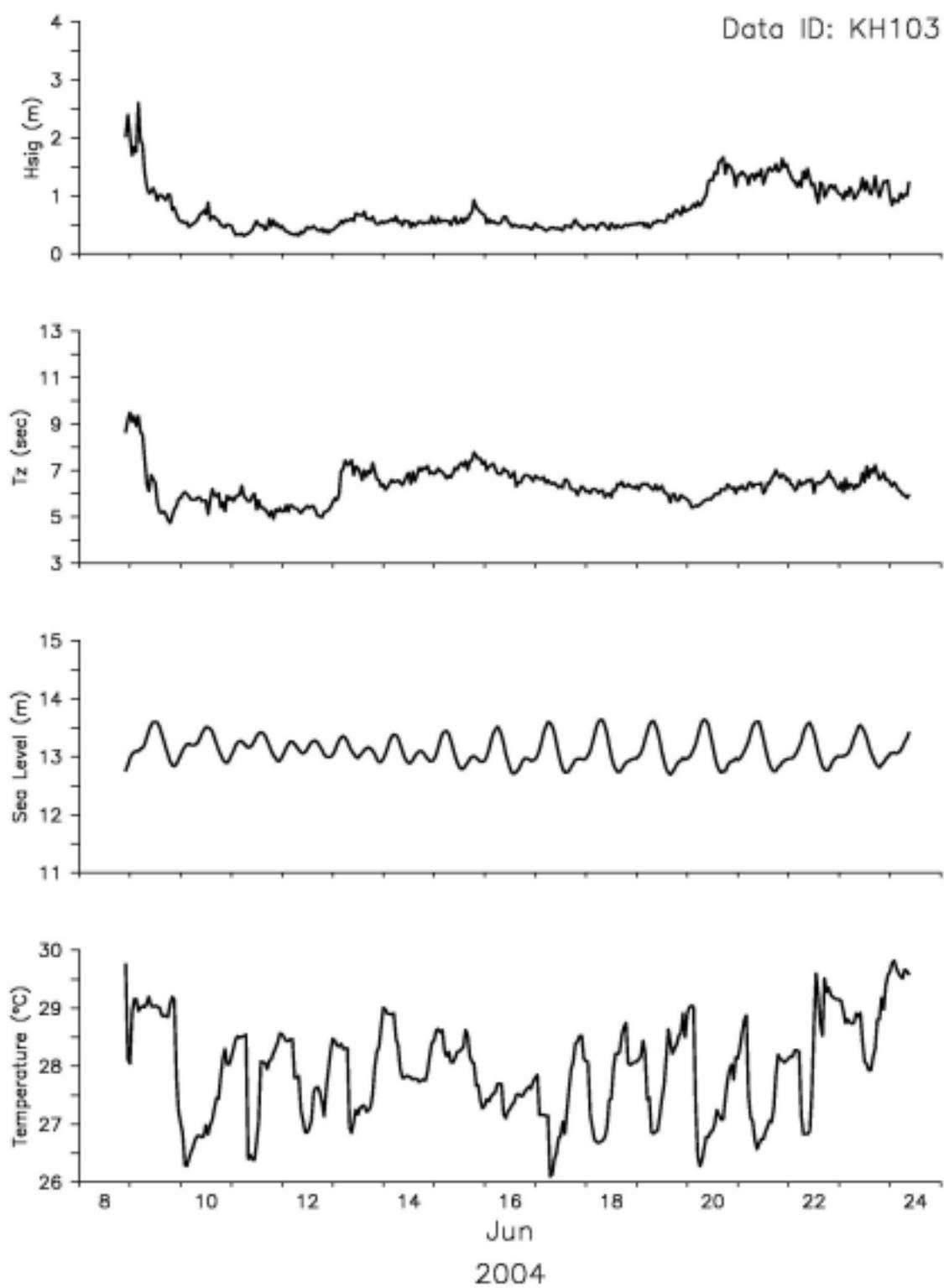


圖 5.16 高雄港一港口 颱風季潮波儀觀測時間序列

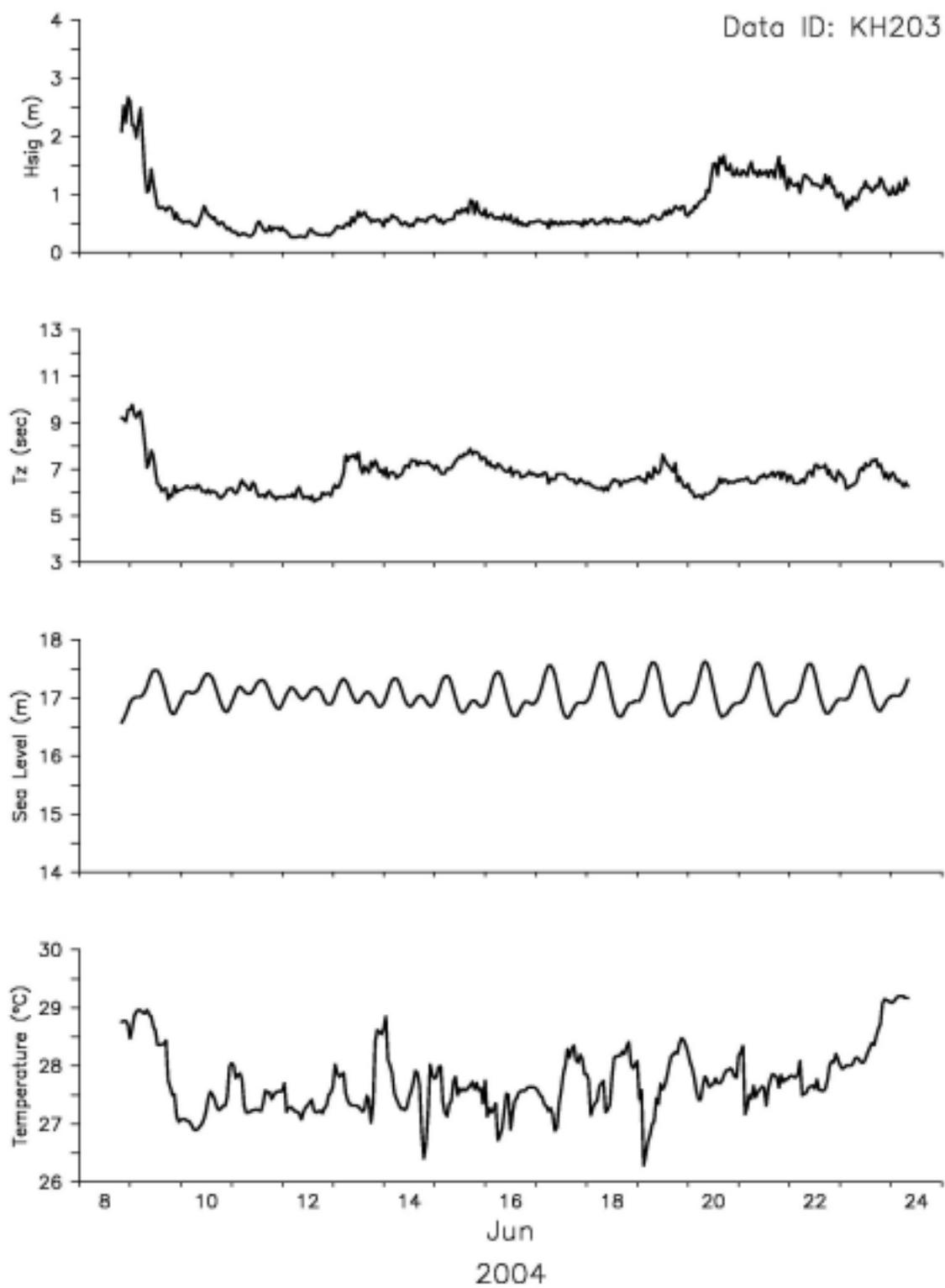


圖 5.17 高雄港二港口 颱風季潮波儀觀測時間序列

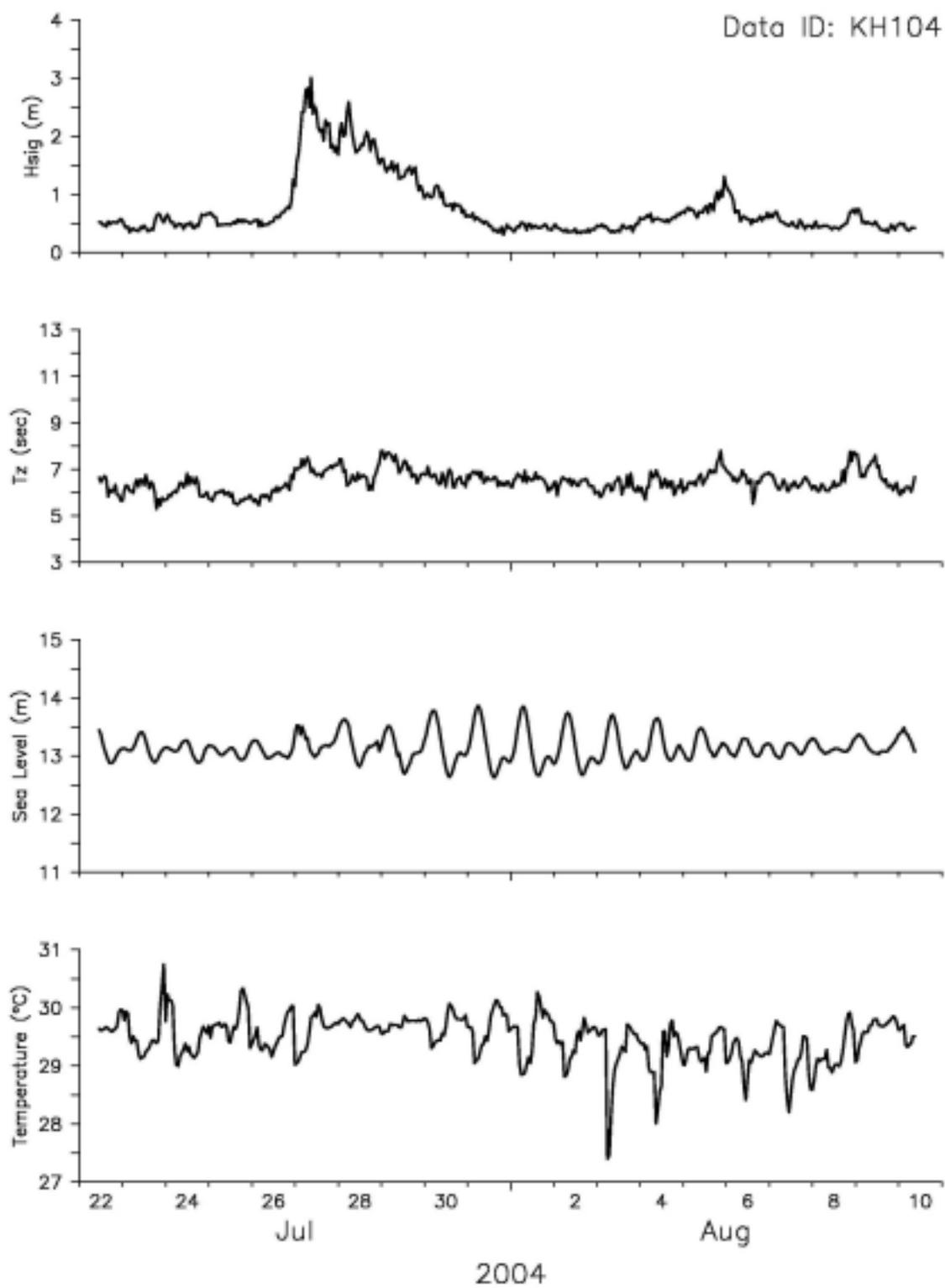


圖 5.18 高雄港一港口 夏季潮波儀第一次觀測時間序列

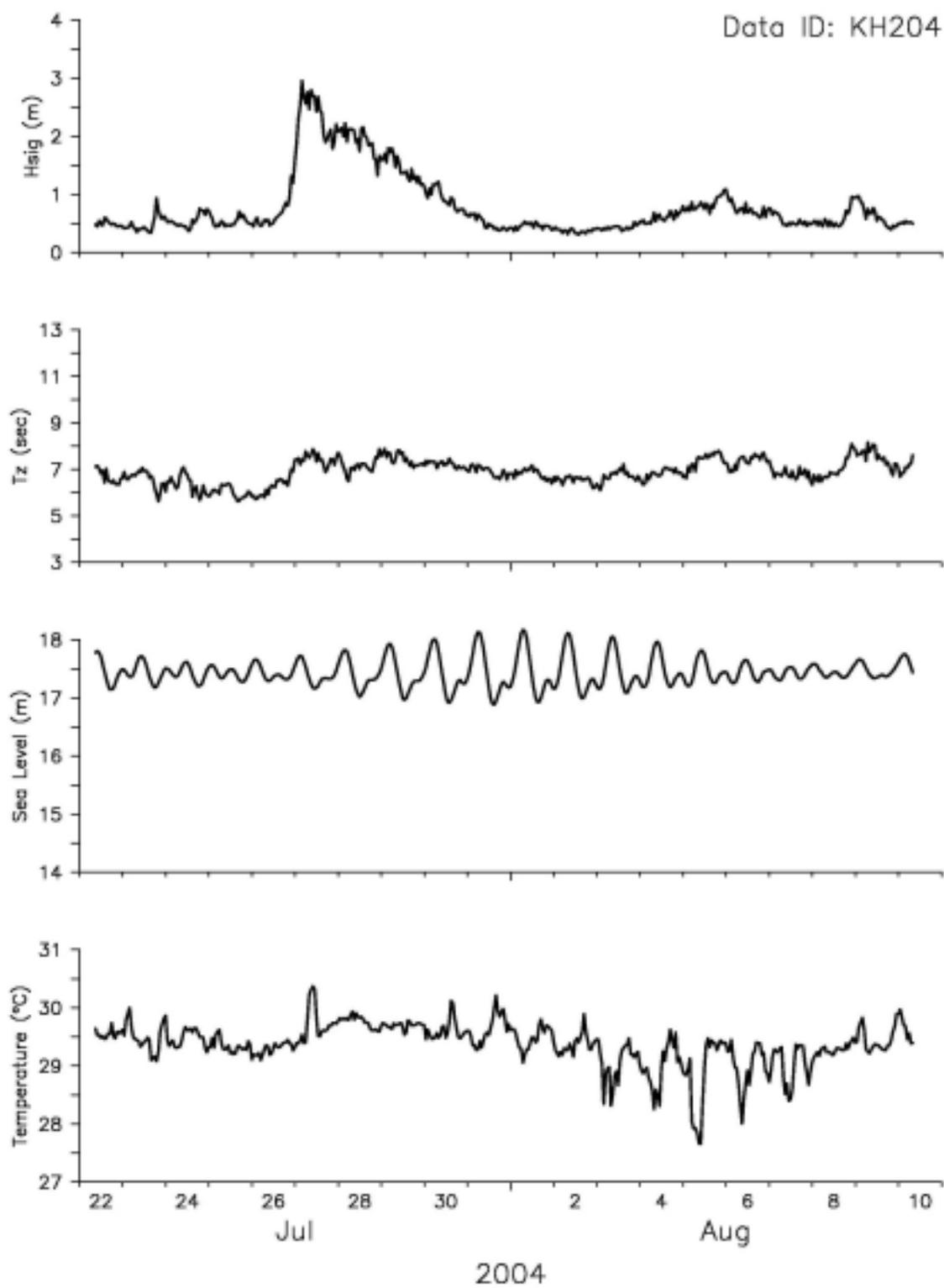


圖 5.19 高雄港二港口 夏季潮波儀第一次觀測時間序列

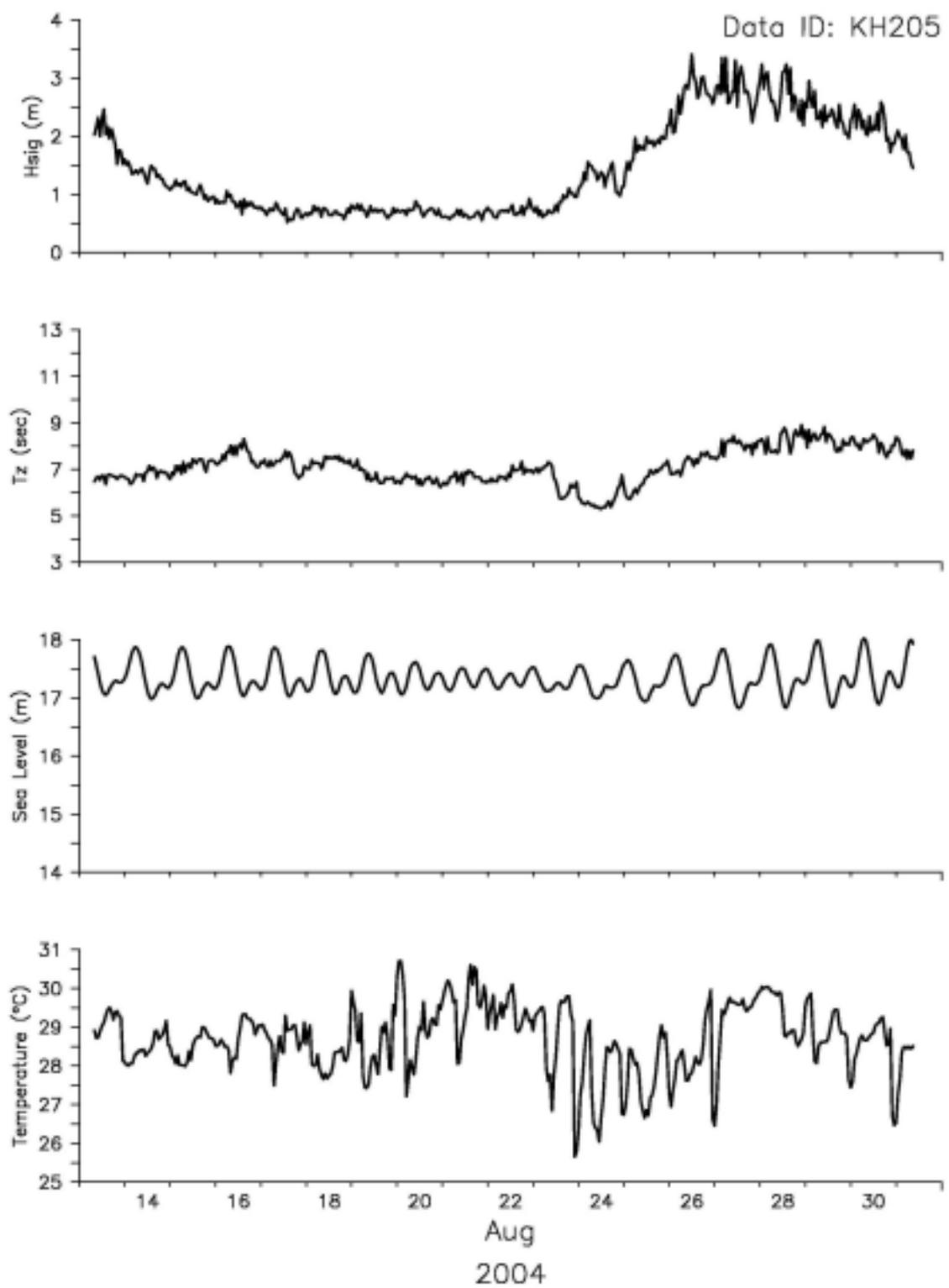


圖 5.20 高雄港二港口 夏季潮波儀第二次觀測時間序列

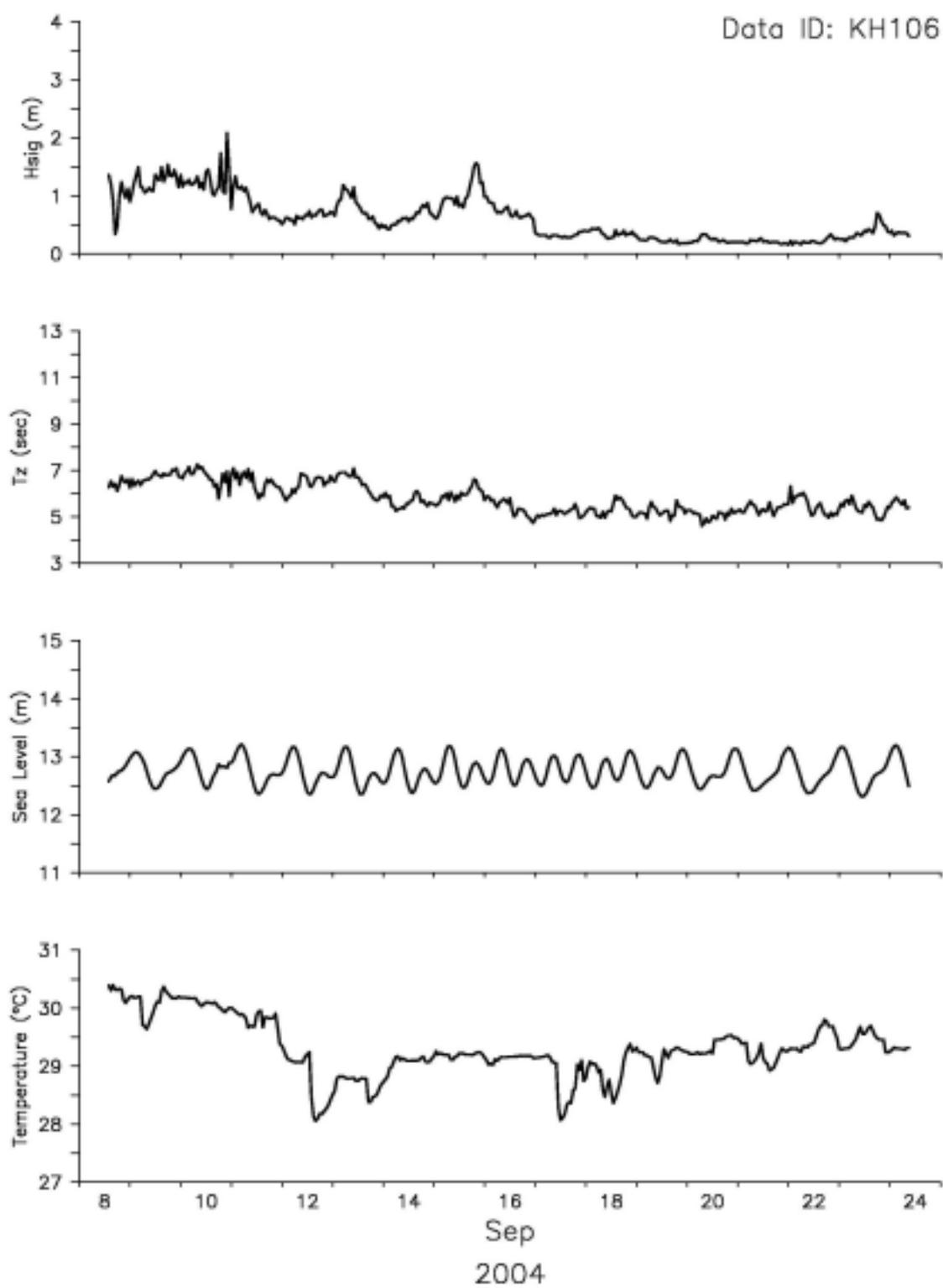


圖 5.21 高雄港一港口 秋季潮波儀觀測時間序列

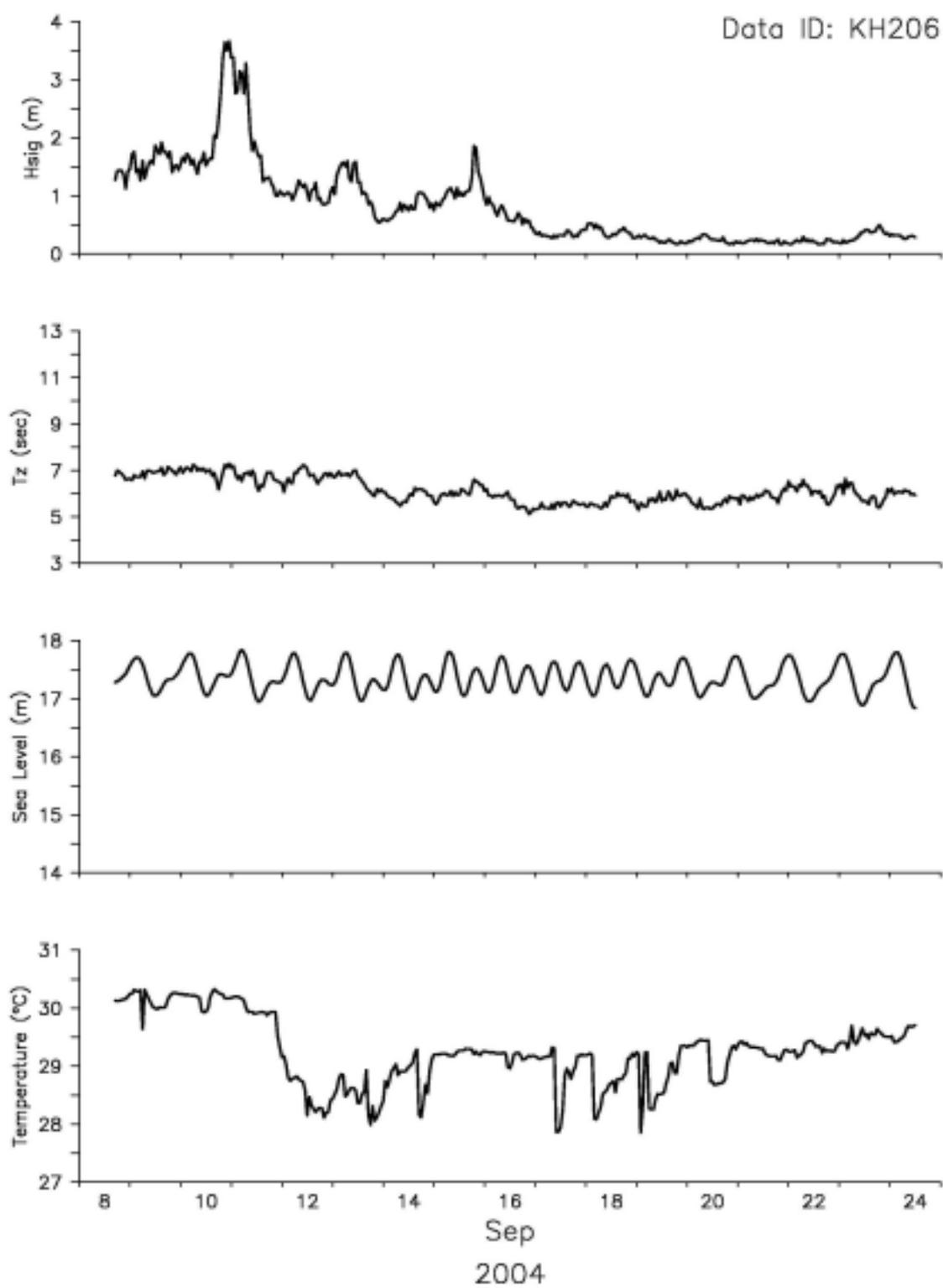


圖 5.22 高雄港二港口 秋季潮波儀觀測時間序列

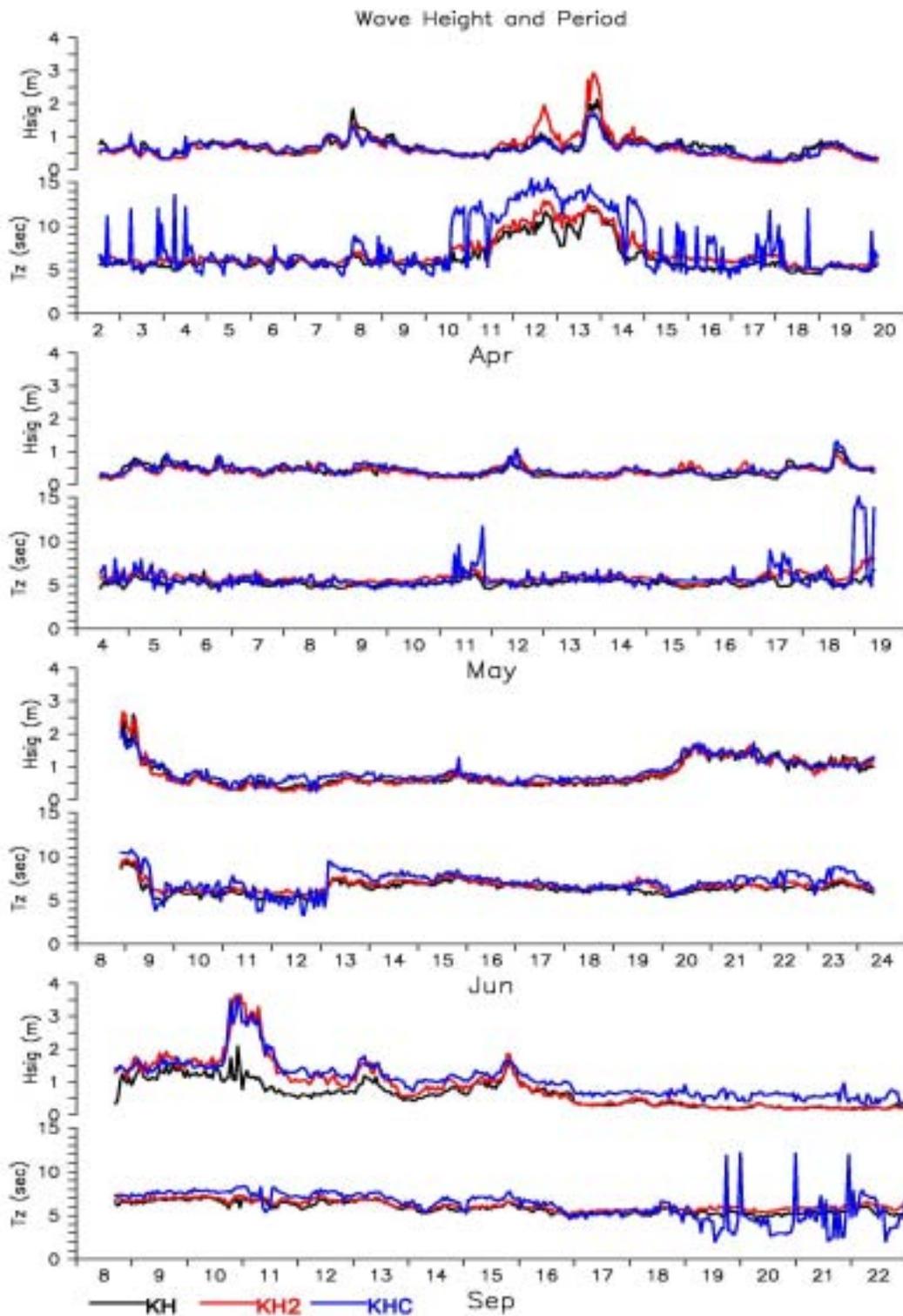


圖 5.23 高雄港三站四季波高週期時間序列
(KH1：一港口，KH2：二港口，KHC：中洲站)

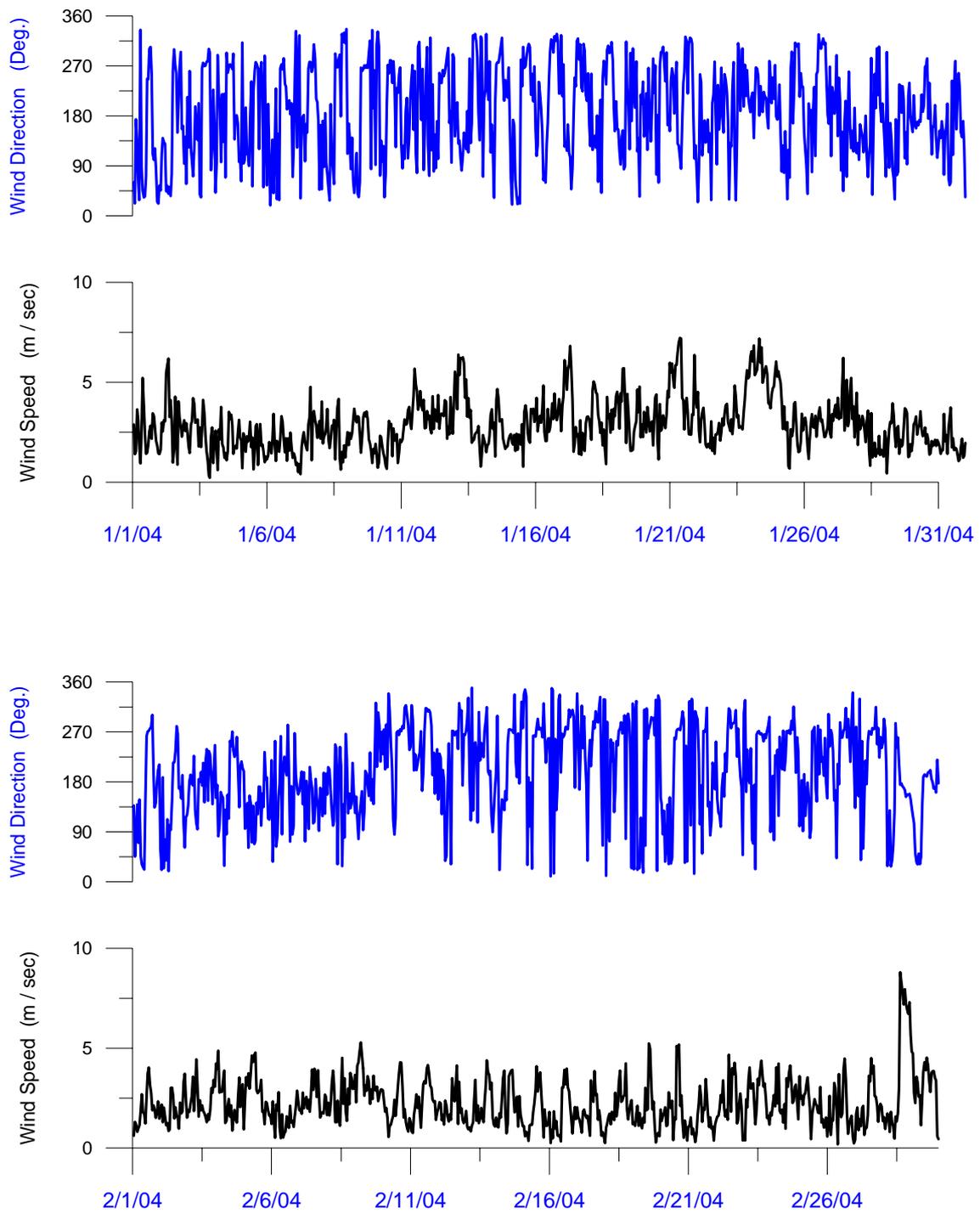


圖 5.24 高雄港 93 年 1 月及 2 月風向風速時間序列

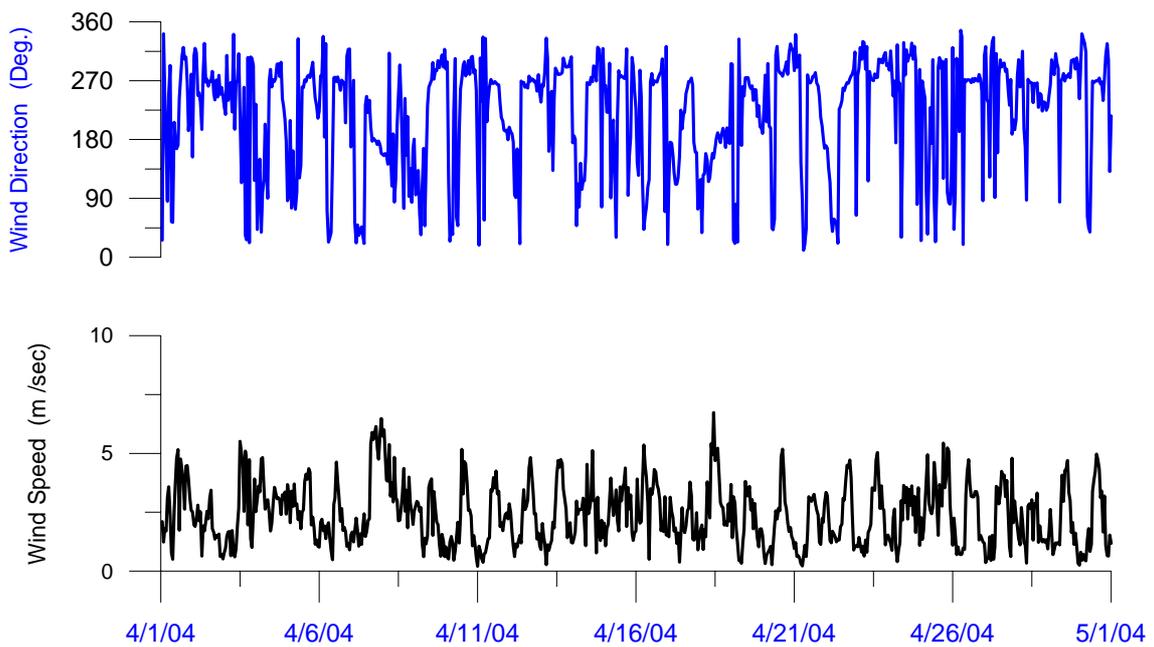
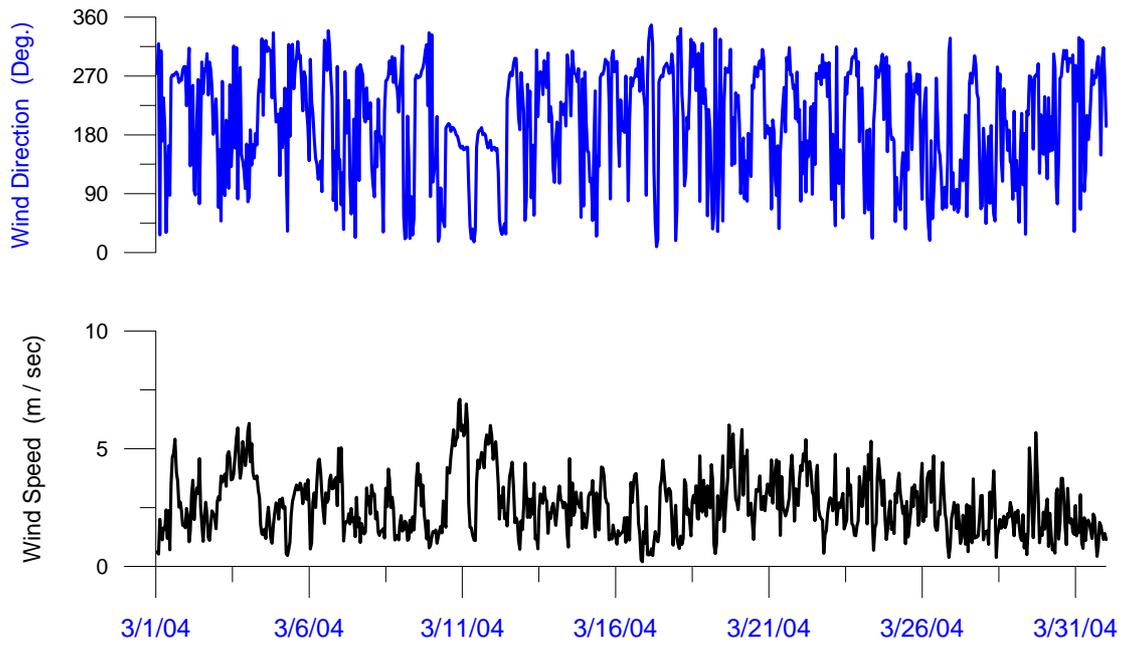


圖 5.25 高雄港 93 年 3 月及 4 月風向風速時間序列

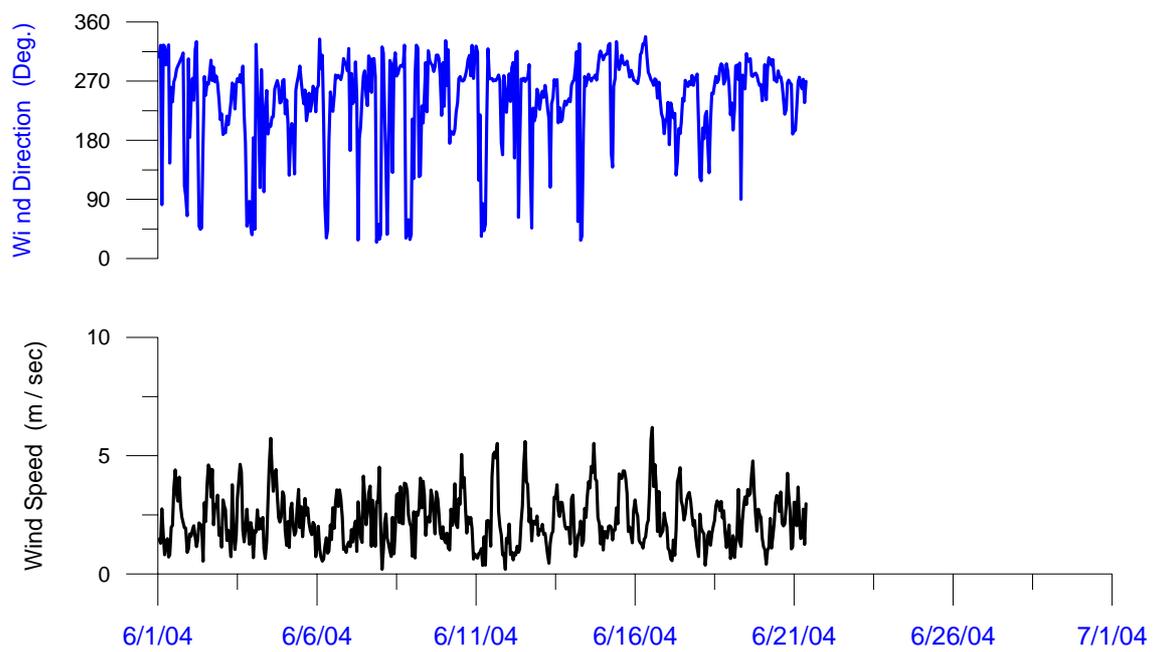
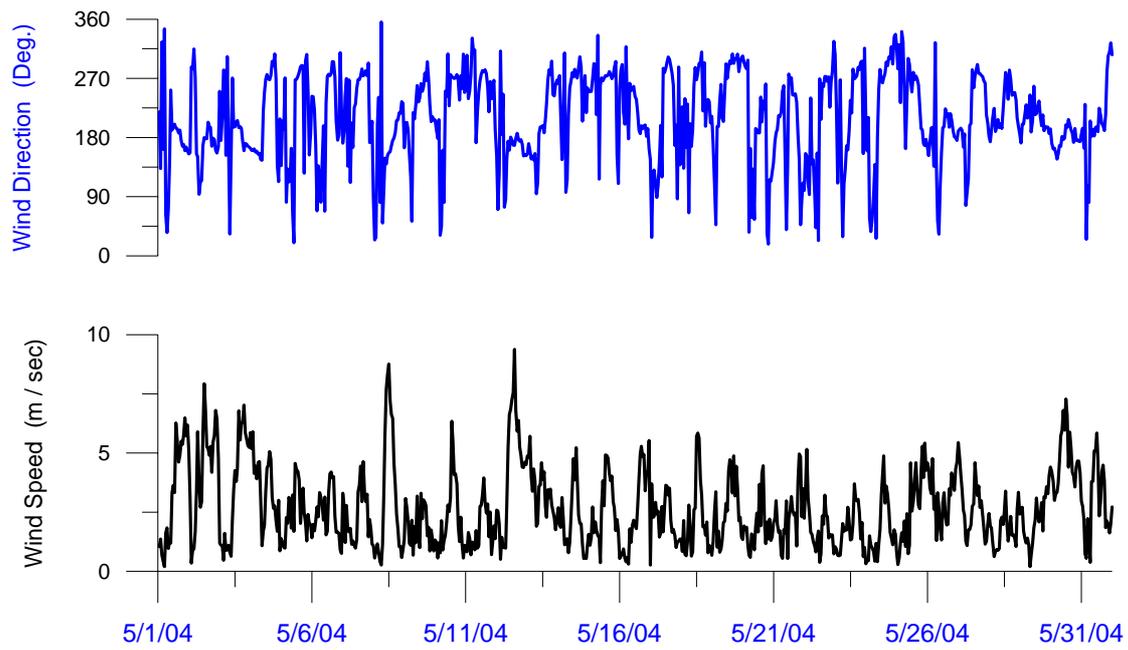


圖 5.26 高雄港 93 年 5 月及 6 月風向風速時間序列

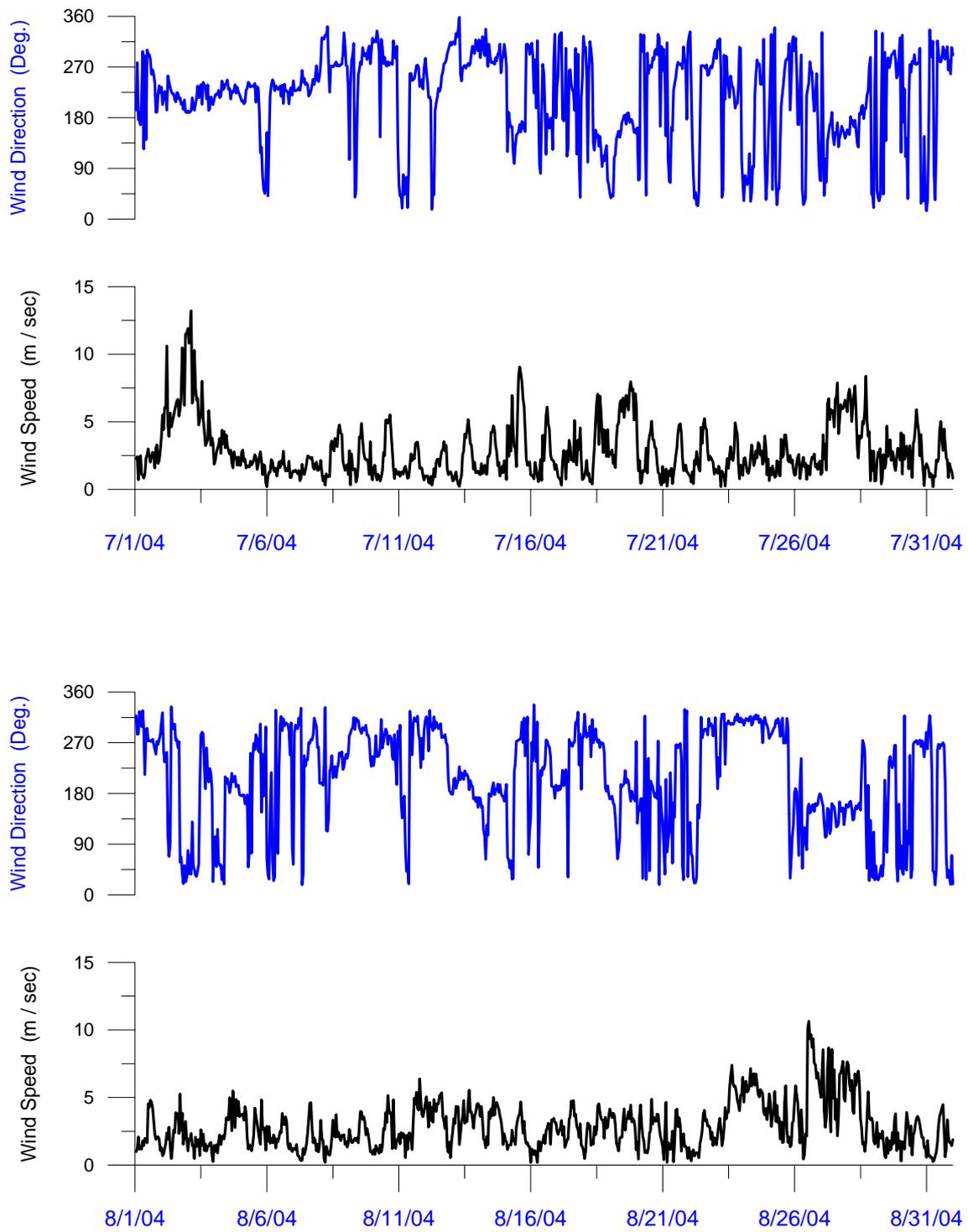


圖 5.27 高雄港 93 年 7 月及 8 月風向風速時間序列

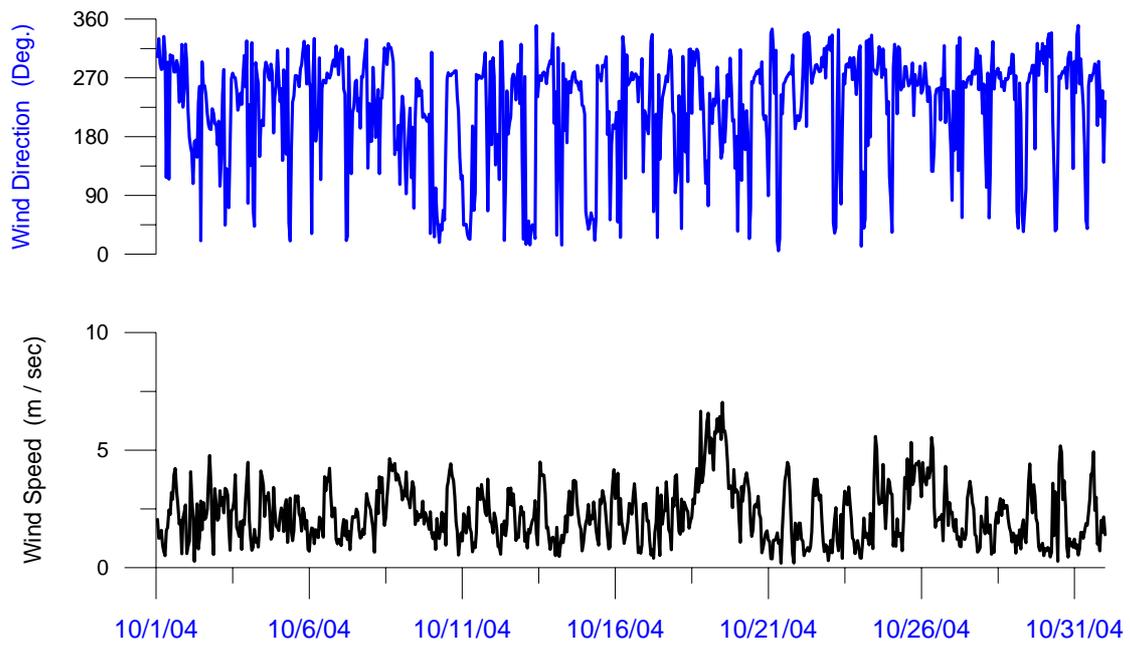
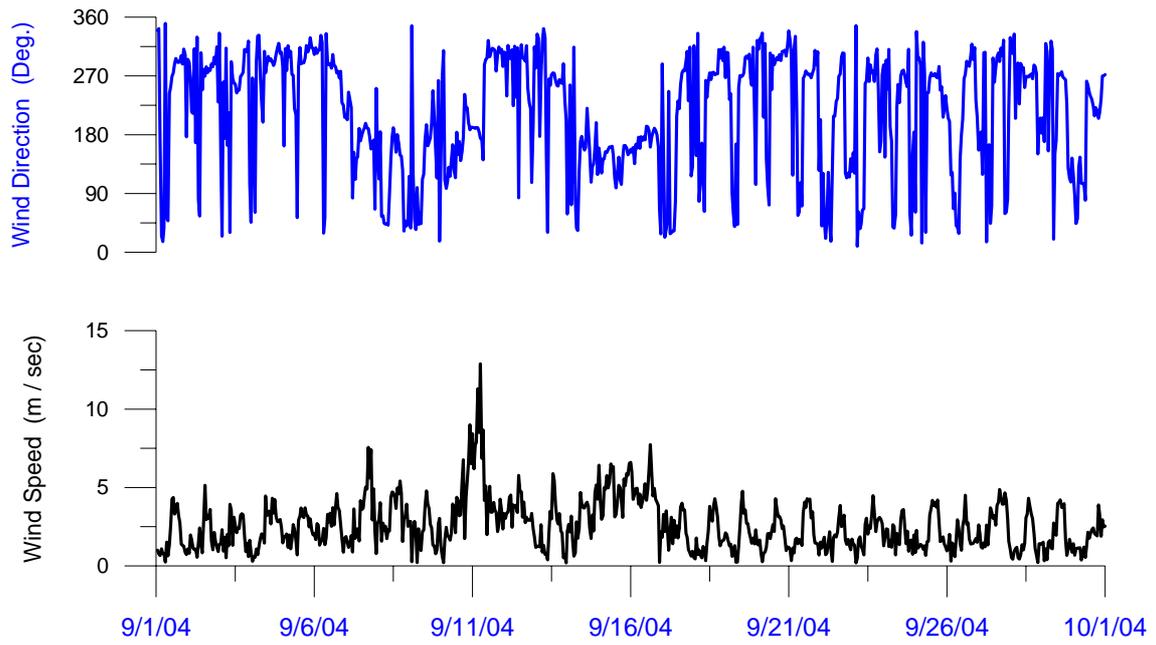


圖 5.28 高雄港 93 年 9 月及 10 月風向風速時間序列

5.5 觀測結果說明

海流調查期間顯示一港口春季流向主要為南北向及北北西與南南東向，流速大於 1 節的比例，由上層至底層都不到 3%；二港口流向主要為北北西與南南東向及西北向，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 18.4% 遞減到 6.8%。

颱風季一港口流向與春季觀測期間類似，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 4.8% 遞減到 1.0%，較春季觀測期間略為增強；二港口流向較為散亂有逆時鐘偏西北西及東南東向之態勢，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 4.7% 減到 1.5%，較春季觀測期間為小。

一港口夏季第一次觀測期間流向仍與春季類似，但南南東向比率明顯增多，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 9.5% 遞減到 2.9%，較春季觀測期間增強許多；一港口夏季第二次觀測期間流向與夏季第一次類似，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 22.5% 遞減到 3.2%；二港口夏季第一次觀測回收時發現儀器受損，第二次觀測期間流向約有近一半比率為南南東向，流速大於 1 節的比例，除底層為 38.5% 外，其餘均大於 50%。

秋季一港口流向主要為北北西向與夏季完全相反，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 5.8% 遞減到 0.4%，較夏季減弱許多；二港口主要流向也轉為北北西向，流速大於 1 節的比例，由上層至底層從 25.1% 減到 4.1%，也較夏季減弱為一半不到。

由一港口、中洲站與二港口間海流觀測比較，春季平均流向均偏北向，最大平均流速出現在二港口；颱風季平均流向均偏南向，最大平均流速出現在中洲站；夏季平均流向均偏南向，最大平均流速出現在二港口，其次中洲站而一港口最小；秋季平均流向均轉為偏北向，最大平均流速上層出現在二港口，中底層卻出現在一港口。三站海流之相關分析大致二港口與中洲站之相關性較好，而夏季之相關性較其他季節佳。最近三年統計資料顯示夏半年流速較強，整體流向則以 NNW 及 SSE 出現最多。

波浪調查期間在一港口所測得之最大波高為 3.01 m，對應之週期為 6.89 sec，發生在民國 93 年 07 月 27 日 09 時(由天氣圖得知當時東沙附近有低氣壓形成)；二港口所測得之最大波高為 3.67 m，對應之週期為 7.31 sec，發生在民國 93 年 09 月 10 日 23 時(由天氣圖得知當時海峽南部有旺盛西南氣流，於 11 日 23 時形成第 0420 號輕度颱風海馬)。一港口、中洲站與二港口間波高、週期之趨勢大致均一致。

颱風季調查期間發現一港口錨碇座積砂嚴重，之後無明顯變化。顯示風浪大流速小時，較易有淤沙現象。

綜合上述資料之主要結果如下：

1. 流向主要為北北西與南南東，一港口偏北北西與南南東向而二港口偏西北與東南向，應與海岸地形有一定關係。流速二港口較一港口大，可能原因為水深較深。夏季明顯較其他季節大許多，而上層流速有較下層大的驅勢；大致漲潮時偏南退潮時偏北，但在複合潮(混合潮)時較不一致。
2. 波浪主要受發生在南海的颱風影響，其次旺盛西南氣流，東北季風影響較小。
3. 颱風季(康森颱風)調查期間發現一港口錨碇座積砂嚴重，當時波高 2.6 米週期 9.34 秒，之後無明顯變化。顯示颱風波浪週期較大，在 13 米附近接近起動深度，推測此時港口有底移質進入港口航道。
4. 漂砂可能來源有二，其一因潮汐而帶入之懸浮質，在港內因流速變小而沉澱；其二為因較大週期波浪，將底移質自港口推入航道。前者經常出現，後者僅在颱風發生在南海才會出現，但這種機率很小，所以高雄港的港口區淤砂主要因潮汐帶入。

第六章 港池淤泥侵淤調查與流況分析

港池淤泥來源及底質調查的工作，利用高雄港務局工務組測量隊所提供的資料，配合套裝軟體進行數值分析，將資料分為三個項目進行處理，以下將描述分析方法及展示結果。由於水深測量工作是每半年進行一次，分別於 4 月及 10 月進行，本計畫主要是針對 89 年 4 月至 91 年 10 月之水深資料進行分析討論。

6.1 全區水深侵淤變化

6.1.1 分析方法

1. 等水深線數位化

將原始的水深圖紙掃描成電子化圖檔 (*.tif)，在 Auto CAD 的環境下，利用圖的處理，如移動、旋轉、放大等動作，與應用程式的載入，來作等深線的描繪，並將所繪製之等深線轉出，成為一具有 x.y.z 之*.dat 檔。

2. 全區域邊界框之選定

從這些水深資料中，選出一個其測量範圍最小的做為邊界框，主要是避免在較大的邊界框在套入較小的範圍時，使用的軟體會自行模擬出不真實的水深情況。工作環境亦於 Auto CAD 下完成，存成 Surfer 可判讀之邊界檔。

3. 侵淤量之計算

在 Surfer 的環境下，讀入前面所作的水深資料檔，將其格點化 (Grid)，再套入全區域邊界檔 (Blank)，得到研究範圍內的格點化資料。關於侵淤量之計算，利用任兩相隔半年的水深格點化資料作相減 (Math)，即可得到這兩相隔半年間的水深侵淤變化。局部區域侵淤量計算，則由歷年港區浚挖量，分析得知較為重要的區域分別作邊界檔；再利用前面所作的水深資料檔，套疊邊界檔(Blank)、相減 (Math)，即可得到局部區域兩相隔半年之間的水深侵淤變化。另外，Surfer 可以檢視任一格點化後的水深分布圖。可自行設定水深變化以彩色漸層的方式呈現，亦可載入已設定好的彩現檔， (*.lvl)，來表現出整個研究範圍內的侵淤狀況。而較詳細的流程，請參閱圖 6.1。

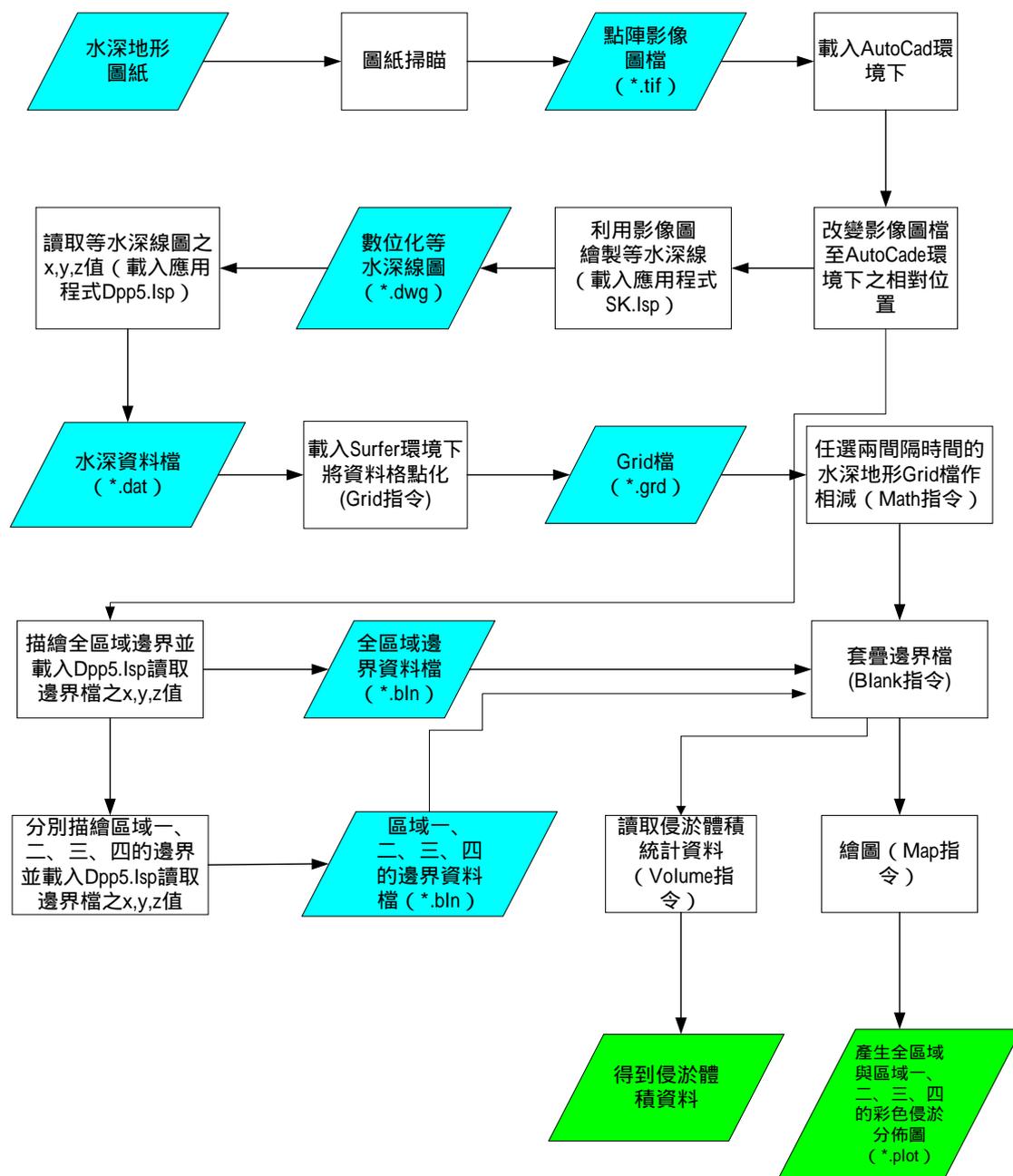


圖 6.1 水深侵淤變化分析工作流程圖

6.1.2 結果說明

展示內容分為全區域與局部區域的侵淤分析，利用表格展示侵

淤量和漸層圖展示地形侵淤變化，其中局部區域的選取是由全區域侵淤圖中判別侵蝕或淤積較為明顯之區域，來作小範圍之探討。因而將之歸類為四個區域，如圖 6.2 所示

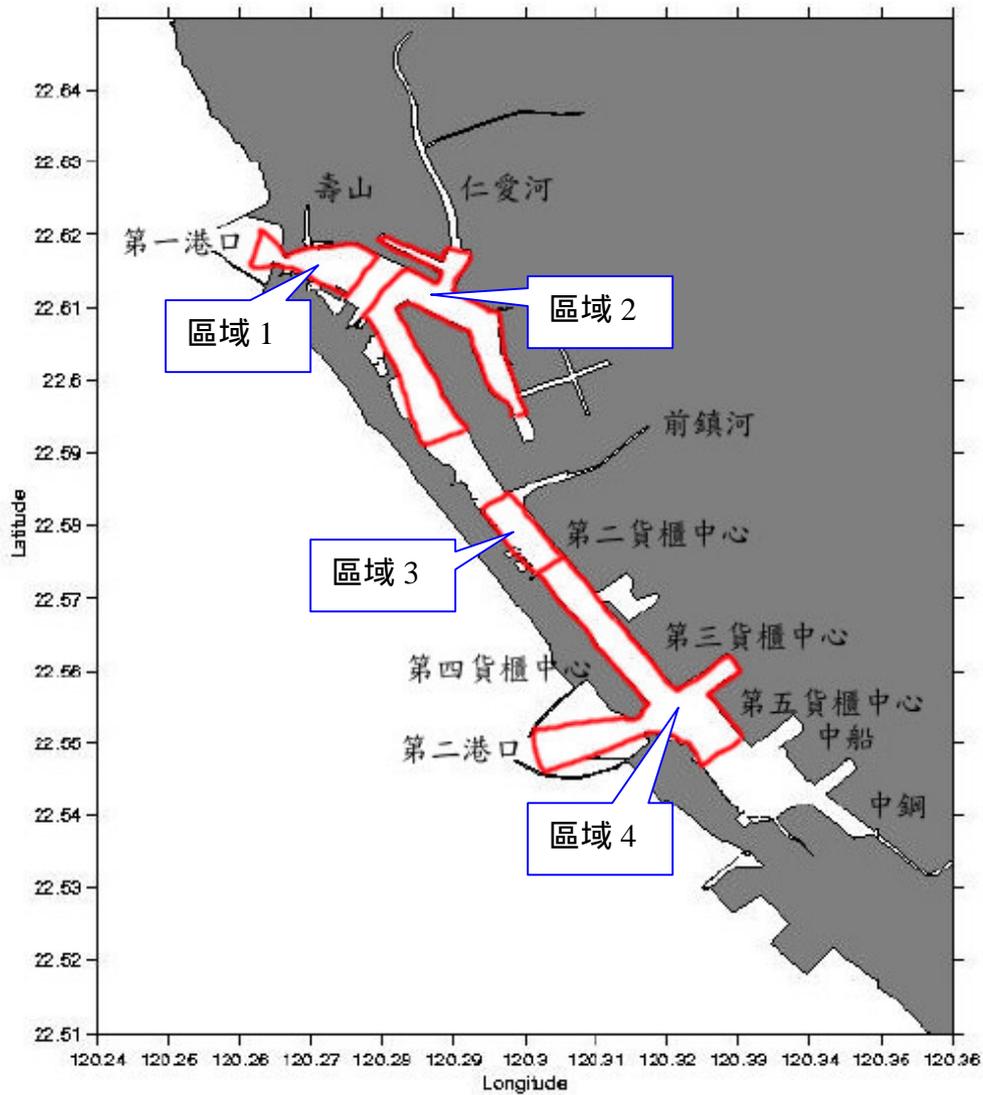


圖 6.2 港區分區圖

表 6.1 全區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-1106710					
90.04	265630	1372340				
90.10	-1368510	-261800	-1634140			
91.04	-460794	645916	-726424	907716		
91.10	-4331105	-3224395	-4596735	-2962595	-3870311	

表 6.2 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域一

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-85917					
90.04	57790	143707				
90.10	-149950	-64033	-207740			
91.04	-107146	-21229	-164936	42804		
91.10	-218917	-133000	-276707	-68967	-111771	

表 6.3 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域二

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-378133					
90.04	-210799	167334				
90.10	-289424	88709	-78625			
91.04	-239798	138335	-28999	49626		
91.10	-719734	-341601	-508935	-430310	-479936	

表 6.4 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域三

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-101296					
90.04	-7437	93859				
90.10	23621	124917	31058			
91.04	82026	183322	89463	58405		
91.10	-151668	-50372	-144231	-175289	-233694	

表 6.5 局部區域侵淤量計算(單位:立方公尺/半年)-區域四

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10
89.04						
89.10	-458627					
90.04	-532318	-73691				
90.10	-364927	93700	167391			
91.04	-295456	163171	236862	69471		
91.10	-1888329	-1429702	-1356011	-1523402	-1592873	

從 89 年 04 月至 91 年 10 月三年水深資料得知全區侵淤，變化最明顯的是 91 年 04 月至 10 月這半年，其變化基本上是侵蝕結果，量可達 3.87 百萬立方。另外，89 年 10 月至 90 年 04 及 90 年 10 至 91 年 04 月其變化是淤積，且以 89 年 10 月至 90 年 04 月淤積量最大，可達 1.37 百萬立方。此外，結果清楚顯示整體變化是夏季期間（4 月至 10 月）呈侵蝕，而冬季期間（10 月至翌年 4 月）呈淤積。

從各分區之分佈結果得知，區域一與區域二之變化趨勢與全區趨勢吻合，而區域三則在 90 年 04 月至 90 年 10 月期間之淤積變化與全區變化相反，區域四則在 89 年 10 月至 90 年 04 月及 90 年 04 月至 90 年 10 月兩期間與全區變化相反。此意謂在 90 年 04 月至 90 年 10 月期間區域一侵蝕極為嚴重，而區域三及四卻有明顯之淤積。同樣的，區域四在 89 年 10 月至 90 年 04 月則很奇特的獨自發生侵蝕，也是在 91 年 4 月至 91 年 10 月較之其他三個區域，有最大的侵蝕量產生。

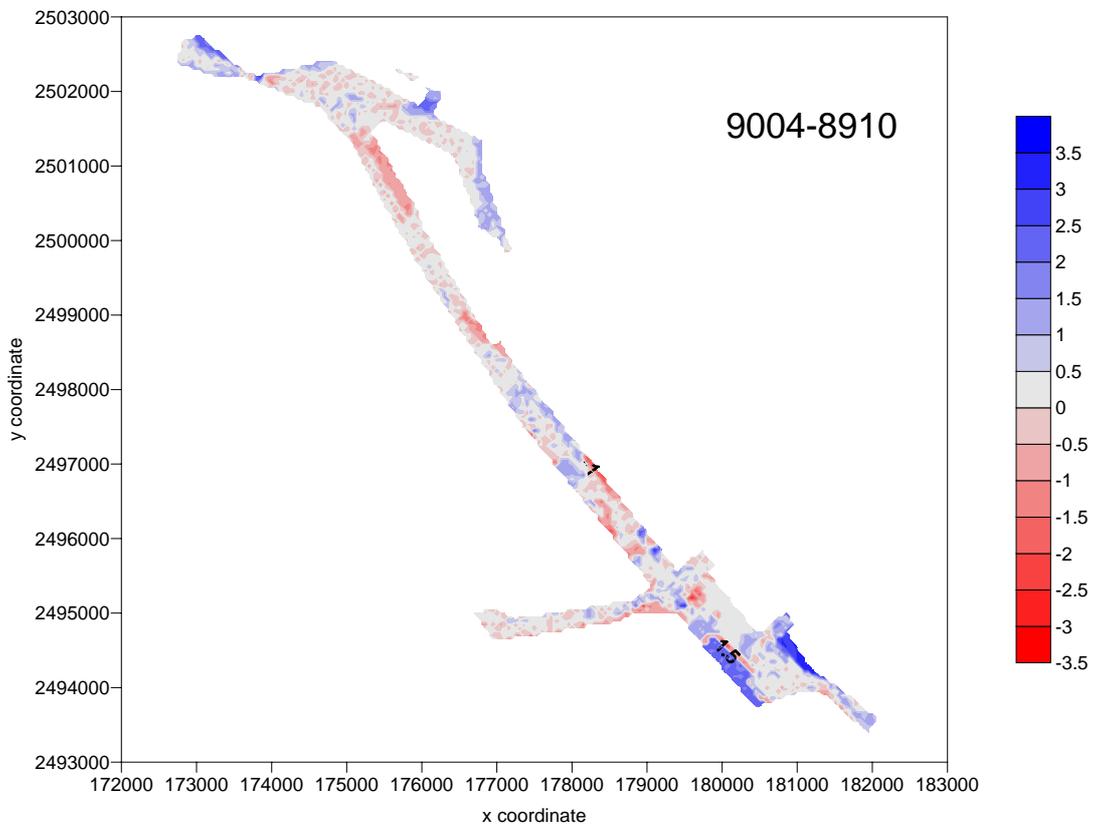
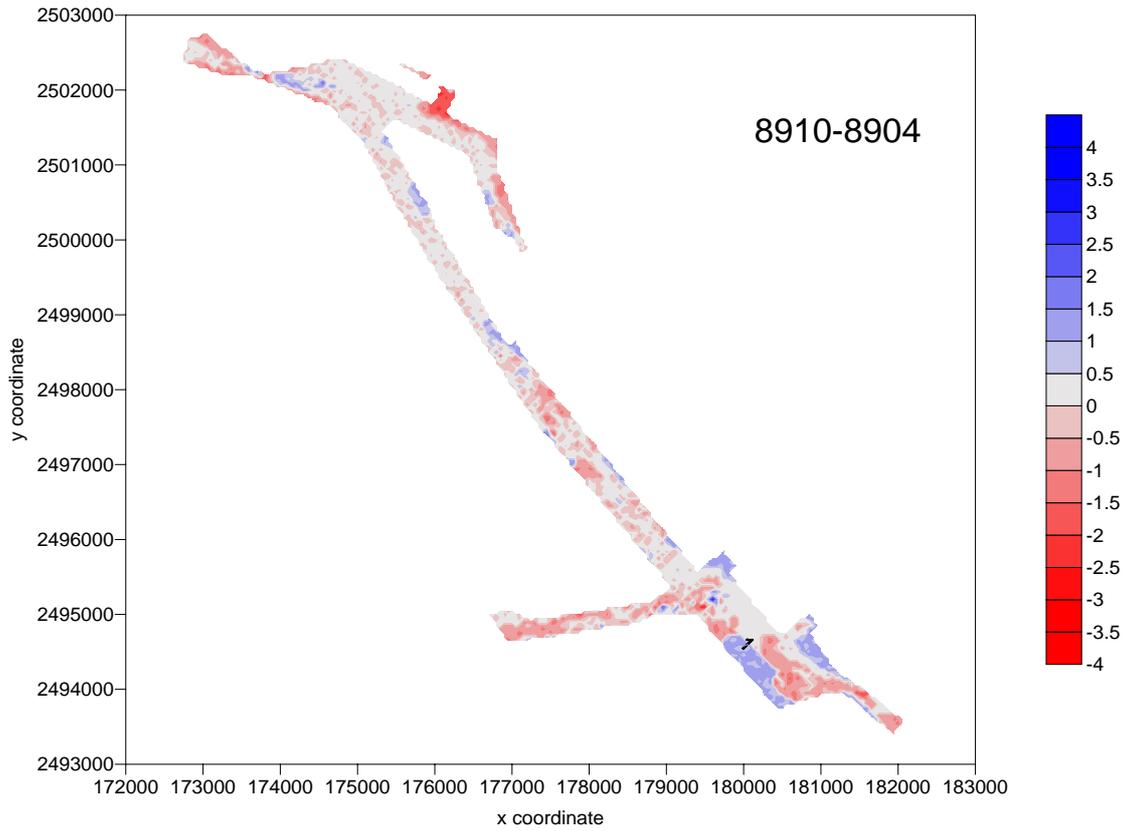


圖 6.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(1/3)

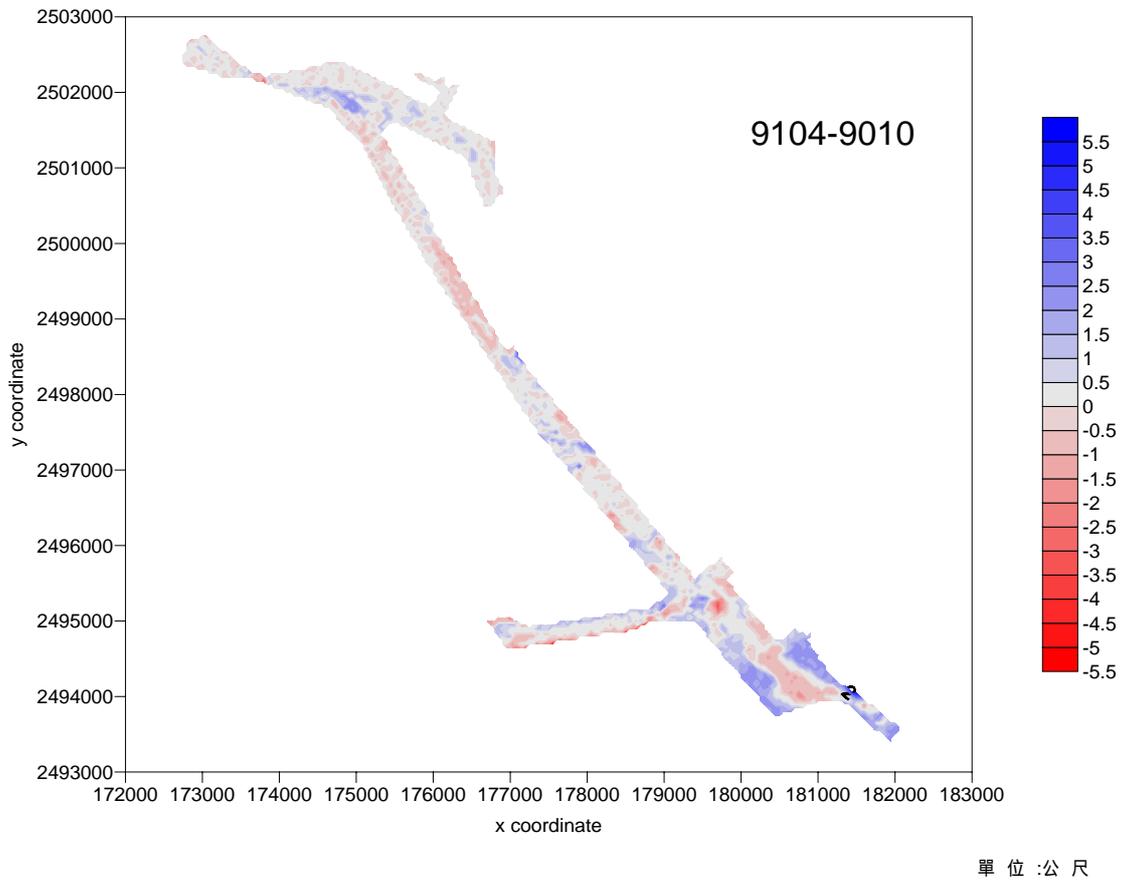
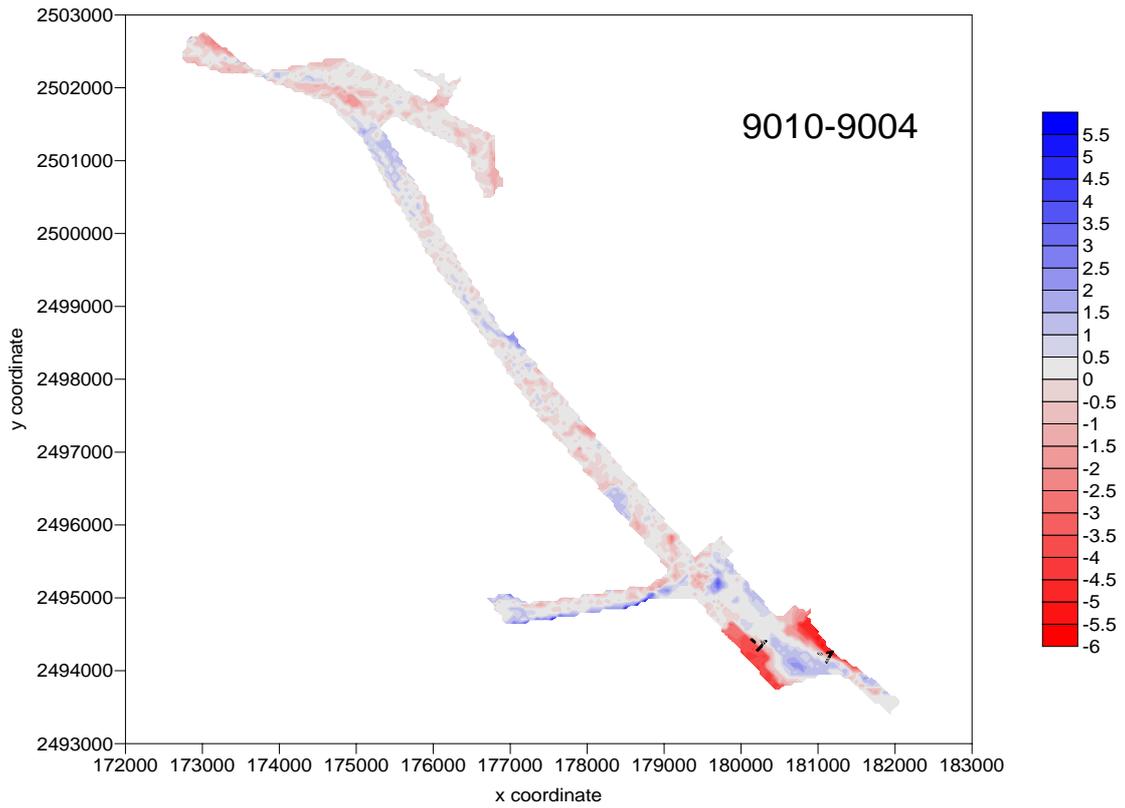


圖 6.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(2/3)

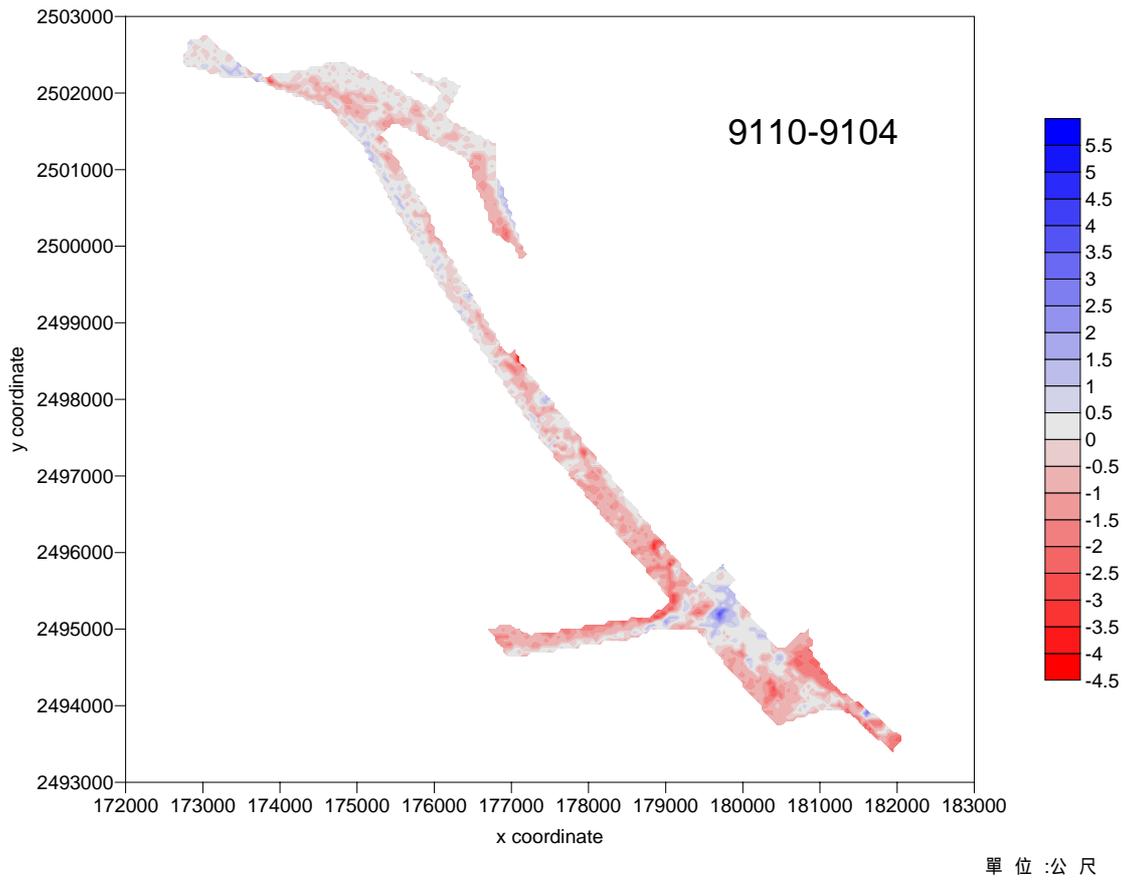


圖 6.3 全區域相隔半年間地形侵淤變化圖(3/3)

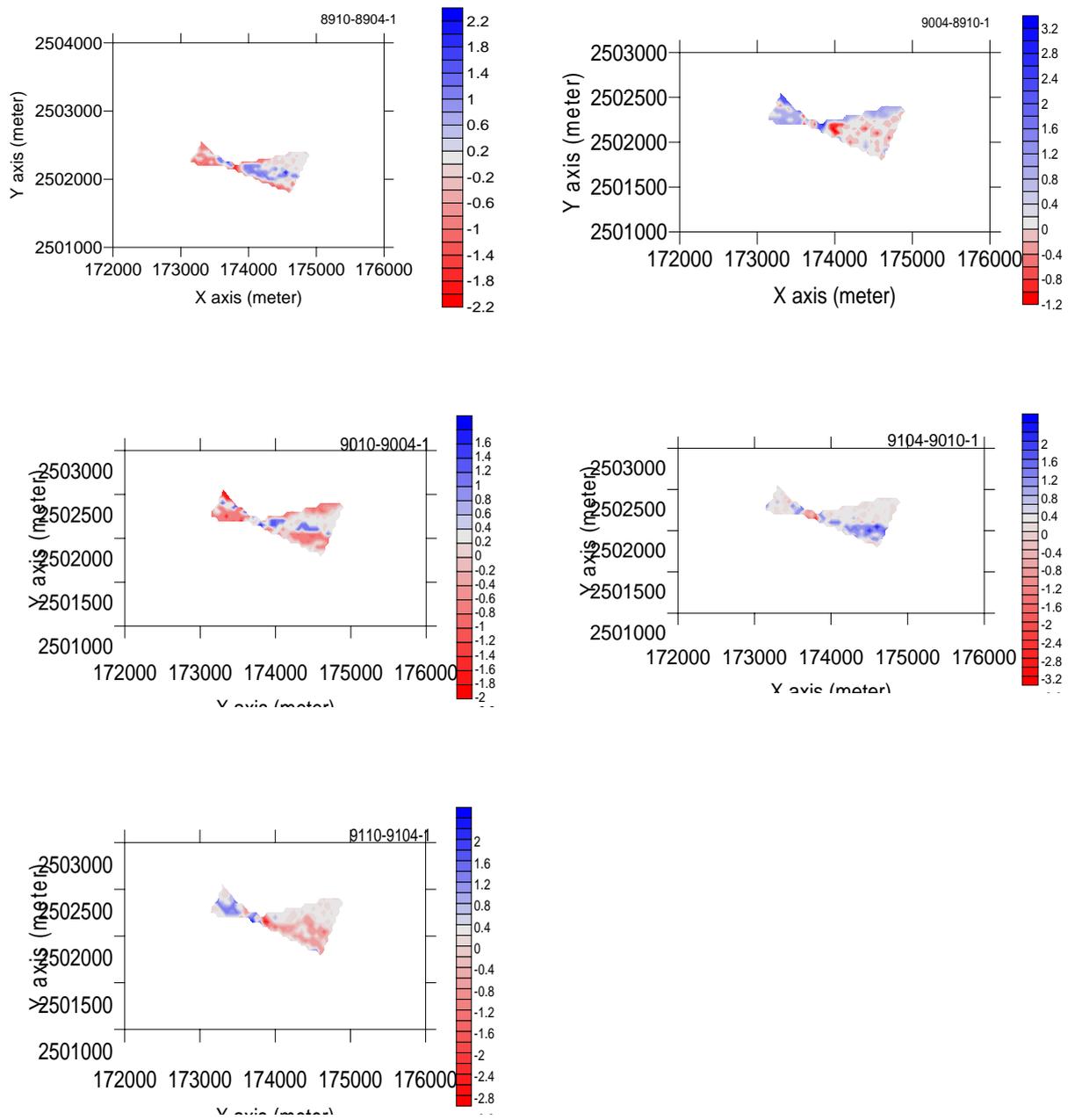


圖 6.4 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域一

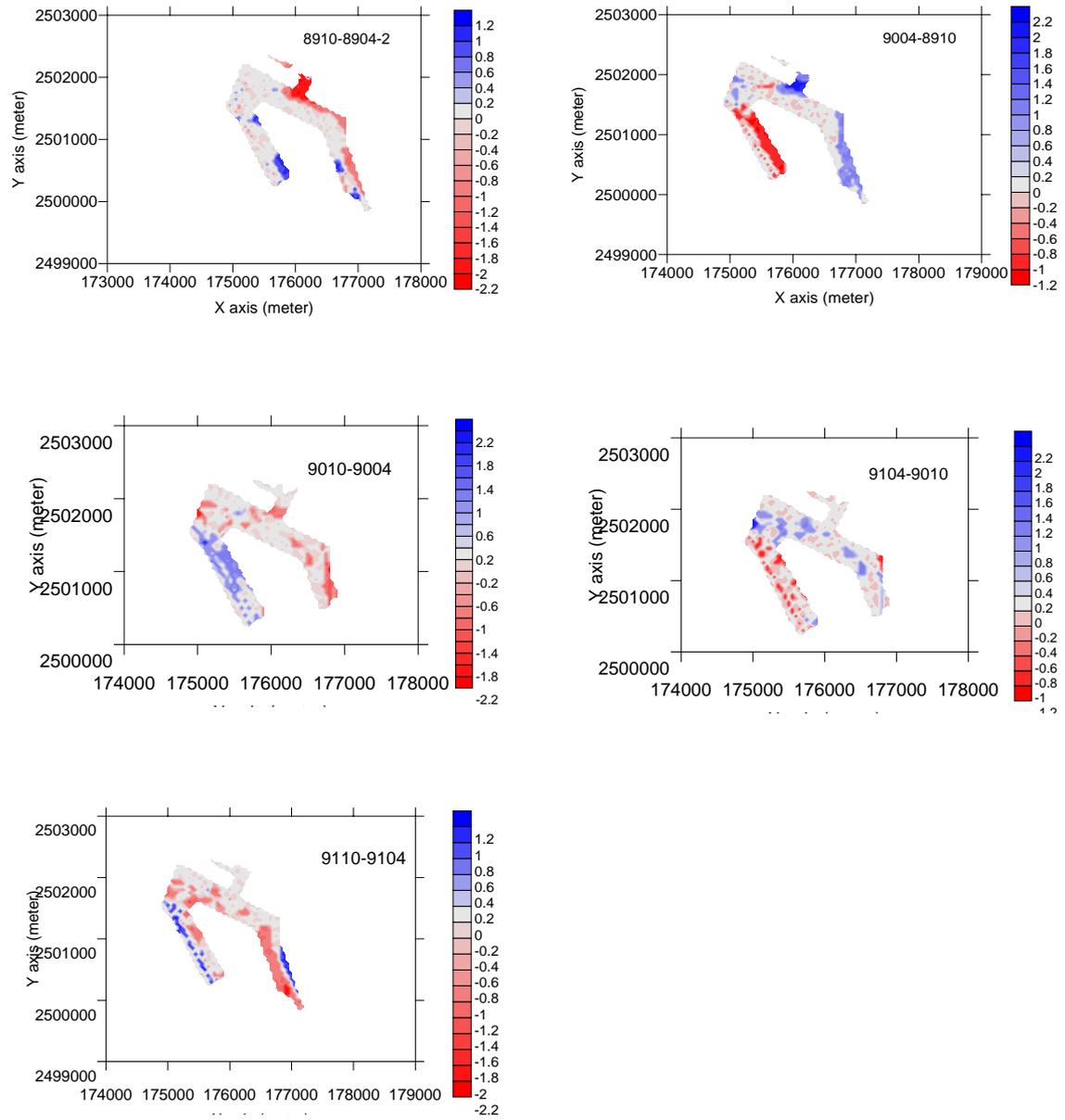


圖 6.5 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域二

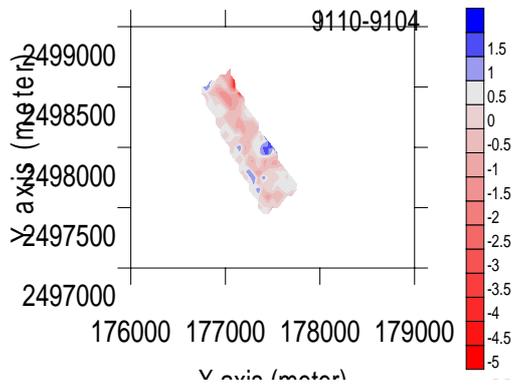
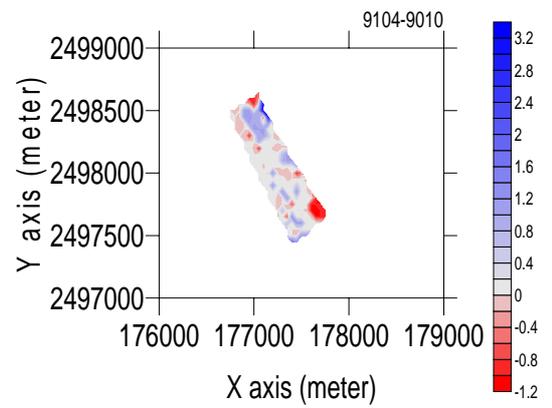
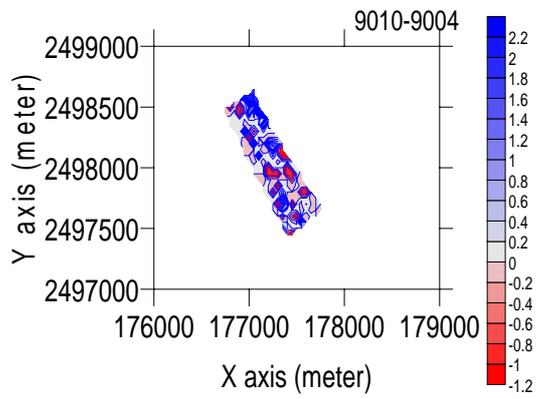
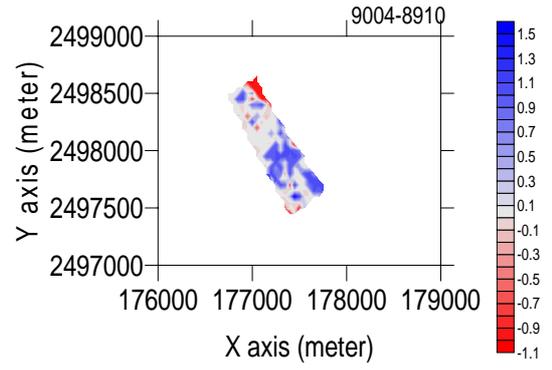
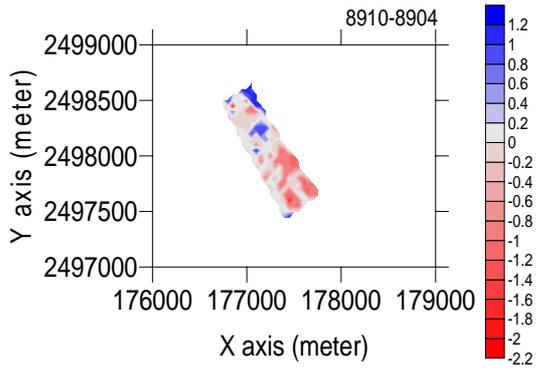


圖 6.6 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域三

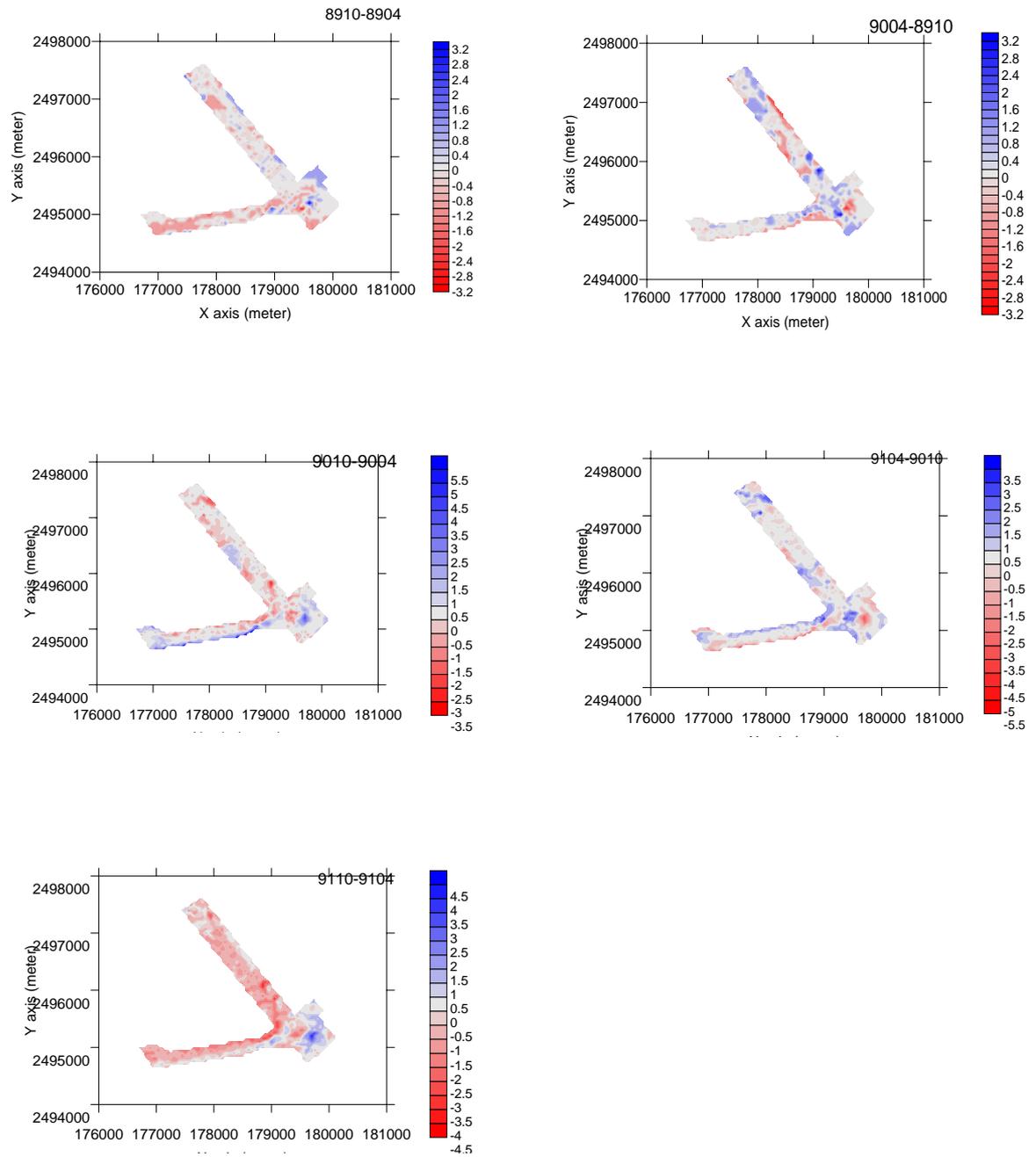


圖 6.7 局部區域相隔半年間地形侵淤變化圖-區域四

6.2 船席浚挖量分析

高雄港船席的分佈如圖 6.8 所示。由於浚挖工作之紀錄於最近幾年方有完整之資料庫建立，因此從高雄港務局港工處浚港課所提供之浚挖資料，按月浚挖量分佈，從民國 90 年至 93 年分別先整理成工作表。綜合各船席每一年的浚挖量，其結果如圖 6.9 所示。

從年浚挖量統計結果得知 90 年度與 91 年度，較多浚挖工作集中在 10 號與 40 號，65 號與 68 號，75 號至 78 號及 115 號至 122 號碼頭，而在 92 年及 93 年度則集中在 65 至 78 號，115 至 122 號碼頭附近，並從針對各船席在四年度之月浚挖量分佈情形，可見浚挖工作集中在夏季，即(4 月至 10 月)，除了船席 22 號與 119 號有明顯的在 90 年之 11 月及 12 月有超過 3000 立方之浚挖量。

針對較明顯浚挖量的船席分佈分析其不同年份之月浚挖量分佈變化，首先整理成圖 6.9 所視，從圖中可再次清楚得知編號小於 41 號之碼頭船席主要的浚挖工作均在 90 年及 91 年進行，同時也集中在 3 月至 10 月之間。編號 65 號以上之碼頭船席，則往往呈相反的趨勢，即以 92 年及 93 年的浚挖量較明顯，而且浚挖工作也是集中在 3 月至 10 月之間。較特殊之處是編號 65 號以上有較大浚挖量的碼頭，基本上都屬貨櫃碼頭，也集中在二港口進港航道附近，且各月份的浚挖量不僅各年且甚至各月份之浚挖量均往往相對地平均。



圖 6.8 船席位置圖

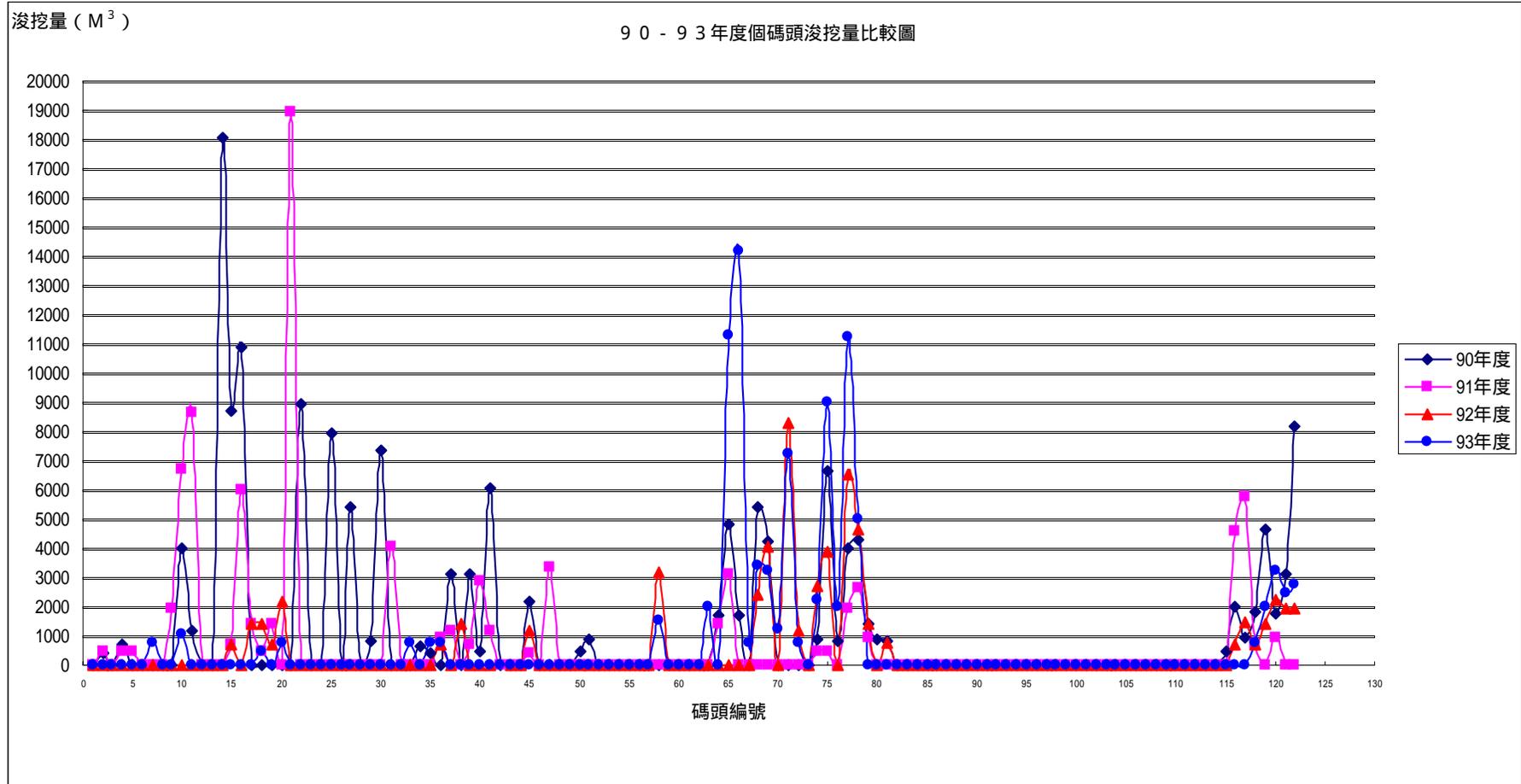


圖 6.9 不同年份各船席年浚挖量分析

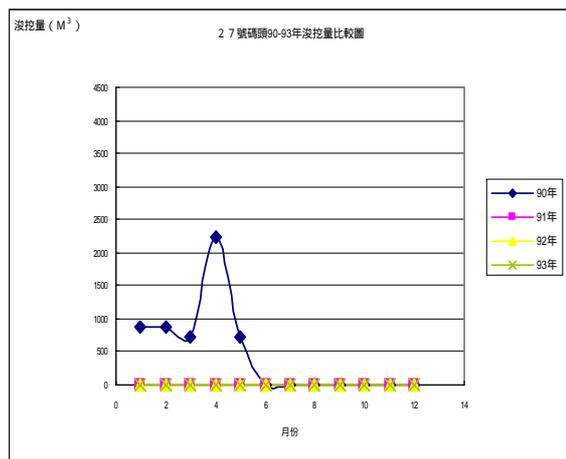
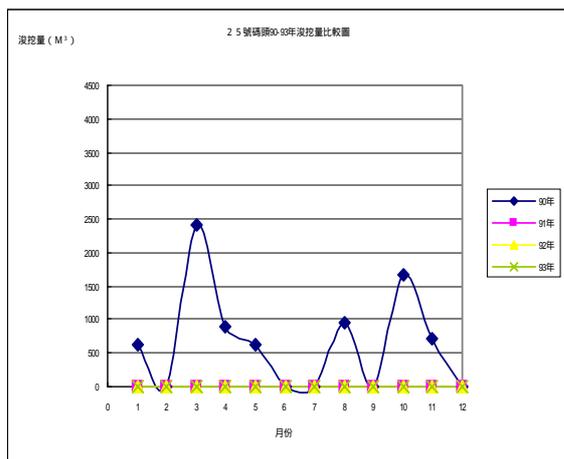
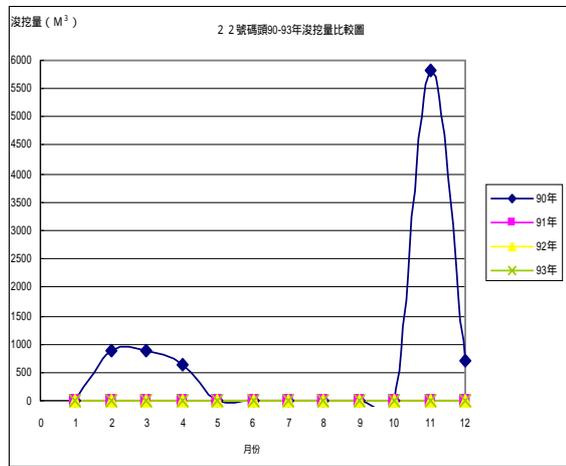
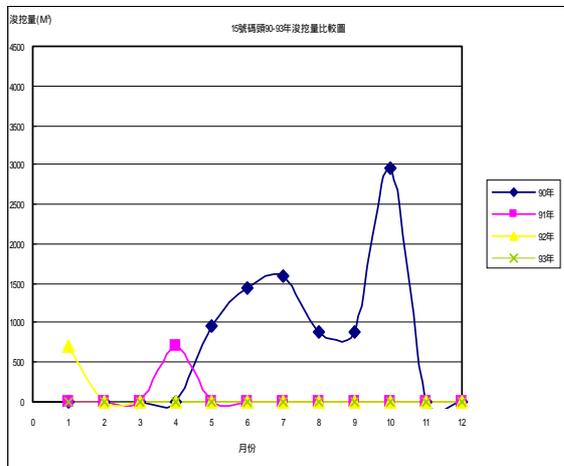
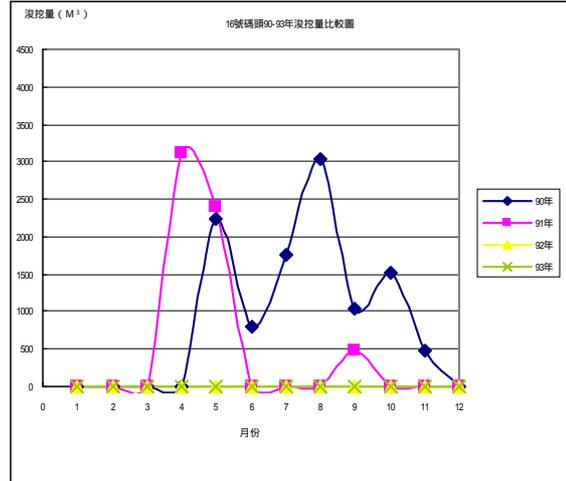
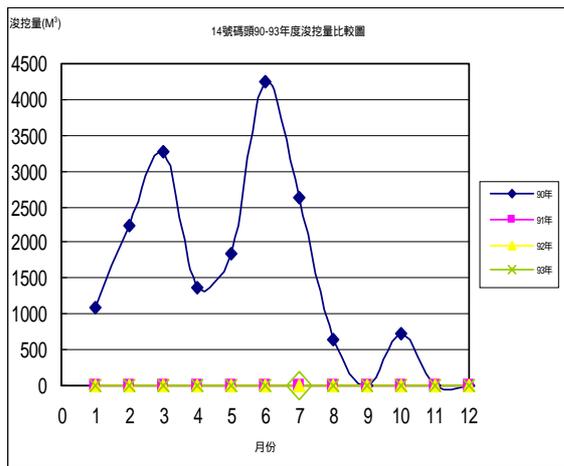


圖 6.10 不同年份月浚挖分析比較(1/3)

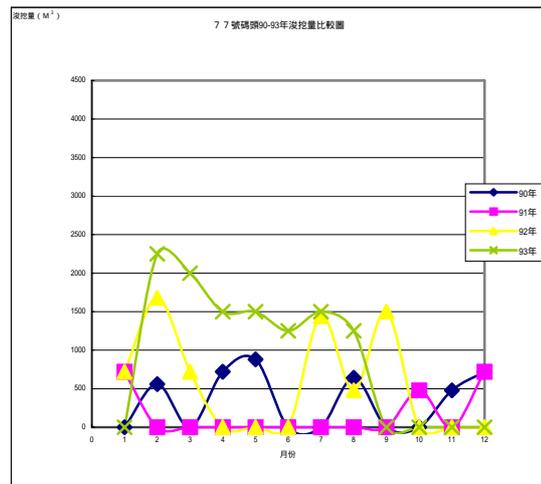
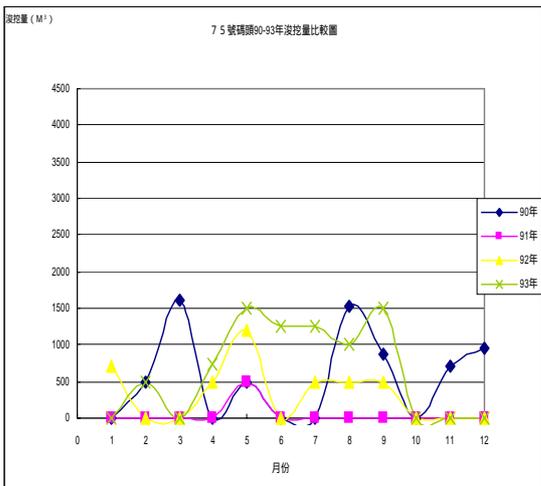
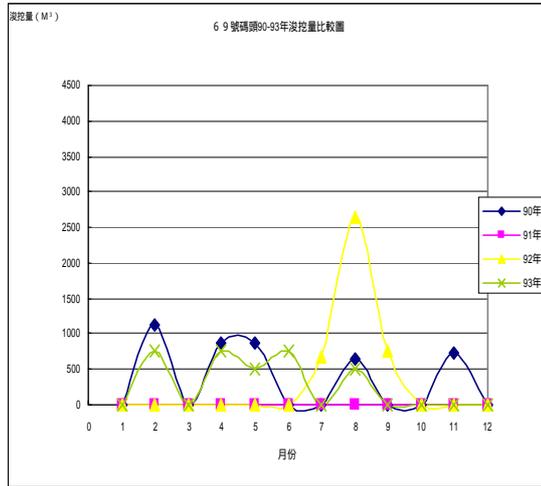
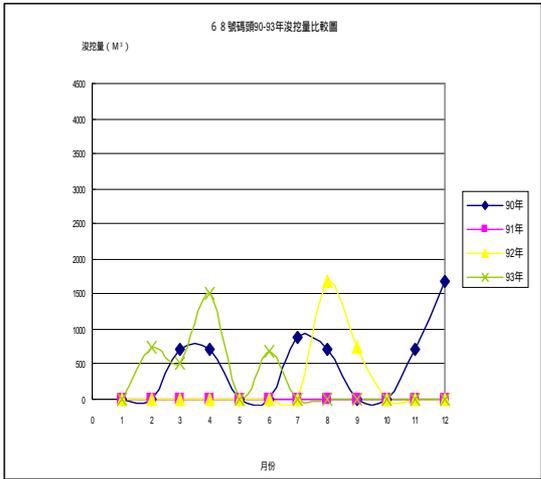
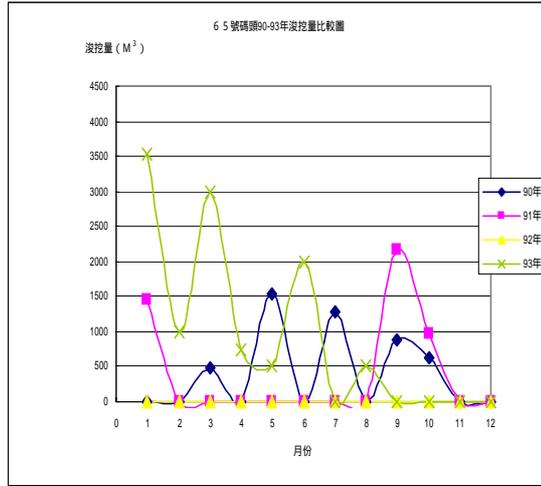
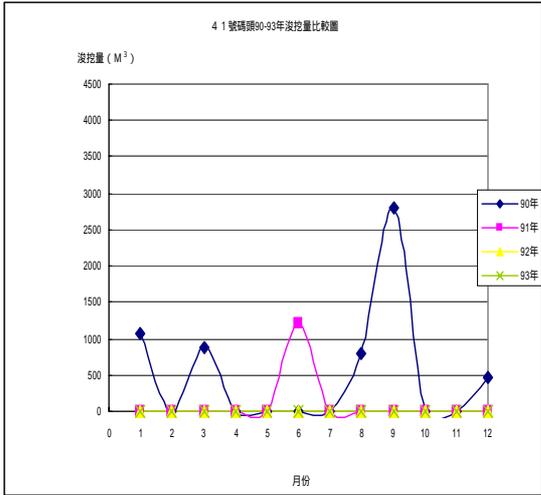


圖 6.10 不同年份月浚挖分析比較圖(2/3)

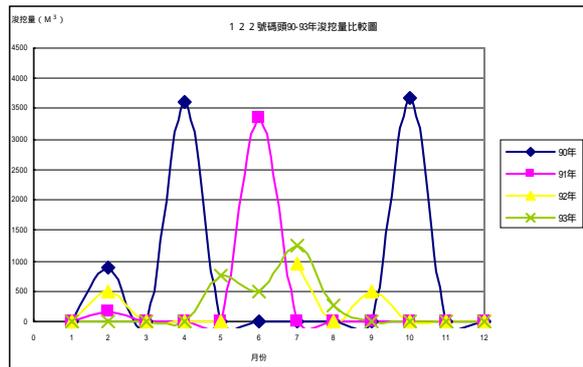
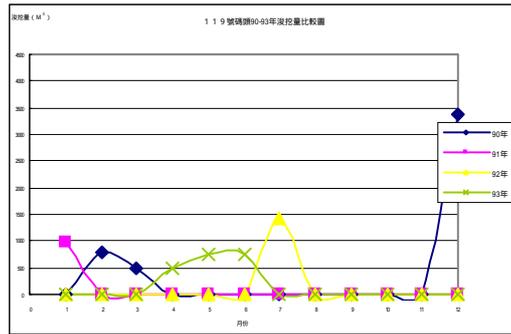
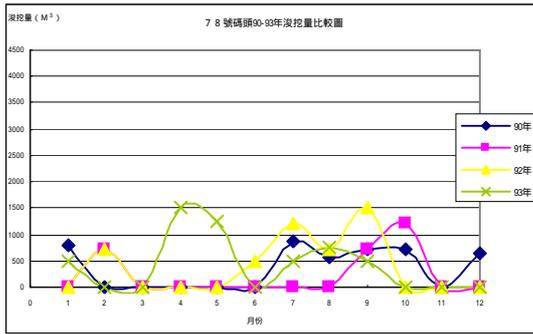


圖 6.10 不同年份月浚挖分析比較圖(3/3)

6.3 船席侵淤量分析

同樣的從港務局工務組測量課所得之各船席附近之水深資料，也是每半年進行一次測量工作。本計畫擬就 89 年 4 月至 92 年 10 月之資料進行分析與討論工作。

6.3.1 分析方法

1. 由歷年船席水深測量結果得知水深資料。
2. 利用 Excel 排列水深資料，存成*.dat 檔，使之成為 Sufer 可讀取之資料格式。
3. 由 Sufer 作歷年各船席之水深格點化(Grid)，由此結果可劃出船席水深平面圖(如圖 6.12 b)，其各碼頭的邊界，我們將有停船的地方省略不記(以零表示)。
4. 利用 Surfer 內建功能可以做兩個相異 Grid 檔的相減動作(Math，矩陣大小必須相符)，由此可以做出任兩張圖的侵淤結果圖(如圖 6.12 a)，並讀取侵淤量(採用後半年水深資料減前半年水深資料，所得結果正號代表淤積，負號代表侵蝕)。

6.3.2 結果說明

針對四個不同區域的船席侵淤量分析結果，分別整理在表 6.6 至表 6.9。從#3 至#6 船席 表 6.6 及#13~#14 船席資料 表 6.7 可看出，89 年 10 月至 90 年 4 月均是淤積最明顯之時段，尤其#3 至#6 在最近一年中淤積量似乎穩定在 $9000M^3$ /半年。另一方面，#67 至#68 船席資料 表 6.8 及#115~#116 表 6.9 顯示此兩區域之侵淤變化量均相對較大，且均以 90 年 10 月至 91 年 4 月之侵蝕量最大，同時又以#115~#116 船席附近水深變化相對最大。其次，再將各船席區位的歷時變化以折線圖呈現，如圖 6.11 所示。從此圖可得知#67 至#68 碼頭船席與#115 至#116 碼頭船席之侵淤結果變化最大，夏季的浚挖作業對#115 至#116 碼頭船席之侵蝕影響在 90 年 10 月之後逐漸減少，但反觀#67 至#68 碼頭船席則受浚挖作業較明顯。

表 6.6 3,4,5,6 船席侵淤量 (單位：M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	-4926						
90.04	5932	10858					
90.10	1682	6608	-4250				
91.04	3851	8777	-2081	2169			
91.10	1412	6338	-4520	-270	-2439		
92.04	10430	15356	4498	8748	6579	9018	
92.10	6837	11763	905	5155	2986	5425	-3593

表 6.7 13,14 船席侵淤量表 (單位：M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	13066						
90.04	9907	-3159					
90.10	-626	-13692	-10533				
91.04	5938	-7128	-3969	6564			
91.10	11455	-1611	1548	12081	5517		
92.04	14949	1883	5042	15575	9011	3494	
92.10	10235	-2831	328	10861	4297	-1220	-4714

表 6.8 67,68 船席侵淤量表 (單位：M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	8574						
90.04	13208	4634					
90.10	29816	21242	16608				
91.04	13349	4775	141	-16467			
91.10	28877	20303	15669	-939	15528		
92.04	67211	58637	54003	37365	53862	38334	
92.10	62911	54337	49703	33095	49562	34034	-4300

表 6.9 115,116 船席侵淤量表 (單位：M³/半年)

	89.04	89.10	90.04	90.10	91.04	91.10	92.04
89.04							
89.10	-11862						
90.04	-1445	10417					
90.10	26569	38431	28014				
91.04	-4794	7068	-3349	-31363			
91.10	10734	22596	12179	-15835	15528		
92.04	-217	11645	1228	-26786	4577	-10951	
92.10	-7143	4719	-5698	-33712	-2349	-17877	-6926

另外我們分別取 4 個表中最上層對角線的數值，做每半年期間船侵淤圖，藉以說明個別碼頭區域的侵淤情形。

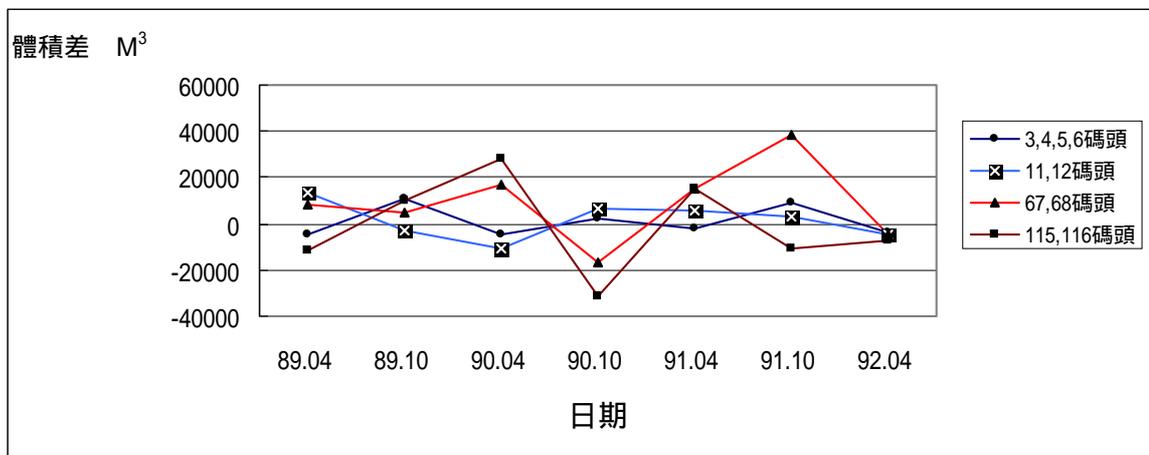


圖 6.11 89-92 年每半年部份船席區侵淤結果

我們由圖 6.11 89-92 年每半年部份船席區侵淤結果可明確得知，第 67,68,115,116 碼頭的淤積結果最重，因為第 67,68,115,116 碼頭，地形起伏變化很大。由 67,68 碼頭線看來，其中 90 年 10 月時為低地形，到 91 年 10 月有大量的淤積狀況。由 115,116 碼頭線看來，其中 90 年 10 月時為低地形，到 91 年 04 月有大量的淤積狀況。

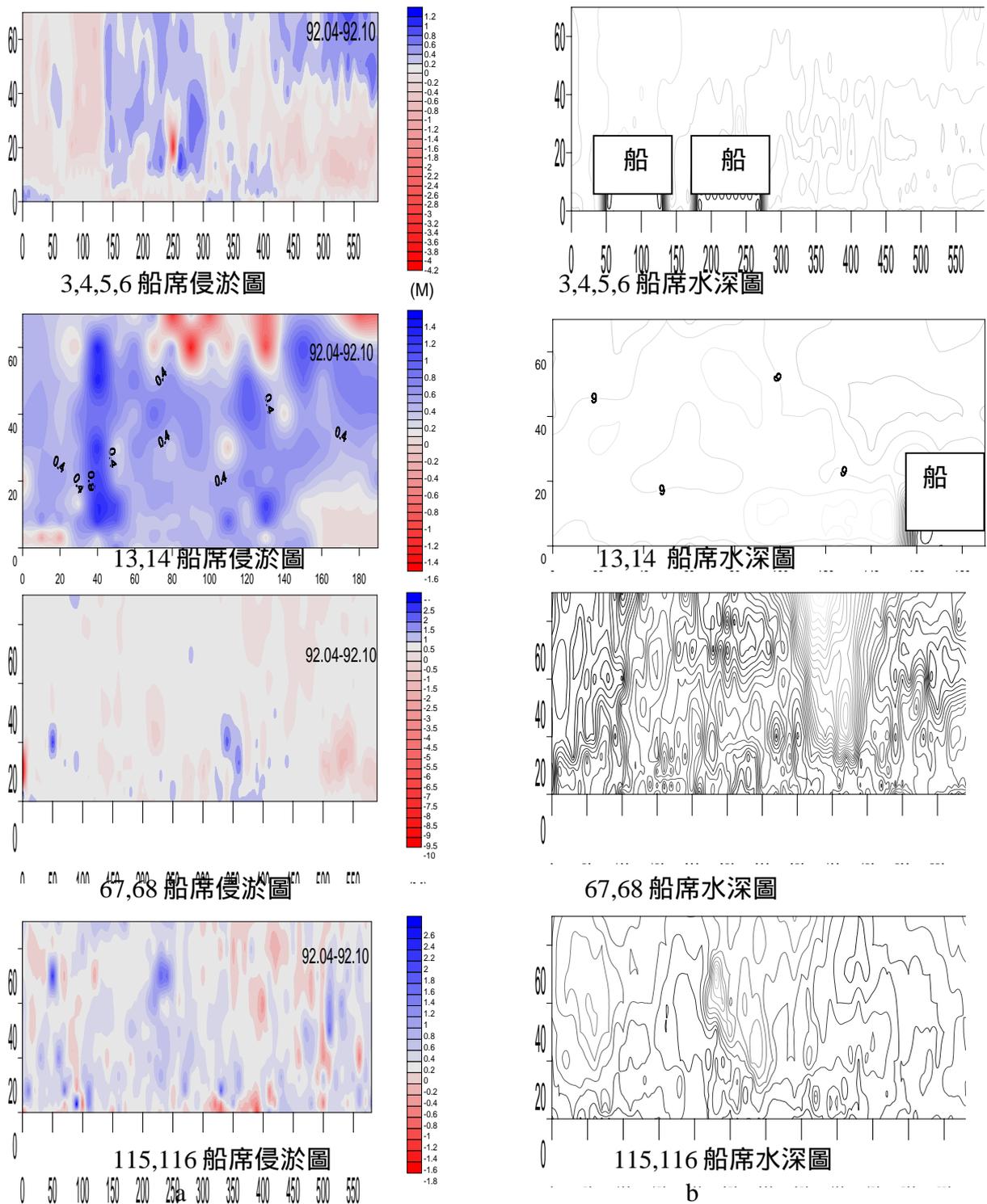
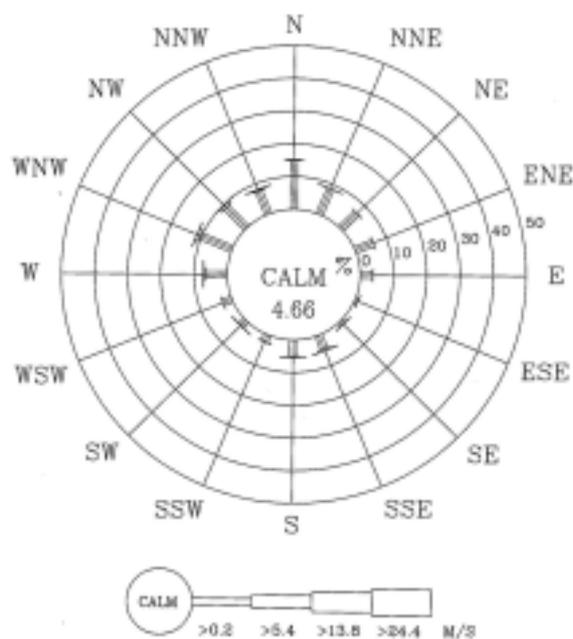


圖 6.12 a 不同代表船席侵淤結果及 b 相對應之水深資料

6.4 流況分析

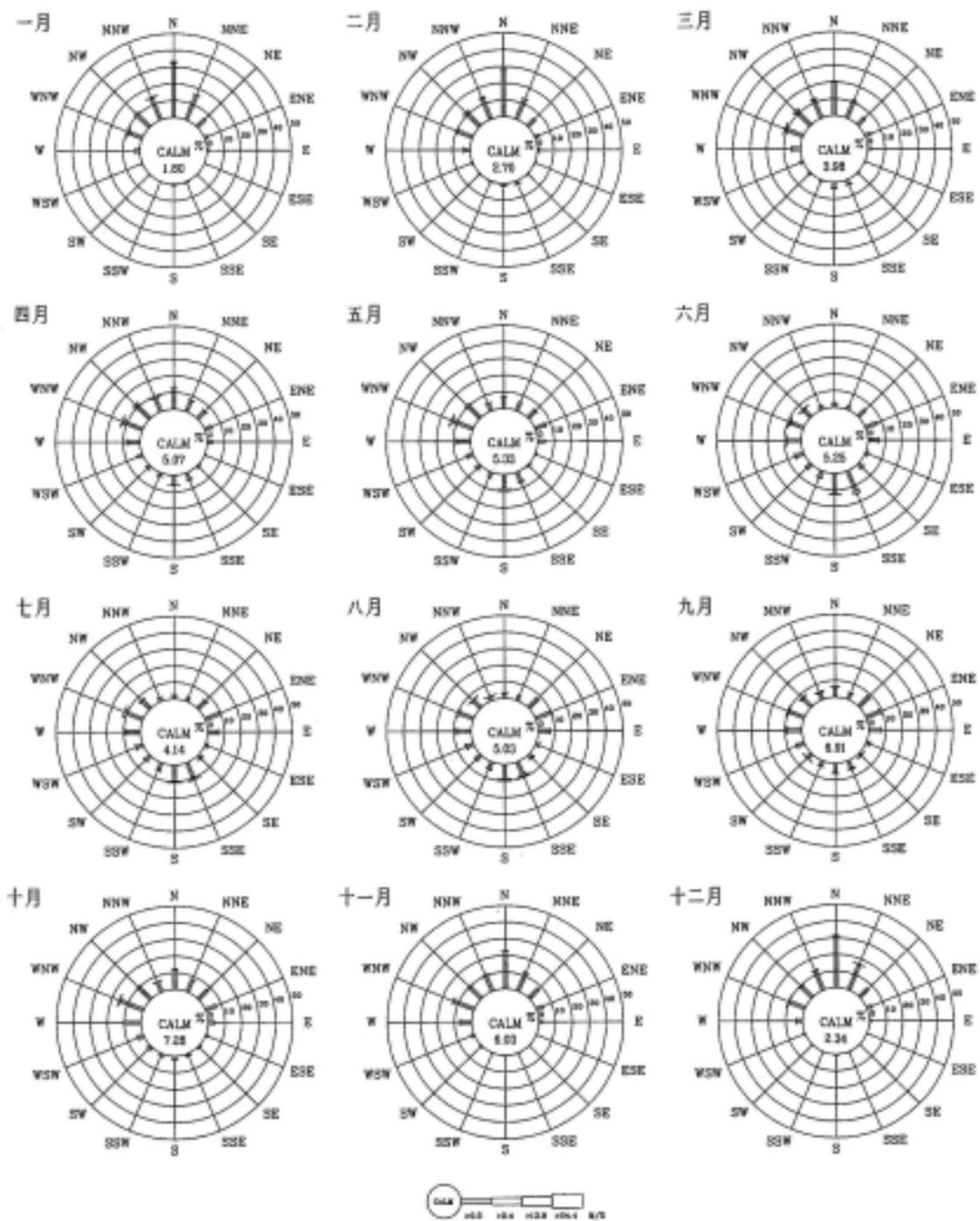
6.4.1 風力(高苑技術學院-「高雄市海岸生態復育規劃」, 2004)

依據高雄測候站民國 73 年 90 年之逐時氣象資料,經分析得高雄地區之全年及每月風玫瑰圖如圖 6.13 及圖 6.14 所示,由圖可知高雄地區冬季之東北季風期約自每年 10 月至翌年 4 月,風向以 NNE WNW 方向為主,5 月及 6 月處於季風轉型期,風向以 NW WNW 方向與 S SE 向所佔比例較高,7 月 9 月為夏季季風期,風向以 WNW、S、SSE、ENE 居多。全年而言,風向以 N 向出現頻率最高,WNW 向次之。



資料來源：中央氣象局高雄測候站 (1984 2001)

圖 6.13 高雄地區全年風玫瑰圖(1984.1 2001.12)



資料來源：中央氣象局高雄測候站（1984 - 2001）
圖 6.14 高雄地區各月風玫瑰圖(1984.1 - 2001.12)

6.4.2 浪 (高苑技術學院-「高雄市海岸生態復育規劃」, 2004)

1. 季風波浪

經整理得計畫區附近波浪之資料來源有四，一為高雄港務局自民國 55 年 66 年間屬較長期性之觀測結果，二為台南水工所於民國 81 年 82 年間，在高雄港第二港口外側海域進行之測量成果，三為高雄市政府環保局自民國 85 年 8 月起，於高雄港二港口南側大林蒲填海計畫外側海域海上觀測樁之波浪觀測資料(觀測至民國 87 年 2 月，因觀測樁傾斜而中止)，四為交通部運輸研究所港灣技術研究中心由民國 79 年 11 月至 82 年 3 月間，於臨近高雄港之大鵬灣地區觀測之資料。將上述觀測成果，綜合彙整詳表 6.10 所示，茲依表 6.10 之分析結果，概述高雄地區之冬、夏季季風波浪特性於后：

2. 冬季季風波浪

冬季季風時台灣海峽盛行吹 NNE 向強風，然至新浮崙汕後，因地形呈喇叭狀而風力受分散之影響，風向變為 N 或 NNE 及 NNW，風速亦減低。故冬季季風期，侵襲高雄地區之波浪，主要係由台灣海峽出口處分散而來。高雄地區冬季波高確實較小，波高小於 1.0m 約佔 95.3% 97.8%，週期小於 9.0 秒者約佔 89.4% 98.0%。綜合言之，高雄地區於冬季時因地理區位關係，東北季風所致波浪影響不若其它地區嚴重。

表 6.10 波浪資料綜合比較表

測量單位	高雄港務局	國立成功大學台南水工所	高雄市政府環保局	港灣技術研究中心	
測量時間	民國55年 66年	民國81年3月 82年6月	民國85年8月 87年2月	民國79年11月 82年03月	
測量位置	高雄港外海	高雄港第二港口外側海域	高雄港第二港口南側大林蒲外海	高雄港大鵬灣	
波向 (%)	全年	無波向	S WNW(81.05%)	NW S(67.2%)	無波向
	夏季	無波向	-	S、SSW、SW、W	無波向
	冬季	無波向	-	NW、WNW、W	無波向
波高 (%)	全年	1m , 87.5%	波高 1m , 94.5%	1m , 87.3%	1.25m , 83.68%
	夏季	1m , 79.2%	-	1m , 67.6%	1.25m , 69.10%
	冬季	1m , 95.3%	-	1m , 97.8%	1.25m , 92.43%
週期 (%)	全年	9sec , 89.3%	8.0 10sec , 67.9% 10sec , 83.9%	10sec , 98%	9.5sec , 97.92%
	夏季	9sec , 89.3%	-	10sec , 95.9%	9.5sec , 94.65%
	冬季	9sec , 89.4%	-	10sec , 97.2%	9.5sec , 99.72%
備註	未測波向	無分季資料		未測波向	

3 夏季季風波浪

夏季季風時，波浪為風浪與遠處傳來之湧浪所組成，當熱帶移動性低氣壓接近或引進西南氣流時，可能帶來 1 2 公尺之波浪，而當颱風來襲時，更可能帶來 6 公尺(實測紀錄)以上之波浪。高雄港夏季波浪因受颱風波浪影響，導致波高小於 1.0 公尺約佔 67.6% 79.2%，週期小於 9.0 秒者約佔 89.3% 95.9%；故颱風對高雄地區之影響，已超過一般東北季風主導之型態。

由上述資料分析可知，高雄地區冬季主要受東北季風作用，且受喇叭狀地形影響，當波浪傳至本區域時，波高均大為衰減，屬湧浪性質；而夏季雖受西南季風直接作用，惟其間夾帶有颱風之侵襲，致夏季波浪分佈反而較冬季為大。故夏季時西太平洋海面所發生之颱風，對沿岸結構物安全將產生較大之威脅。

4. 颱風波浪推算

高港港位於台灣西南海岸，平均每年約有 1.50 個颱風侵襲附近海域，故附近港工結構物之設計皆須以颱風波浪為基準。因此，颱風資料之完整蒐集及颱風波浪之準確推算，將直接影響海上工程之安全及結構物之安定；本報告將依井島武士及湯麟武博士之理論發展出 TYPH 電腦程式，用以模擬推算颱風波浪，茲選定 1940 2003 年之 104 個對高雄地區影響較大之颱風進行颱風波浪推算，再以極端值分佈法推算各復現期之波高，如表 6.11 所示。由表 6.11 可知，侵襲高雄地區之颱風波浪以 SSE 向波浪最大，而後向 N 向逐漸減弱，惟可能影響高雄港之波向為 NNW 至 SSE 等 9 個方向。以港工結構物設計之 50 年迴歸期而言，SSE 方向之颱風波浪高達 11.2 公尺，S 方向 10.3 公尺，而 SW 方向(約與海岸垂直)為 7.1 公尺。

表 6.11 高雄港外海各方向各迴歸期設計波高分析表

迴歸期(年)	250		200		100		50		25		20		10	
波向	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts								
NNW	5.5	11.5	5.3	11.4	4.9	11.0	4.5	10.5	4.1	10.0	3.9	9.8	3.4	9.2
NW	5.6	10.1	5.4	10.0	5.1	9.8	4.7	9.5	4.2	9.1	4.1	9.0	3.6	8.5
WNW	6.1	9.5	5.9	9.4	5.5	9.3	5.1	9.1	4.6	8.9	4.5	8.8	3.9	8.6
W	6.6	10.0	6.5	9.9	6.0	9.7	5.6	9.6	5.0	9.4	4.8	9.3	4.2	9.0
WSW	8.8	10.7	8.5	10.6	7.6	10.4	6.8	10.2	5.9	9.9	5.6	9.8	4.7	9.5
SW	8.7	12.1	8.5	12.0	7.8	11.8	7.1	11.5	6.3	11.2	6.0	11.0	5.1	10.6
SSW	11.1	12.9	10.8	12.9	9.9	12.6	8.9	12.3	7.8	12.0	7.4	11.9	6.2	11.4
S	12.9	15.1	12.5	15.0	11.4	14.6	10.3	14.2	9.0	13.7	8.6	13.5	7.1	12.9
SSE	13.9	17.2	13.5	17.0	12.4	16.6	11.2	16.0	10.0	15.3	9.5	15.1	8.1	14.3

註：1.依據1940 2003年間之颱風資料推算

2.推算目標區為120.22°E, 22.57°N

3.目標區水深為-62.5m

4.Hs單位為m, Ts單位為sec

NNW	$T_s = 5.20 * H_s^{0.469}$	SD = 2.015	r = 0.646	5	Weibull (k=2.0)
NW	$T_s = 5.27 * H_s^{0.381}$	SD = 1.423	r = 0.647	5	Weibull (k=2.0)
WNW	$T_s = 6.16 * H_s^{0.240}$	SD = 1.153	r = 0.530	5	Weibull (k=2.0)
W	$T_s = 6.56 * H_s^{0.220}$	SD = 1.913	r = 0.428	5	Weibull (k=2.0)
WSW	$T_s = 7.15 * H_s^{0.186}$	SD = 2.058	r = 0.367	1	FT-I
SW	$T_s = 7.01 * H_s^{0.253}$	SD = 2.295	r = 0.516	5	Weibull (k=2.0)

SSW	$T_s = 7.73 * H_s^{0.214}$, $SD = 1.891$, $r = 0.583$	5	Weibull (k=2.0)
S	$T_s = 7.64 * H_s^{0.267}$, $SD = 1.469$, $r = 0.785$	5	Weibull (k=2.0)
SSE	$T_s = 6.89 * H_s^{0.348}$, $SD = 1.872$, $r = 0.723$	5	Weibull (k=2.0)

根據上述之資料做出的結論，高雄港區在冬季時因受地形影響不受東北季風影響，當波浪傳達到此區海域時，波高變大為衰減，一般為湧浪性質；而夏季雖受西南季風影響，又帶有颱風的侵襲，故夏季較冬季波浪分佈為大；颱風的影響，一般都持續一至二天甚至六至七天波高為一至兩公尺的影響。

6.4.3 潮汐(中華顧問工程司-「高雄市旗津區海岸線治理規劃」, 2000)

高雄港區有兩處觀測站，其一置於蓬萊商港區#10 碼頭(民國 55 年~民國 85 年)，另設於第二港口內(民國 81 年~民國 85 年)。由 #10 碼頭潮位記錄(表 6.12 及表 6.13)統計分析顯示，最高潮位發生在夏季朔望日附近，潮位為 2.6 公尺，最低潮位大都發生在冬季朔望日附近，水位幾近於 0，平均潮位約為 0.75 公尺，平均潮差則為 0.7 公尺，經整理分析可得高雄地區各種潮位水位(潮位基準為高雄港潮位系統)

H.H.W.L	+2.60M
H.W.L	+1.23M
M.H.W.L	+1.13M
M.W.L	+0.75M
M.L.W.L	+0.43M
L.W.L	+0.38M
L.L.W.L	-0.04M
水準零點高程	EL: -0.47M

另外為了解高雄地區各分潮之振幅及相位角，特將高雄港 #10 碼頭由民國 65 年 1 月 1 日 0 時至民國 85 年 12 月 31 日 22 時之潮位觀測資料進行調合分析其結果如表 6.14 所示，並以此計算高雄地區之潮位情形如下：

天文潮最高潮位 H.H.W.L	+1.52M
平均高潮位 M.H.W.L	+0.966M
平均潮位 M.W.L	+0.744M
平均低潮位 M.L.W.L	+0.522M
天文潮最低潮位 L.L.W.L	+0.094M

表 6.14 中明顯可看出，高雄地區主要分潮為 M2、K1、O1 及 SA，其相對振幅分別為 0.180、0.153、0.133 及 0.121。

高雄港海流的流速、流向有週期性往復運動，運動方向主要集中在沿岸平行方向，即北北西-南南東為主，其流向與漲退潮無明顯的關係。由其水位可知主要以全日潮流為主，其次為半日潮流，並有複合潮產生。在高雄一港口與二港口間的波高波向與剖面海流即時傳送監測系統指出流向以北北西-南南東為主，冬季流速較強，南南東向大於 40cm/約佔 30%，夏季流速最弱，流向轉偏南北向。

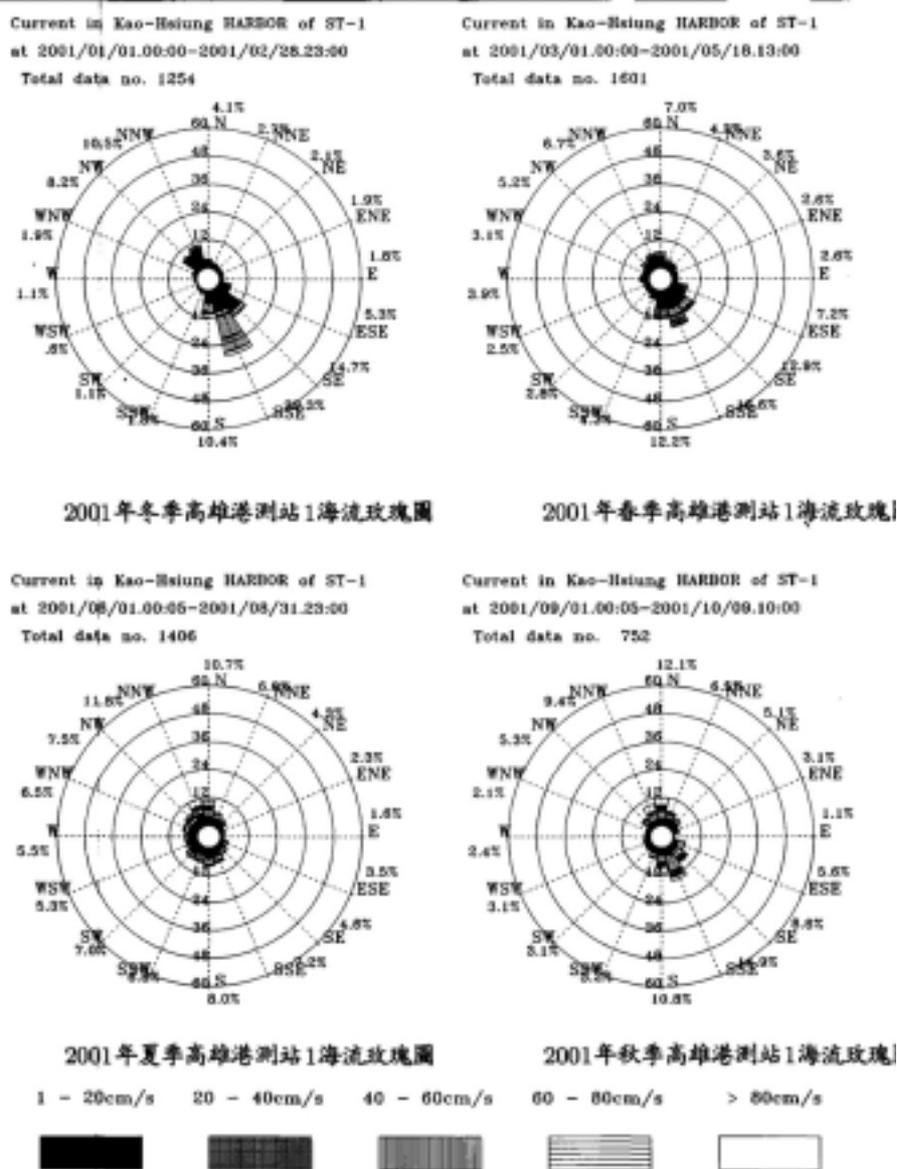
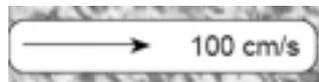


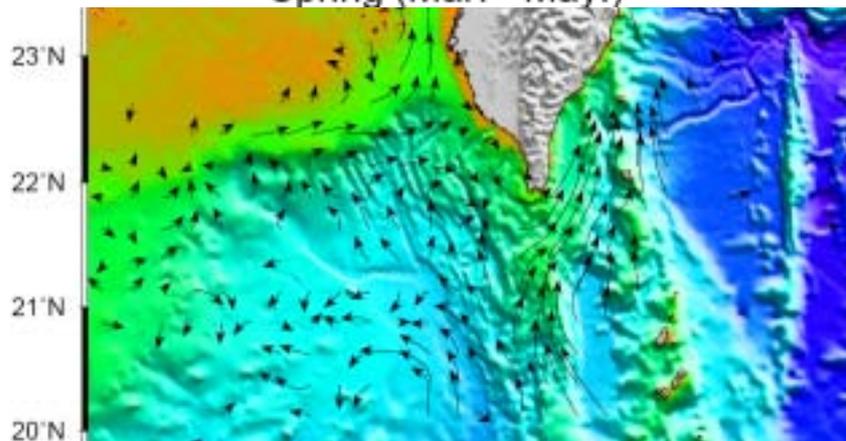
圖 6.15 高雄港 2001 年海流玫瑰分布

由四季合成流 (Composite current) 如圖 6.16 與圖 6.17，即濾除潮流成份後每季平均流速，在春夏秋三季，高雄港附近的合成

流均為向東南的海流，僅冬季向西北，惟冬季資料量非常少（因為1, 2月船歲修，加上春節、天候又不好，僅12月有些航次），可信度較低。春夏秋三季合成流向東南是因為高雄港附近是黑潮入侵海峽後的迴流所致，這與港研中心的海流玫瑰分佈圖若合符節，不過港研中心的資料，冬季也是偏南。



Composite Current Velocity Vectors at 020 m
Spring (Mar. - May.)



Composite Current Velocity Vectors at 020 m
Summer (Jun. - Aug.)

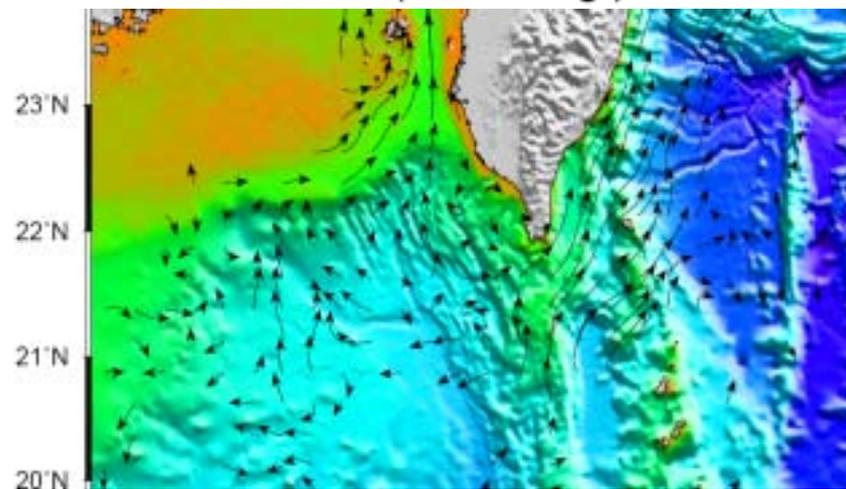
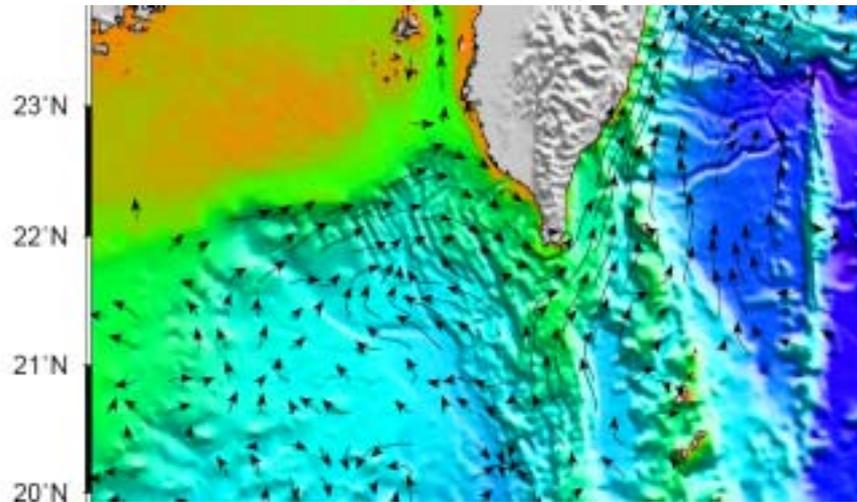


圖 6.16 四季合成流分布(1/2)

Composite Current Velocity Vectors at 020 m
Fall (Sep. - Nov.)



Composite Current Velocity Vectors at 020 m
Winter (Dec. - Feb.)

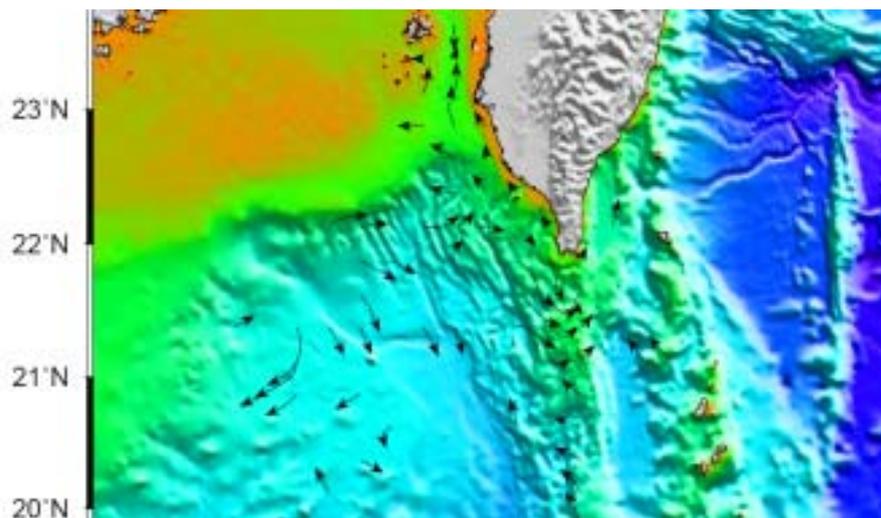


圖 6.17 四季合成流分布(2/2)

(國家海洋科學研究中心-海洋資料庫)

整體而言：

高雄港海流的流速、流向有週期性往復運動，運動方向主要集中在沿岸平行方向，即北北西-南南東為主，其冬季流速較強，南南東向大於 40 cm/sec 約佔 30%，夏季流速最弱，流向轉偏南北向。

6.4.5 結果說明

從以上海氣象資料整理成果中，可得知高雄附近海域之吹風仍以冬天之 NNE 至 NNW 風向比例最高，但吹風速度均在 5m/s 以下。波浪方面則以冬天小於 1m 之湧浪及夏天偶有大於 6m 之颱風波浪為主。潮汐資料顯示本港之平均潮差約 0.7m 屬偏半日潮之混合潮型。海流則因受黑潮支流回流影響，受季節風之影響遠大於潮汐漲落影響，因而流向呈沿岸做往復運動，而流速以冬季較強，可達 40cm/s 以上。

第七章 港池淤泥之流動及沈降分析與傳輸分析

7.1 港池淤泥之流動及沈降分析

高雄縣市大多為海岸風積沙、海岸沙、潟湖淤泥及河道沖積物所構成，高雄市以南林園鄉內，除鳳鼻頭以北是砂頁岩新沖積土，以南為高屏溪的沖積地，二仁溪至高屏溪口之高雄平原是一個海相沉積，地下地層以泥岩為主，海底淺而遠，沿海沙洲發達。高屏溪流域主要的礦物組成為綠泥石，所反應的源區是中央山脈西翼地質區的變質岩質。由粒徑分析指出，二仁溪下游(河川裡)的沉積物，其顆粒遠小於高屏溪下游(也是河川里)沉積物，而海灘上的沉積物，其粒徑分佈特性與高屏溪的較接近，又由礦物成份分析之結果，可知高屏溪河川上游的河床沉積物，其成份綠泥石含量較其他河川高，而整個高雄海域內沙灘上之沉積物，其成份分析結果和此大致符合。因此由於此現象，高雄海域的沉積物，很有可能就是來自高屏溪，故驅動漂沙之作用力據此而言，應該是由南向北。

在高雄港內據前人調查，旗津海水浴場及中洲污水處理廠邊，沉積的底質皆為砂粒，沒有淤泥厚度；而愛河口，前鎮河口，第五船渠口則有累積很高的淤泥厚度，前鎮漁港也有較高的淤泥厚度，而二港口出海處則有較低的淤泥厚度。據此看來，愛河口，前鎮河口，第五船渠口，皆為河川之出海口，因此易有較多的細粒沉積，故有較厚之淤泥沉積。

由於淤泥的沈降特性直接影響其在水動力影響下之行為，並進而產生不同之傳輸行為與分佈結果，故研究方式將以實驗室之試驗分析方式，探討相關行為特性，作為傳輸數值模擬之依據。

7.1.1 研究方法與步驟

7.1.1.1 實驗樣本採樣點

如圖 7.1 所示共在高雄港內外取十一個樣本，分別為(B)第一船渠口與新碼頭交會處、(C)愛河口、(D)第五號船渠口、(E)新舊港交會處、(F)前鎮河口、(G)前鎮漁港口、(H)二港口出外港處、(I)大林發電廠與中船前交會航道、(K)中鋼河道口、中鋼排水溝上游、前鎮河上游。



圖 7.1 樣本採樣點區位圖

7.1.2.2 實驗項目

實驗項目包括沈降速度、含水量、固體重量分率(濃度)、粒徑分析等。

7.1.2.3 實驗方法與步驟

各項實驗方法如下述：

各項實驗方法如下述：

1. 沈降速度

以 1000c.c.(直徑為 6.5 cm; 高度 27.5cm)玻璃量筒為容器，將淤泥樣本倒入其中，試驗測定前，先用手將筒口蓋住，將筒連淤泥上下倒置二十回，然後將量筒靜置於水平桌面上，觀察沈降面隨時間之變化。

2. 含水量

將各個樣本瓶中淤泥與水取出秤重後置於 105 °C 之烘箱內，烘 24 小時後秤重，計算烘乾前、後之重量差值與原始淤泥重量的比值。重量濃度為烘乾後淤泥固體重與原始淤泥重的比值。

3. 粒徑分析(比重計分析法)

先確定通過 200 號篩土樣的百分比後，秤得通過 200 號篩的乾土 50 克，添加擴散劑(六偏磷酸鈉)攪拌均勻浸泡 16 小時以上，再將攪拌液倒入 1000c.c.量筒，並添加蒸餾水至 1000c.c.。將量筒正倒翻轉一分鐘，使溶液與水均勻混和，再將混和後之溶液量筒放置桌上，在需讀數的時間量測比重計讀數，並量測水溫。

7.1.2 資料分析

1. 沉降

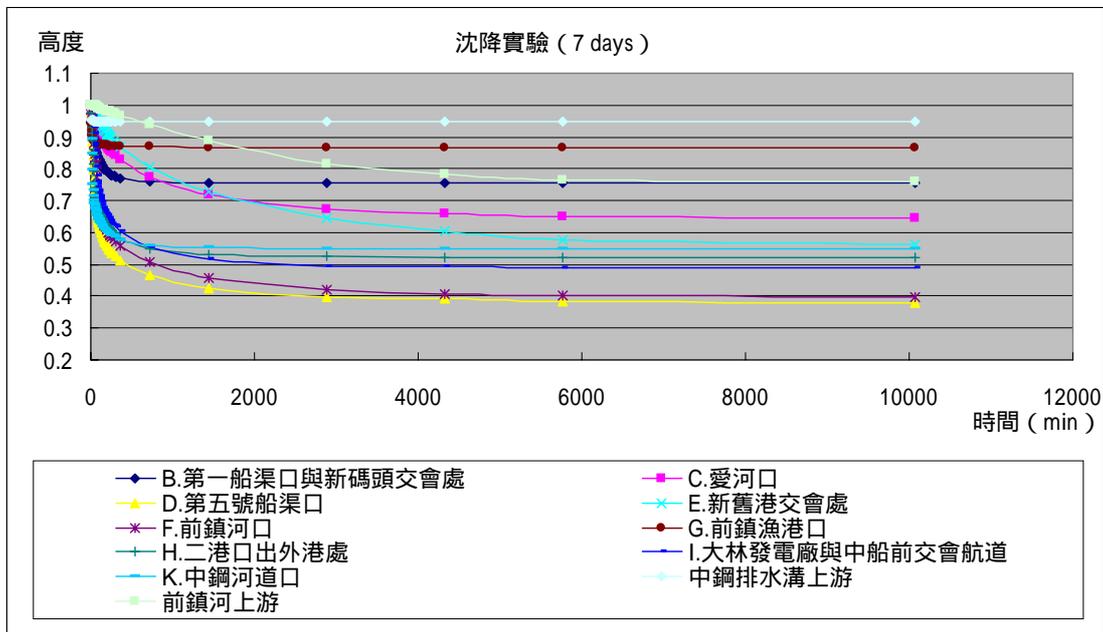


圖 7.2 淤泥沉降曲線圖 (七天)

沉降試驗進行七天後(如圖 7.2 所示)，所有樣本高度趨於穩定。其中 E.新舊港交會處和前鎮河上游之淤泥大約要經過五天才趨於穩定。C.愛河口、I.大林發電廠與中船前交會航道、F.前鎮河口、D.第五號船渠口大約需三天完成沉降。其餘 B.第一號船渠口與新碼頭交會處、G.前鎮漁港口、H.二港口出外港處、K.中鋼河道口、中鋼排水溝上游均大約一天的時間即趨於穩定。

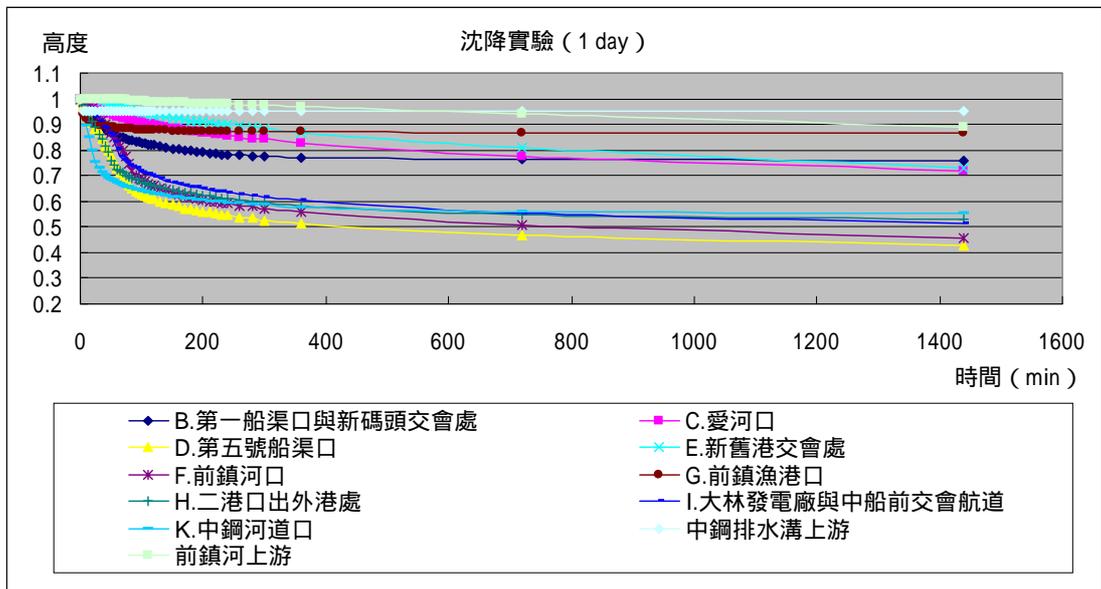


圖 7.3 淤泥沈降曲線圖（一天）

第一天的沈降過程變化最大，如圖 7.3 所示。在 C.愛河口、E.新舊港交會處、前鎮河上游等的沈降曲線大致呈線性的情形，緩慢沈降。B.第一船渠口與新碼頭交會處、G.前鎮漁港口、K.中鋼河道口等的曲線呈現出一開始沈降速度較快，接著曲線趨緩，表示沈降趨於穩定。D.第五號船渠口、F.前鎮河口、H.二港口出外港處、I.大林發電廠與中船前交會航道等皆為起始沈降以較緩的速度慢慢增加，接著沈降速度明顯增加，然後再趨於穩定。而中鋼排水溝上游則呈現一水平線，表示其泥水交界面在第一天沒有變化。

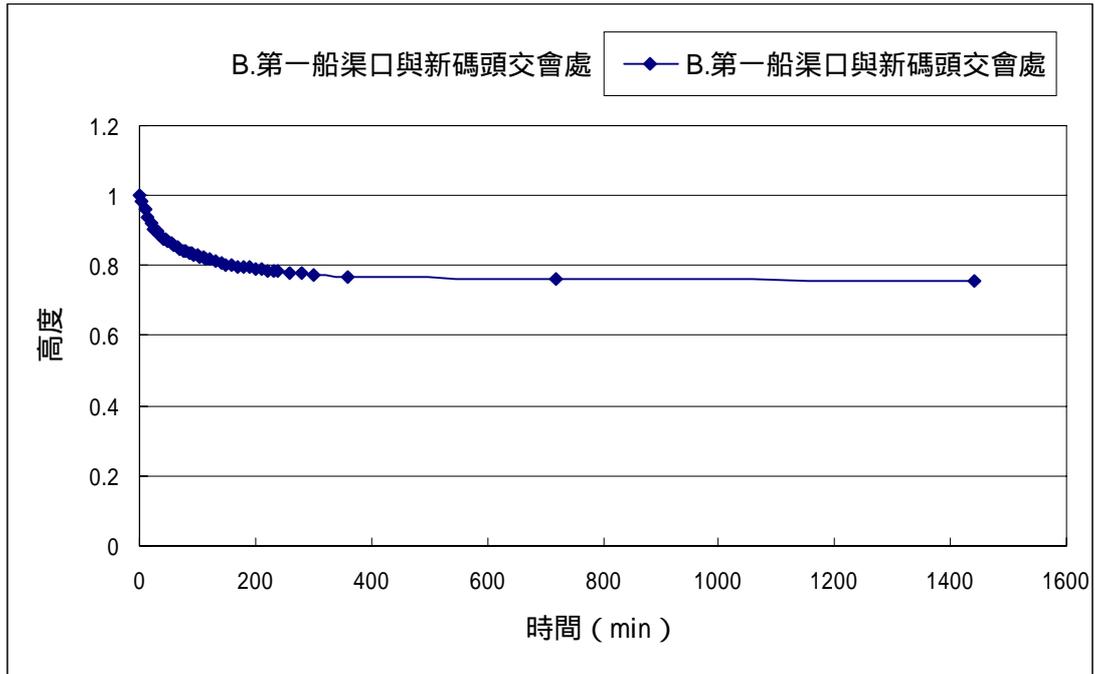


圖 7.4 B.第一船渠口與新碼頭交會處

由於 B.第一船渠口與新碼頭交會處的樣本的濃度很高(重量濃度 58.3%)，淤泥呈污黑色且相當黏稠，所以在上下倒置二十回再將量筒靜置於水平桌面上時，淤泥會附著在管壁上，之後水面以上的淤泥隨著水分減少而產生龜裂。水面以下的部分，隨時間增加，泥水交界面下降的情形越明顯，前 50 分鐘下降速度較快，接著 100 分鐘左右速度相對較慢，之後更為緩慢，然後 400 分鐘後趨於穩定。



圖 7.5 B.第一船渠口與新碼頭交會處沉降實驗界面變化

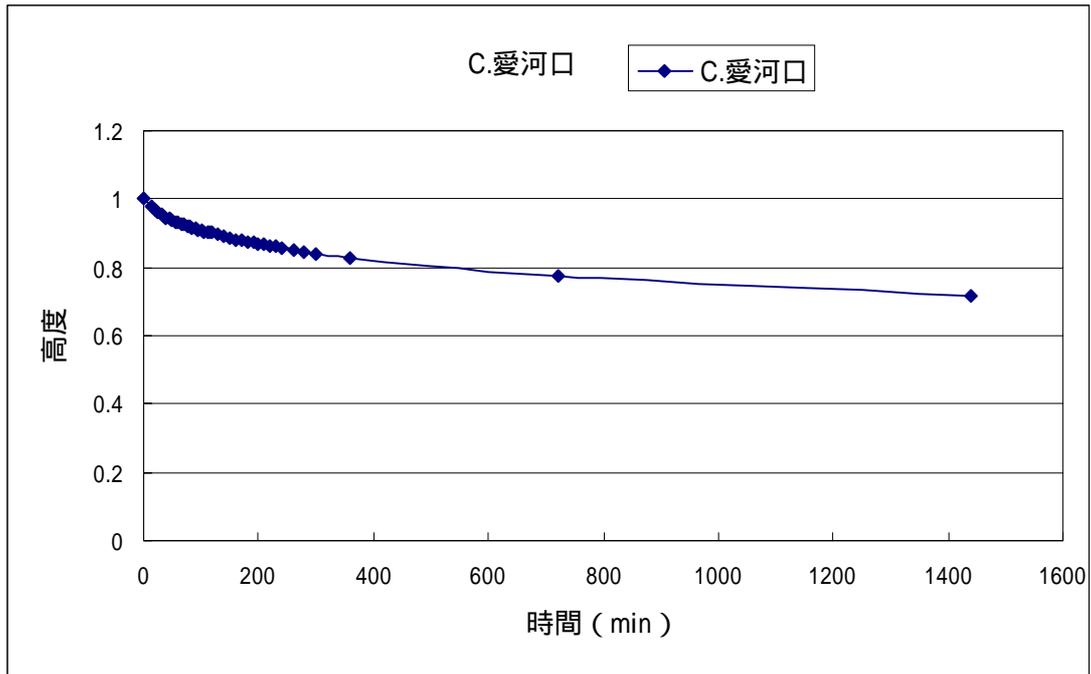


圖 7.6 C.愛河口

外觀上呈現污黑混濁，C.愛河口的起始泥水交界面較混濁，沈降面較不明顯，開始後 60 分鐘，沈降速度呈現一定值，之後 700 分鐘沈速較緩，但沈降到約 4 天左右才穩定，在沈降過後，水呈現墨綠色。



圖 7.7 C.愛河口沈降實驗界面變化
(左圖：起始界面高度、右圖：結束界面高度)

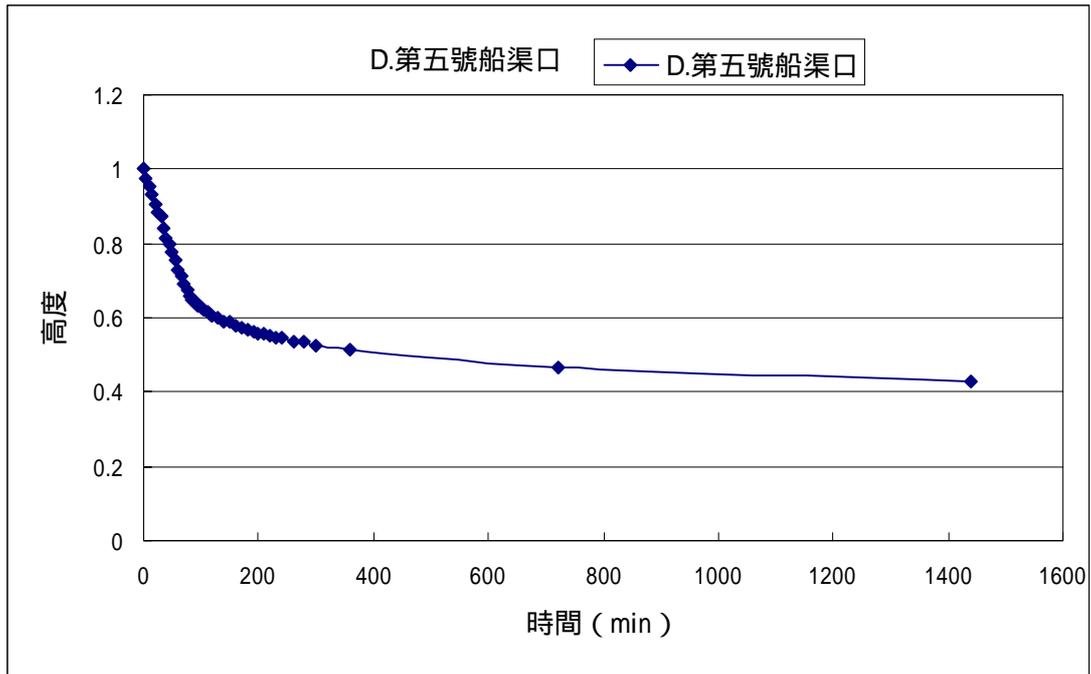


圖 7.8 D.第五號船渠口

外觀上呈現污黑色，但較稀，在前 40 分鐘沉降速度漸增，直到 80 分鐘左右，速度明顯變緩，之後趨於穩定。由於含水量高(86.2%)，所以沉降的幅度相當大，沉降過後水色呈現墨綠色。

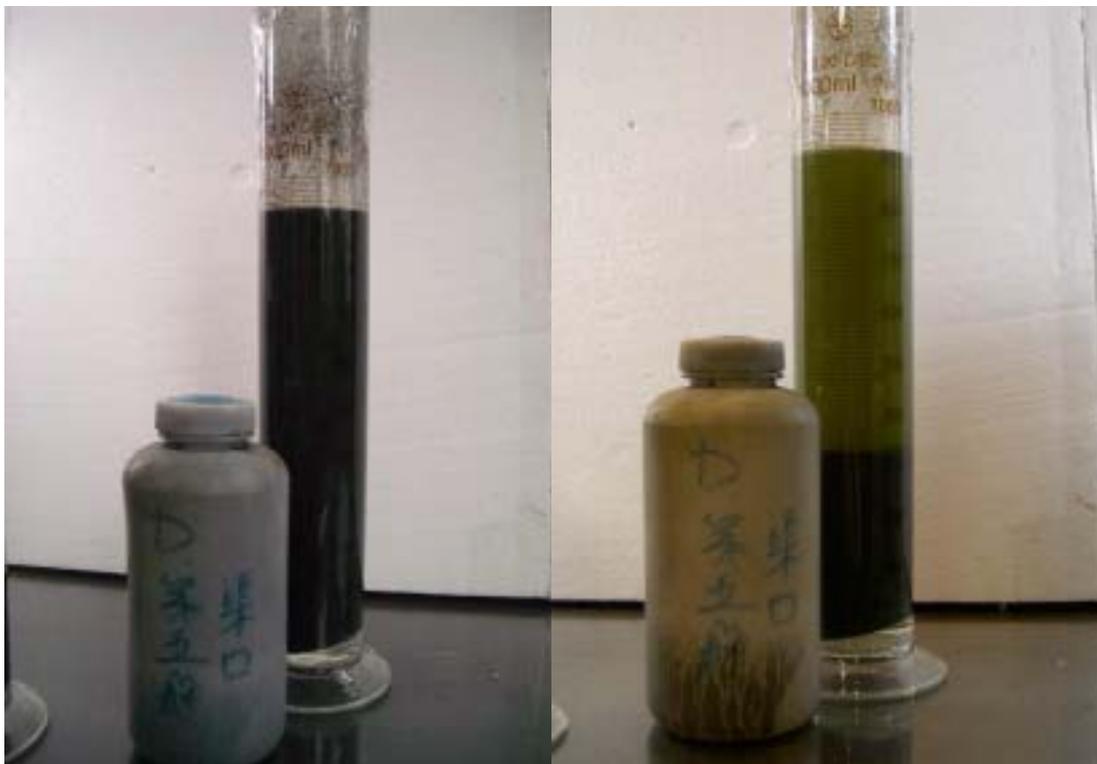


圖 7.9 D.第五號船渠口沉降實驗界面變化
(左圖：起始界面高度、右圖：結束界面高度)

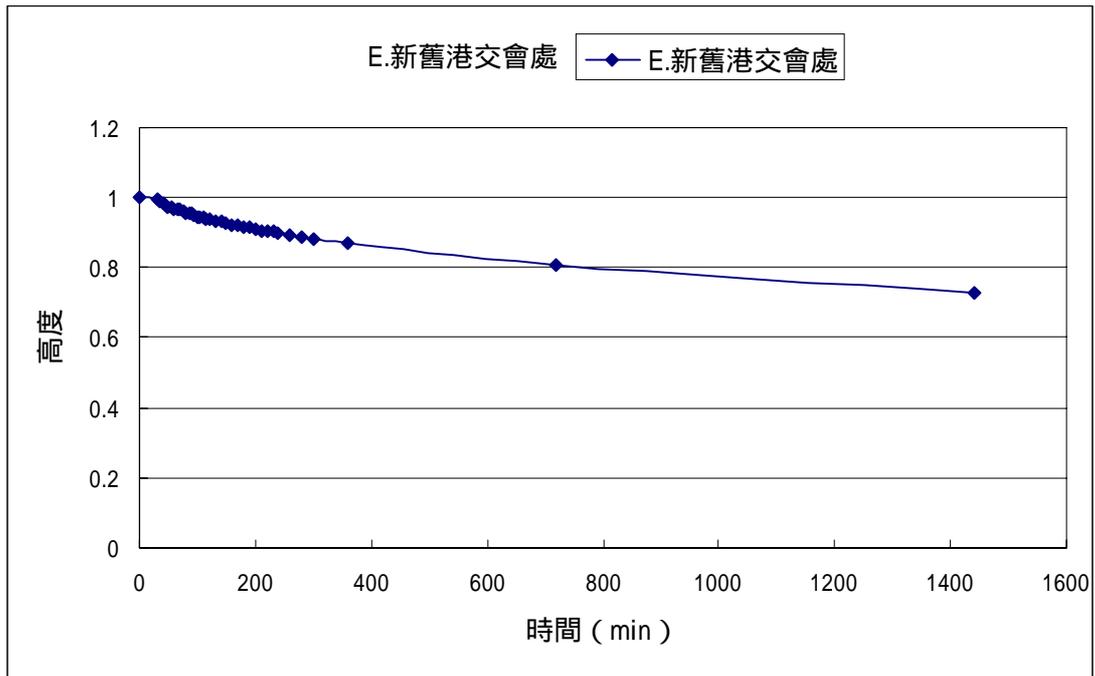


圖 7.10 E.新舊港交會處

外觀呈污黑色，攪拌時可發現濃度較低，沈降速度的變化情形近似線性，起始時水面相當混濁，前 25 分鐘無法觀察其泥水交界面。而沈降面緩慢下降，約四天後始趨於穩定，沈降後水呈現淡綠色。



圖 7.11 E.新舊港交會處沈降實驗界面變化
(左圖：起始界面高度、右圖：結束界面高度)

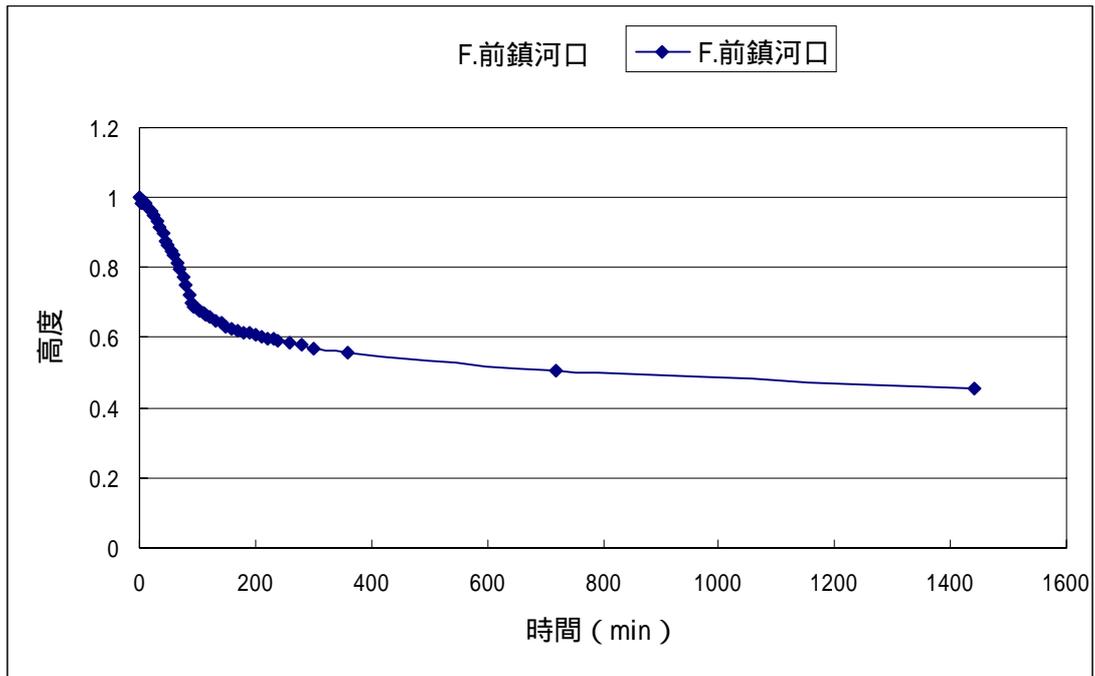


圖 7.12 F.前鎮河口

淤泥的顏色接近暗灰色，且上下倒置之後較不混濁。沈降過程中，沈降速度漸增，到 100 分鐘時速度變緩，之後漸漸趨於穩定，水體較為清澈。

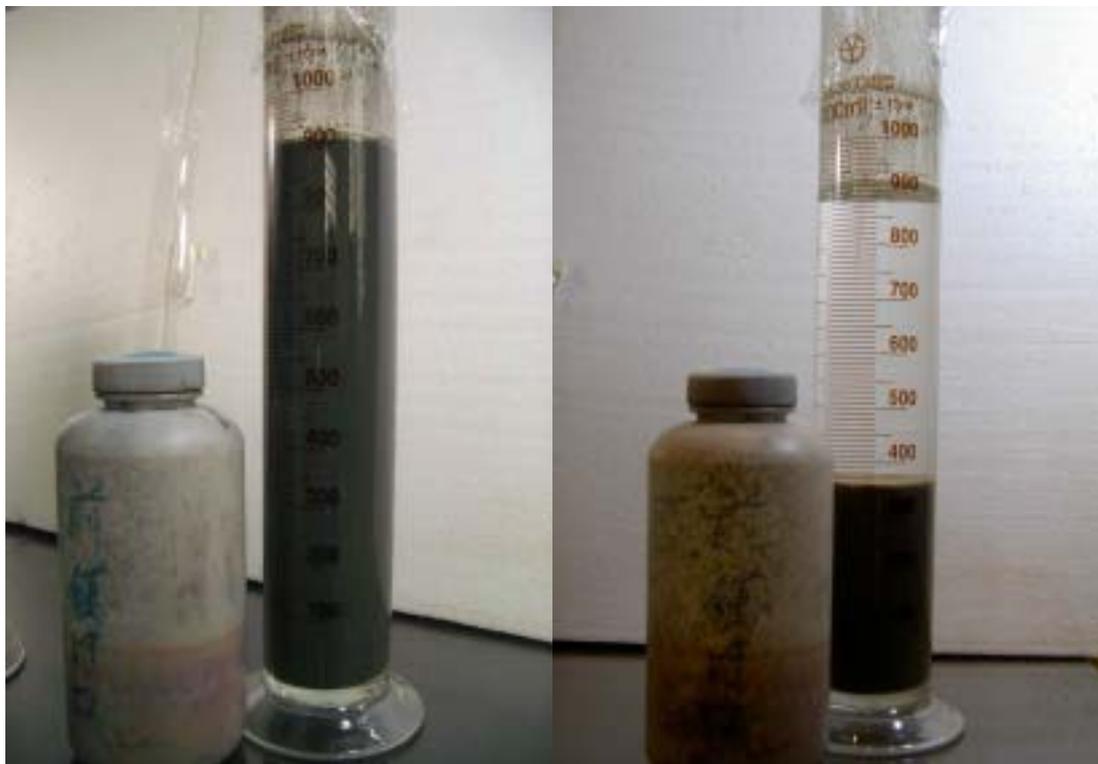


圖 7.13 F.前鎮河口沈降實驗界面變化
(左圖：起始界面高度、右圖：結束界面高度)

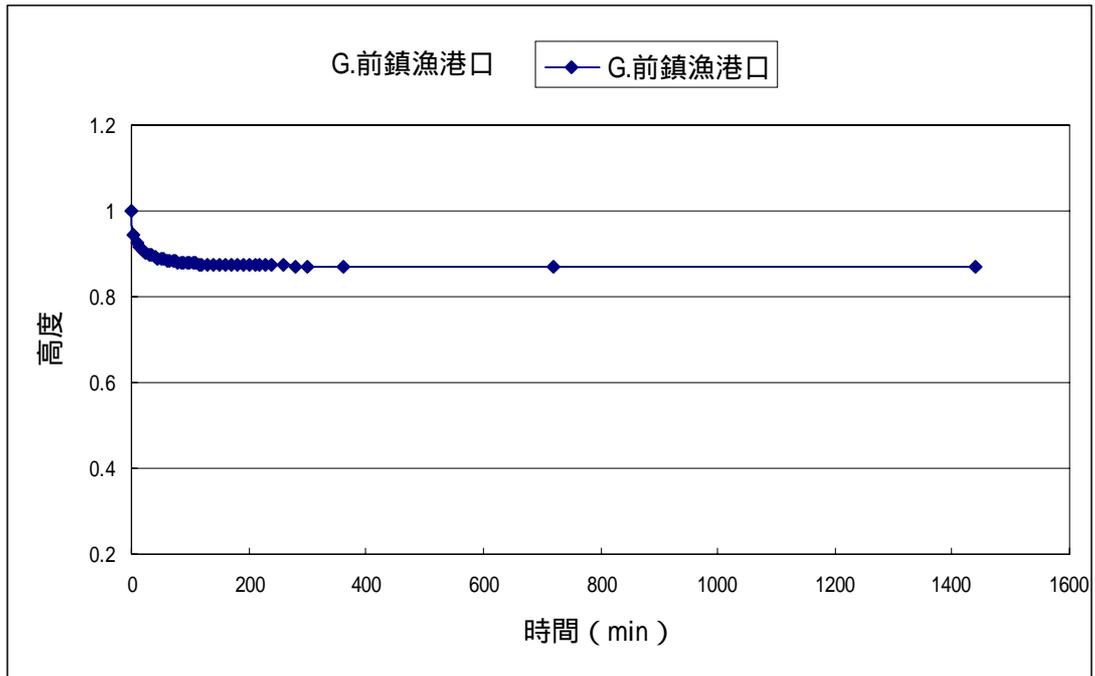


圖 7.14 G.前鎮漁港口

由於 G.前鎮漁港口樣本充滿貝殼，所以在沈降實驗前，先過濾掉貝殼，之後再做沈降實驗、含水量等分析。在沈降速度上，前 30 分鐘下降速度相當快，之後速度變緩，經過 3 小時之後趨於穩定。



圖 7.15 G.前鎮漁港口沈降實驗界面變化
(左圖：起始界面高度、右圖：結束界面高度)

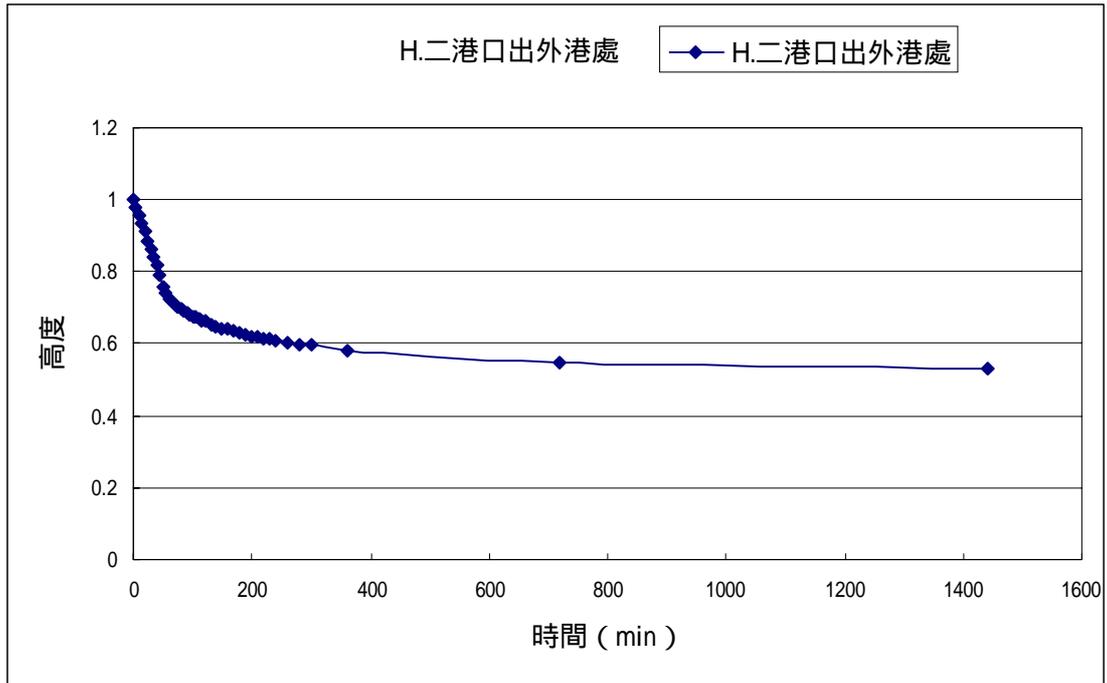


圖 7.16 H.二港口出外港處

淤泥外觀上成污黑混濁，且水表面上似乎有浮油存在。沈降速度在起始之後快速增加，約 60 分鐘後開始減緩，之後趨於穩定。



圖 7.17 H.二港口出外港處

(左圖：起始界面高度、右圖：結束界面高度)

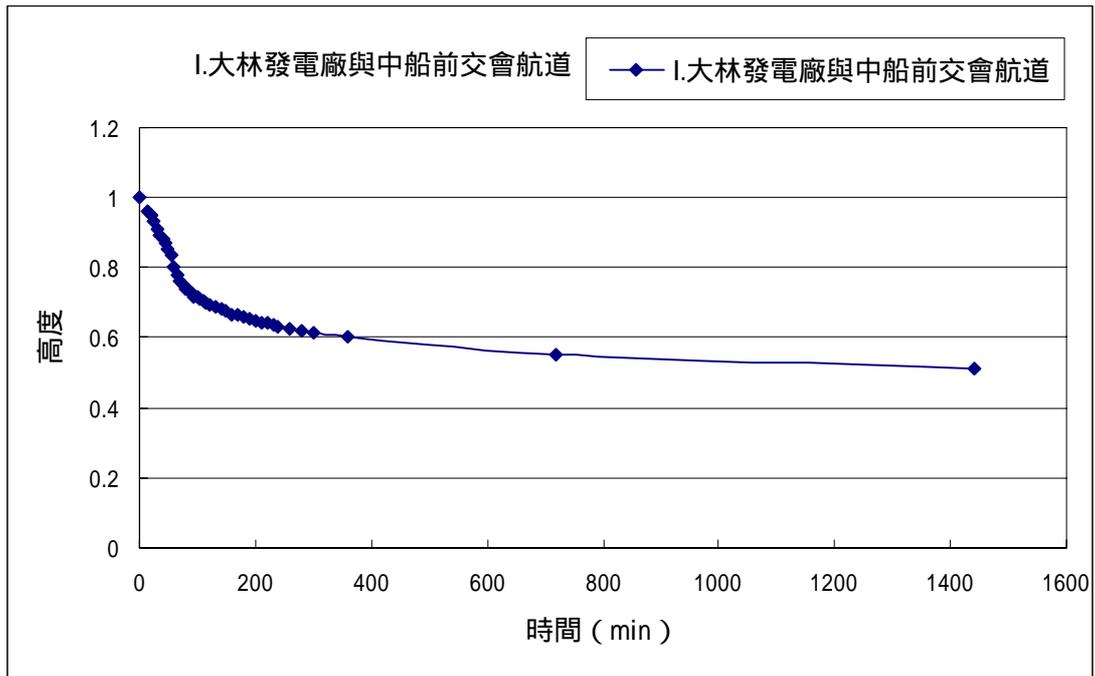


圖 7.18 I.大林發電廠與中船前交會航道

淤泥呈稍微混濁的情形，攪拌起來較不稠密。沉降起始時，泥水交界面不明顯，前 20 分鐘沉降快速，之後到 80 分鐘之間沉降速度又再更快，之後變緩，然後趨於穩定。



圖 7.19 I.大林發電廠與中船前交會航道沉降實驗界面變化
(左圖：實驗起始界面高度、右圖：實驗結束界面高度)

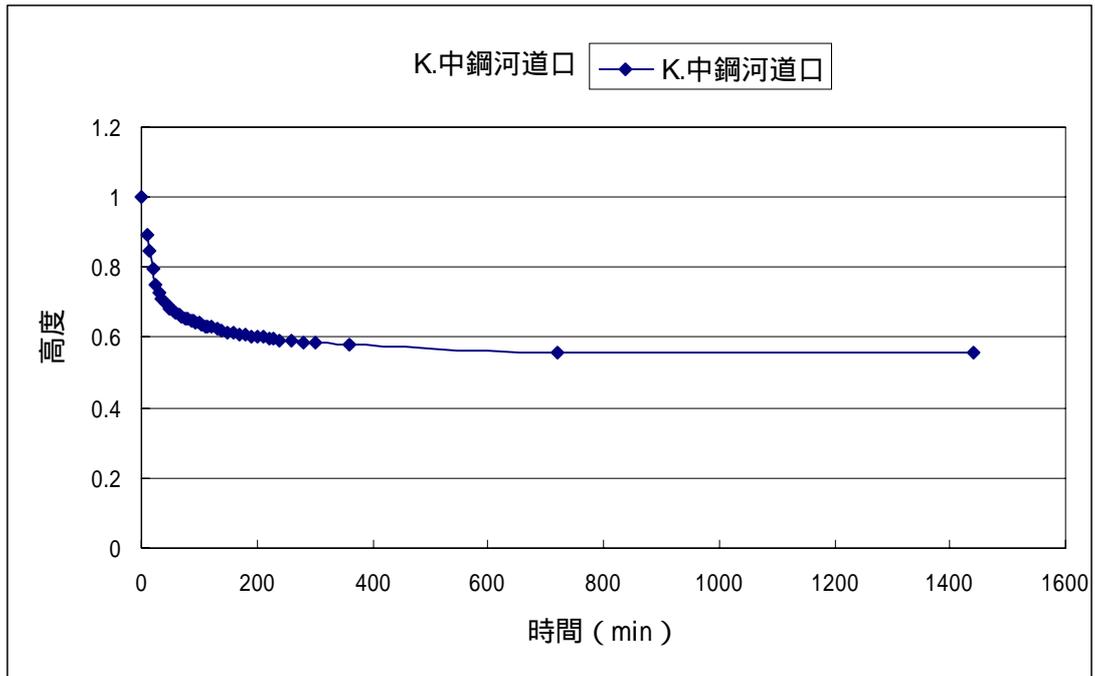


圖 7.20 K.中鋼河道口

實驗樣本外觀呈現污黑混濁，且水面有浮油、飄浮物存在。淤泥沈降的情形為，在前 35 分鐘沈降速度相當快，之後速度漸緩，然後趨於穩定。

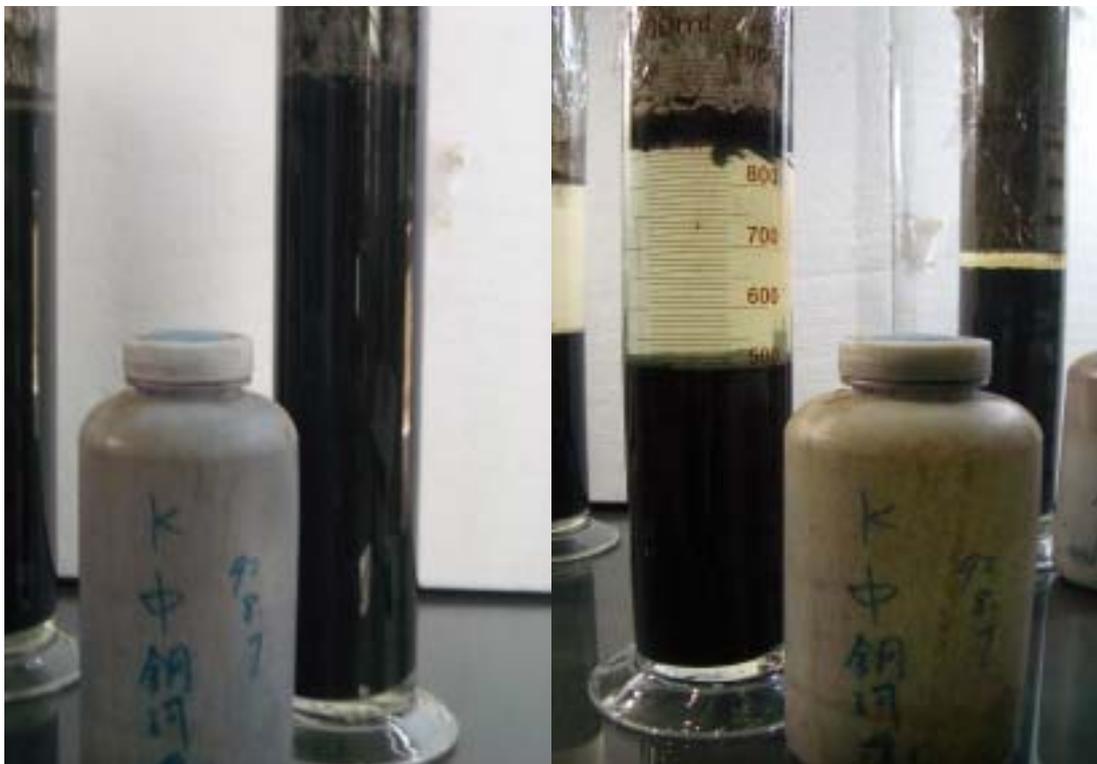


圖 7.21 K.中鋼河道口沈降實驗界面變化
(左圖：實驗起始界面高度、右圖：實驗結束界面高度)

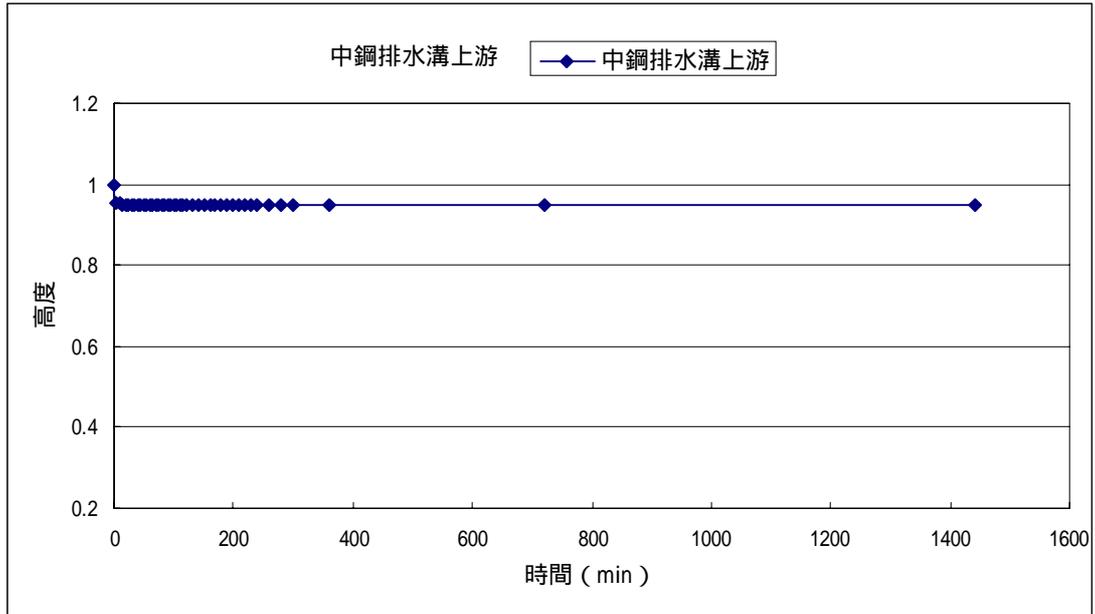


圖 7.22 中鋼排水溝上游

由外觀上來，中鋼排水溝上游的顆粒粒徑都相當粗。所以除了起始高度是在最高處，接著在上下倒置後放於桌上的那一刻，所有顆粒同時下降，之後的高度就不會再改變了也由於顆粒粒徑大，所以含水量少。



圖 7.23 中鋼排水溝上游沉降實驗界面變化
(左圖：實驗起始界面高度、右圖：實驗結束界面高度)

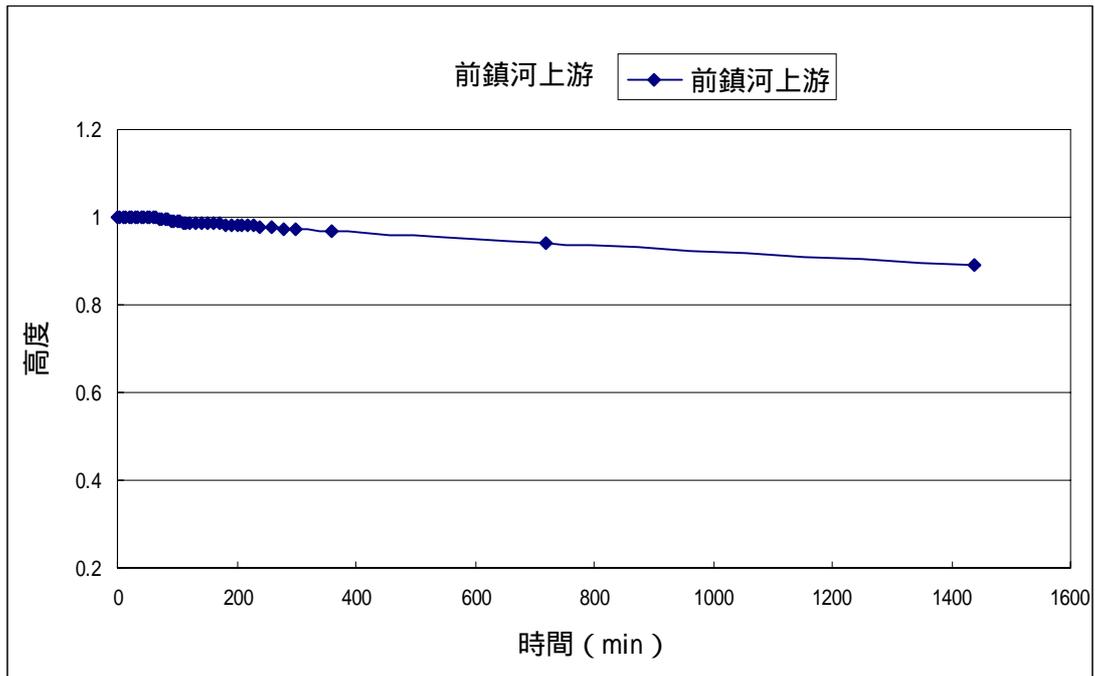


圖 7.24 前鎮河上游

淤泥外觀污黑混濁，攪拌起來相當黏稠，在沈降實驗開始後約 15 20 分鐘才有較明顯的泥水交界面。而沈降情形幾乎呈現線性的型態，且大約 4 天左右才沈降完成。



圖 7.25 前鎮河上游沈降實驗界面變化
(左圖：實驗起始界面高度、右圖：實驗結束界面高度)

2. 含水量

本研究 11 處淤泥樣本之含水量分析如表 7.1 所示。淤泥樣本之固體重量濃度以 B.第一船渠與新舊港交會處(58.3%)及中鋼排水溝上游(75.7%)最高。中鋼排水溝上游的顆粒屬於非凝聚顆粒，沉降速度快，孔隙水容易排出，所以含水量少而固體重量濃度高。然因其顆粒較粗，會沉降在進入港池之渠道內，對於港池淤泥之組成影響很小。B.第一船渠口與新碼頭交會處的樣本，淤泥呈污黑色且相當黏稠，顯示淤泥之黏土成份高且含有沉積重油，並因靠近港口鹽度大故膠凝作用明顯。從表 7.1 之含水量分析可知在河流入港處之淤泥其固體重量濃度較低，如 C.愛河口、D.第五號船渠口、F.前鎮河口等，其原因可能為此處之水深較淺，水流較快，淤泥不易沉積，再者鹽度較低，淤泥之膠凝作用較弱。反之，在港口處之淤泥樣本(B,H)之固體重量濃度較高則是膠凝作用較明顯且淤泥被底流捲增之機率較低所致。

表 7.1 淤泥樣本之含水量分析

項目 地點	含水量 (Ww(%))	固體重量分率(濃度) (Ws(%))
B.第一船渠與新 舊港交會處	41.62	58.38
C.愛河口	81.79	18.21
D.第五號船渠口	86.25	13.85
E.新舊港交會處	73.72	26.28
F.前鎮河口	77.99	22.01
G.前鎮漁港口	79.77	20.23
H.二港口出外港 處	64.77	35.23
I.大林發電廠與中 船前交會航道	78.05	21.95
K.中鋼河道口	66.67	33.33
中鋼排水溝上游	24.21	75.79
前鎮河上游	67.74	32.26

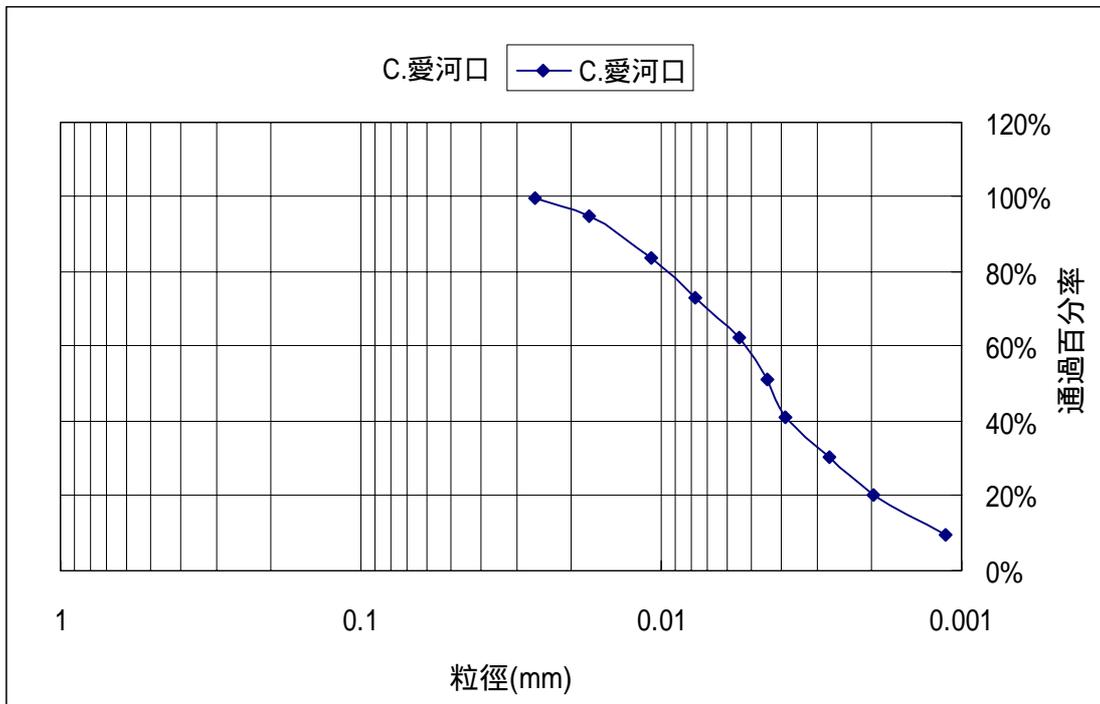
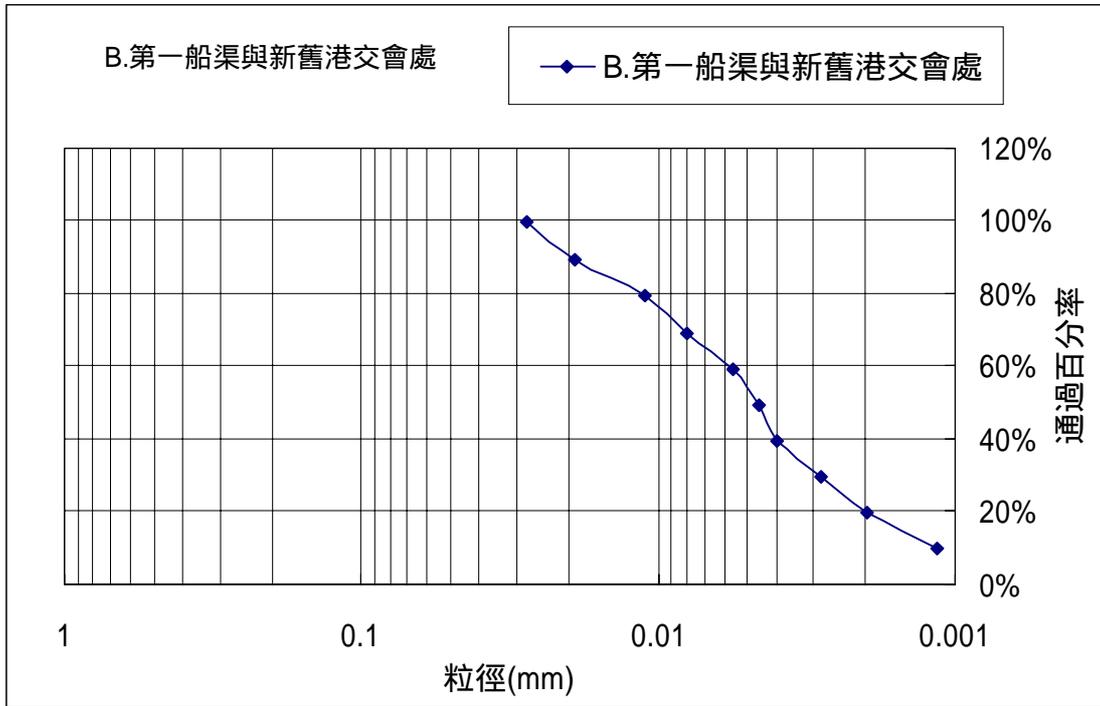
3. 粒徑分析

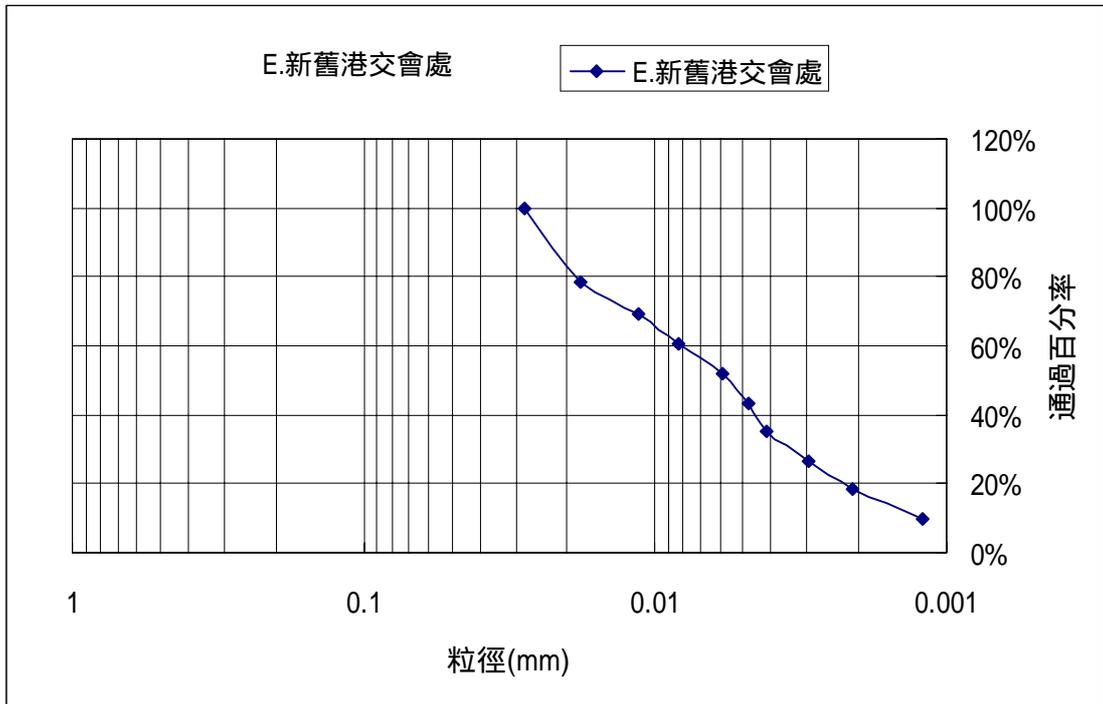
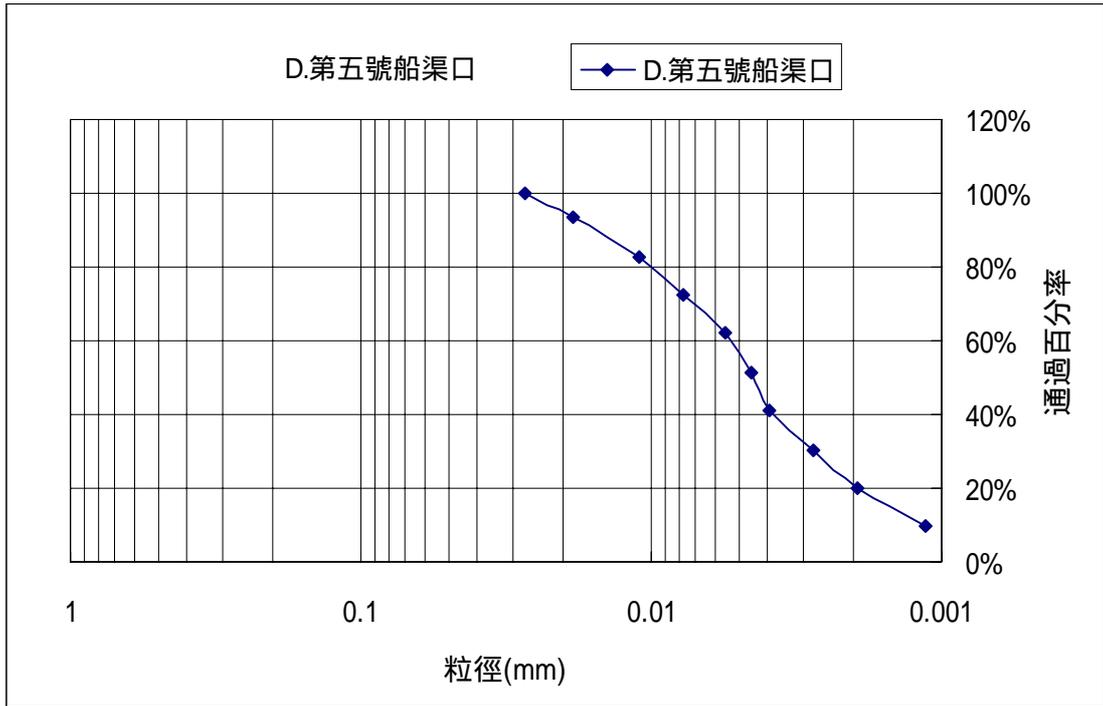
本研究 11 處淤泥樣本之粒徑分析如表 7.2 所示。由表可知淤泥之黏土來源以 C.愛河口及 D.第五號船渠口最高。除中鋼排水溝上游之淤泥樣本為細沙(> 62 μ m)外，其餘淤泥之組成中，非凝聚性成份之坩土約佔 60-70%，而黏土成份約佔 30-40 %。其中以靠一港口之淤泥樣本如，B.第一船渠與新舊港交會處、C.愛河口及 D.第五號船渠口等處，黏土成份較高(約 40%)；相較之下，前鎮河及二港口處淤泥之黏土成份較低(約 33%)。亦即高雄港港池中靠一港口附近之淤泥應來自於愛河、第五號船渠處運河及部份前鎮河之供應；反之，二港口附近之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。而因一港池之潮流速度較大，故以靠一港口附近之淤泥受潮流傳輸之影響較大。

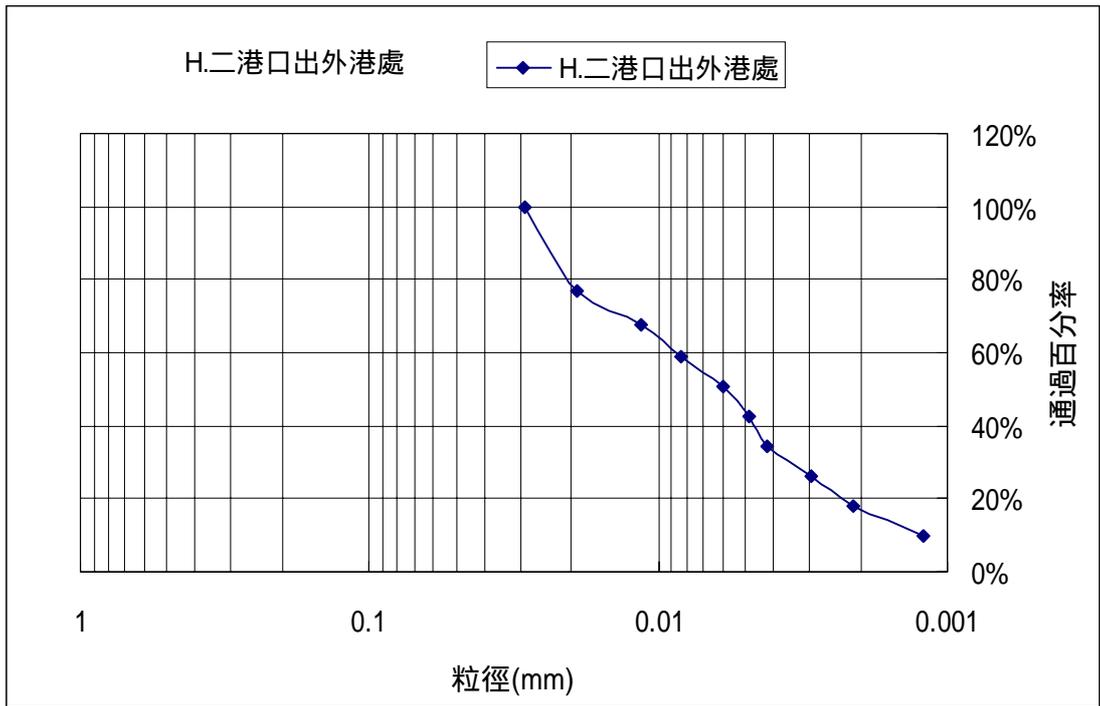
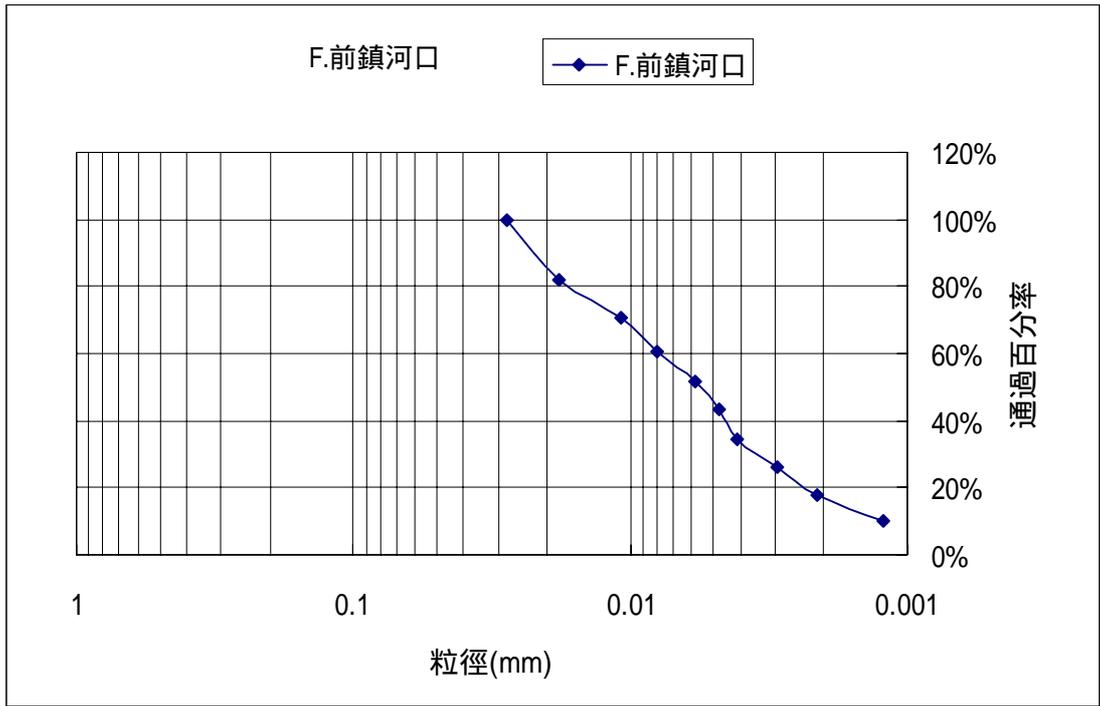
表 7.2 11 處淤泥樣本之粒徑分析

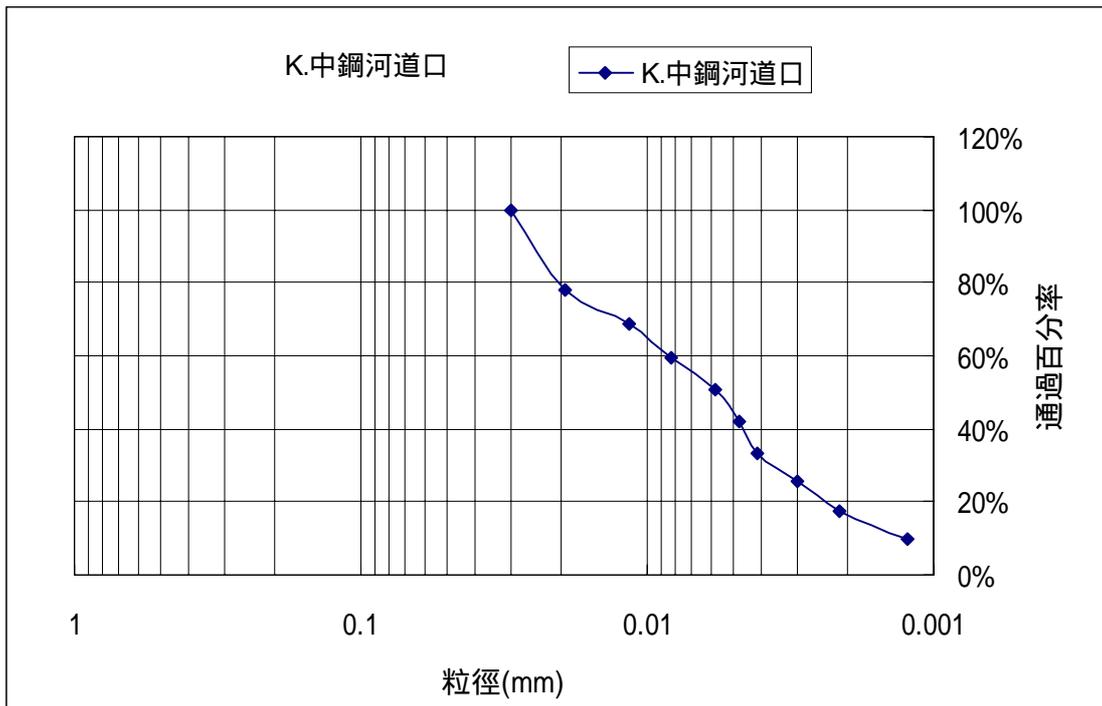
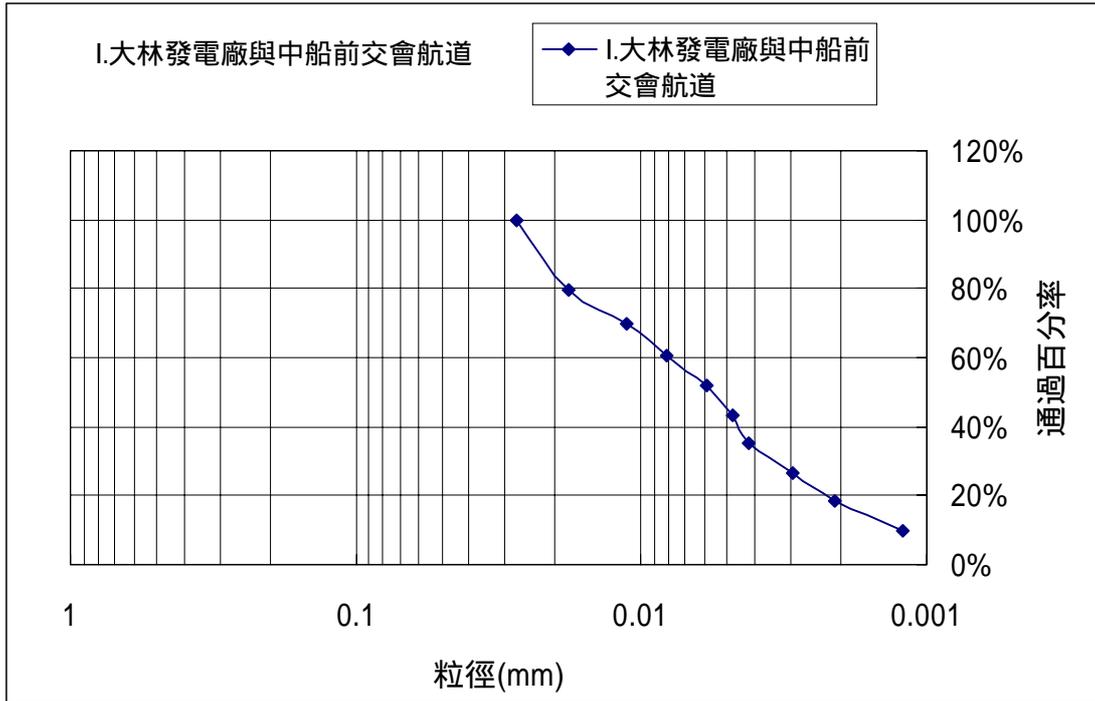
項目	B.第一船渠與新舊港交會處	C.愛河口	D.第五號船渠口	E.新舊港交會處	F.前鎮河口
砂(sand) (> 62 μ m)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
坩土(Silt) (4~62 μ m)	60.18	57.07	57.36	77.09	66.38
黏土(Clay) (< 4 μ m)	39.81	42.92	42.63	22.90	33.61

項目	G.前鎮漁港口	H.二港口出外港處	I.大林發電廠與中船前交會航道	K.中鋼河道口	前鎮河上游	中鋼排水溝上游
砂(sand) (> 62 μ m)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	99.96
坩土(Silt) (4~62 μ m)		67.00	66.29	65.18	66.92	< 0.03
黏土(Clay) (< 4 μ m)		32.99	33.70	34.81	33.01	< 0.01









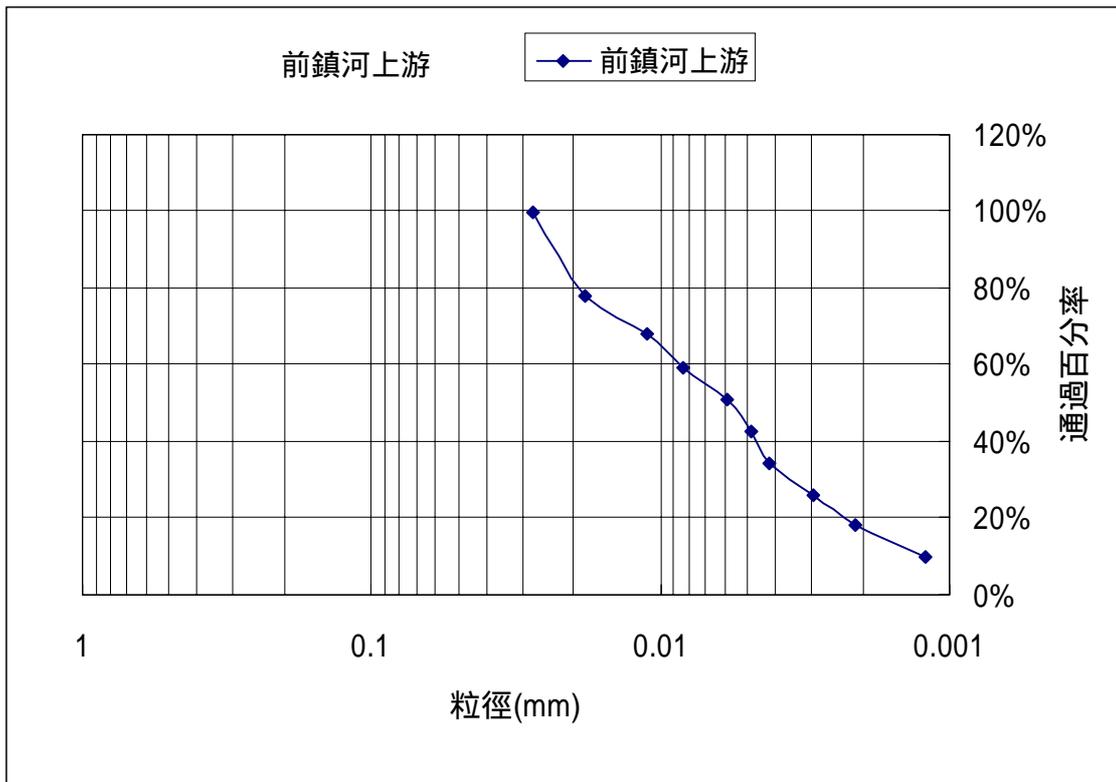
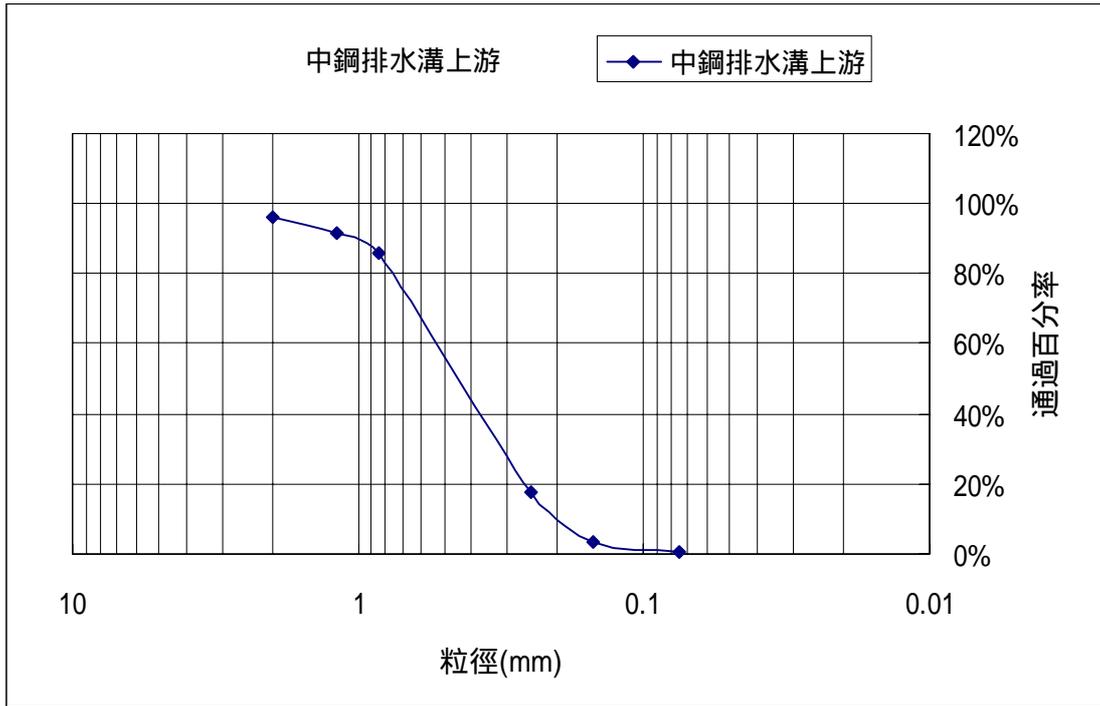


圖 7.26 各淤泥樣本之粒徑分佈

7.1.3 結果說明

- 1.由沈降試驗結果顯示，淤泥界面之沈降以 B.第一船渠與新舊港交會處、G.前鎮漁港口、K.中鋼河道口、中鋼排水溝上游最快，約 120 400 分；最久的是 C.愛河口、E.新舊港交會處、前鎮河上游，約 3 4 天；而其他的 D.第五號船渠口、F.前鎮河口、H.二港口出外港處、I.大林發電廠與中船前交會航道等約 1 2 天左右沈降結束。
- 2.含水量方面以中鋼排水溝上游的 24.2%最低，B.第一船渠與新舊港交會處為 41.6%，H.二港口出外港處、K.中鋼河道口、前鎮河上游為 64.8 67.7%，E.新舊港交會處、F.前鎮河口、G.前鎮漁港口、I.大林發電廠與中船前交會航道等為 73.7 79.7%，C.愛河口、D.第五號船渠口為 81.7%和 86.7%。
- 3.除了中鋼排水溝上游的粒徑較大之外，其餘樣本通過 200 號篩的重量百分率均在 99%以上，坩土（silt，粒徑在 0.062mm 以下）含量約佔 57%到 77%，黏土（clay，粒徑在 0.004mm 以下）含量約佔 23%到 43%。中鋼排水溝上游的粒徑較大，因此進行機械篩法（篩分析），發現細粒砂土（Fine Sand）含量佔約 82.2%。而 G.前鎮漁港口，由於將貝殼過濾掉，導致剩下的土樣不到 50g，所以無法進行比重計分析，但由外觀來看包含坩土以下所佔百分比超過 99%。
- 4.靠一港口之淤泥樣本如，B.第一船渠與新舊港交會處、C.愛河口及 D.第五號船渠口等處，黏土成份較高(約 40%)；相較之下，前鎮河及二港口處淤泥之黏土成份較低(約 33%)。亦即高雄港港池中靠一港口附近之淤泥應來自於愛河、第五號船渠處運河及部份前鎮河之供應；反之，二港口附近之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。而因一港池之潮流速度較大，故以靠一港口附近之淤泥受潮流傳輸之影響較大。

7.2 淤泥之污染源傳輸分析

本計劃建立三個不同模式區域：大範圍的高雄港區及附近海域，以及小範圍的第一港口區與第二港口區，以前鎮河為劃分基準點(圖 7.27)。模式採用的地形水深來自 C-Map 資料，此資料庫為實際測量點的水深，其分佈區域參見圖 7.28。

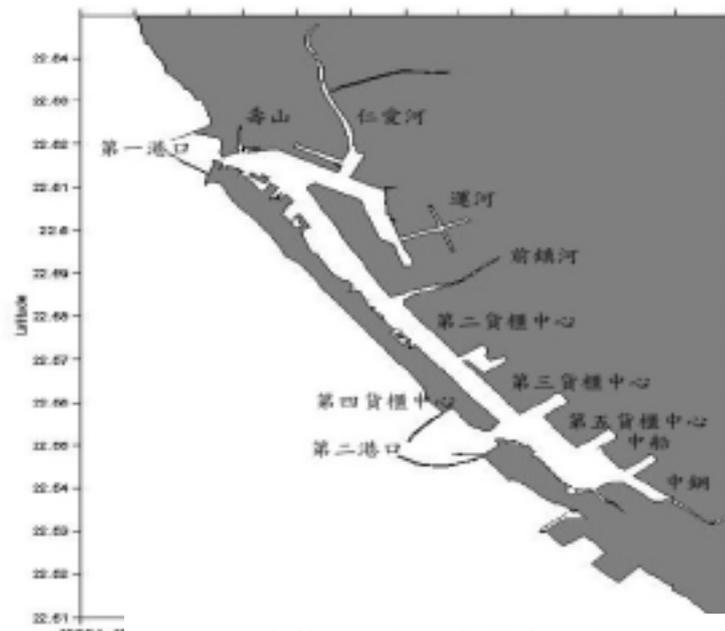


圖 7.27 高雄港區地理位置之示意圖

圖 7.29 表示計算大範圍區域的水平網格點。模式總共包含了 150×50 格點，其格網間距平均大約為 130 公尺。經過內插程式之計算，模式之數位水深則如圖 7.30 所示。

本計劃主要考慮高雄港區及港區附近海域的潮汐作用。潮汐引發週期性的海水面垂直升降現象，同時造成水平方向的潮流運動，因而潮汐運動不僅會加強海水垂直方向混合現象，也會加強海水水平方向的擴散過程。模式以潮汐所引發之海水表面高度變化造成海水流動的主要驅動力，潮汐資料則採用來自 NAO99b (Matsumoto et al., 2000) 的模式結果，此資料是以 TOPEX/POSEIDON 衛星的高度計資料加入潮汐模式中計算而得，東北亞區域模式為五弧分的解析度，潮汐資料包括 M2、S2、K1、O1、N2、P1、K2、Q1、M1、J1、OO1、2N2、Mu2、Nu2、L2、T2 等短週期分潮，與 Mtm、Mf、MSf、Mm、MSm、Ssa、Sa 等長週期分潮。

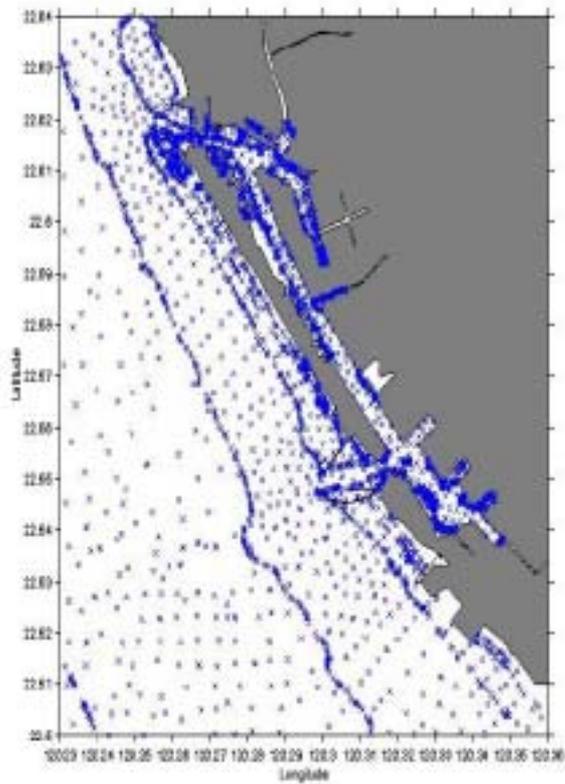


圖 7.28 C-Map 資料庫實測地形水深點的分佈

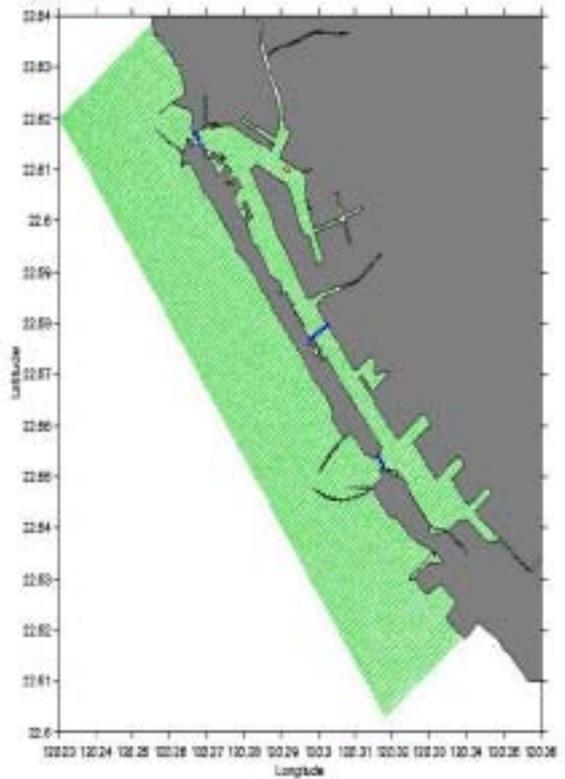


圖 7.29 模式 150×50 水平網格點的區域分佈圖。紅色星形符號代表潮汐觀測站的位置。藍色點符號表示模式輸出結果做為小範圍模式的邊界條件。

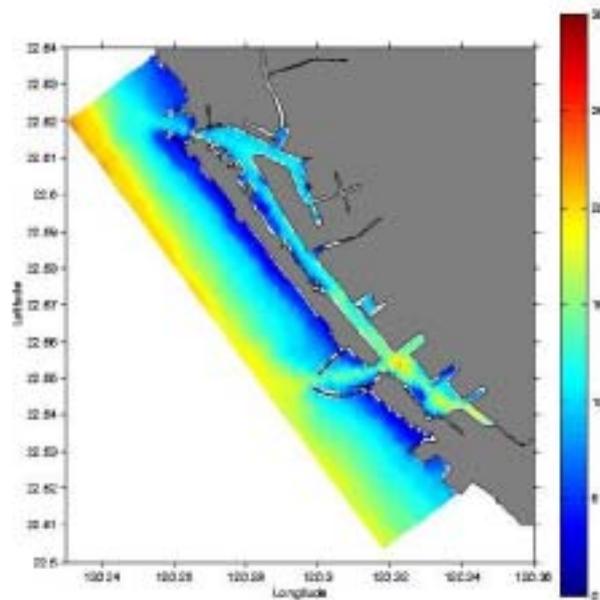


圖 7.30 模式區域的地形水深圖。

對於海水表面高度的邊界條件，模式採用 Blumberg and Kantha (1985)所發展的部分輻射邊界條件方法，可表示為：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + C_e \frac{\partial \eta}{\partial n} = - \left(\frac{\eta - \eta_K}{T_f} \right) \quad (7.1)$$

式中 $C_e = \sqrt{gh}$ 為表面重力波的相位速度， η_K 為已知表面水位高度的邊界值， T_f 為模式在此時間尺度將邊界條件推向已知的邊界值，在此研究採用 $T_f = 1$ 小時。在模式中所使用的分潮共有 M2、S2、N2、K1、O1、P1 等六個主要短週期分潮。

對於垂直積分平均的二維速度場的開邊界值，模式採用隱式重力波輻射邊界法求得(Chapman, 1985)，由波浪方程式解得，可表示為：

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} - C_e \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (7.2)$$

式中 ϕ 可代表為 \bar{U} 、 \bar{V} 。所以(1.49)可表示為：

$$\phi_b^{n+1} = \frac{(\phi_b^n + \mu_e \phi_{b+1}^{n+1})}{(1 + \mu_e)} \quad (7.3)$$

式中 $\mu_e = C_e \Delta t_e / \Delta x$ ， Δt_e 為二維的計算時距。

至於開口邊界的三維速度場及溫度、鹽度則利用隱式的 Orlanski (1976)輻射邊界條件法求得：

$$C_L = \frac{\phi_{b+1}^{n-1} - \phi_{b+1}^{n+1}}{\phi_{b+1}^{n+1} + \phi_{b+1}^{n-1} - 2\phi_{b+2}^n} \quad (7.4)$$

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & \text{if } C_L \geq 1 \\ C_L, & \text{if } 0 < C_L \leq 1 \\ 0, & \text{if } C_L \leq 0 \end{cases} \quad (7.5)$$

式中 $\mu_i = C_i \Delta t_i / \Delta x$ ， Δt_i 為三維的計算時距， C_i 為內重力波相位速度。因此，邊界條件可表示為：

$$\phi_b^{n+1} = \frac{[\phi_b^{n-1}(1 - \mu_i) + 2\mu_i \phi_{b+1}^n]}{(1 + \mu_i)} \quad (7.6)$$

此外，模式在靠近開口邊界處，增加海底摩擦力以防止能量從邊界處反射回來，而影響模式的內部數值解。

7.2.1 模式結果

模式考慮潮汐的分潮，包括主要的六個短週期分潮 (M2、S2、N2、K1、O1 及 P1)，可以表示為：

$$\eta_K = \sum_{i=1}^6 A_i \cos\left(\frac{2\pi t}{T_i} + \Phi_i\right) \quad (7.7)$$

式中 A_i 、 T_i 、 Φ_i 分別為各個分潮的振幅、週期及相位角。圖 7.31 表示中央氣象局高雄港潮位觀測站 1997 年 1 月 1 日零時起始的水位資料 (測站位置參見圖 7.29)，位於南方開口邊界的潮汐水位值，利用 NAO99b 模式所預測潮位資料，與高雄港區潮位站之資料大致上相當符合。高雄港區的潮汐屬於為全日潮區，NAO99b 的資料也包涵了 14.77 日的大小潮週期。

大範圍的潮汐模式採用二維模式，主要目的是將模式結果輸出，當作小範圍模式的邊界條件。圖 7.31 表示大範圍潮汐模式結果與高雄港區潮位觀測資料的比較，由圖中之潮位比較可知，模式預測之潮位是合理的。計算模式結果、NAO99b 資料與高雄港潮汐觀測資料間的平均平方根誤差值分別為：(1) 觀測與 NAO99b - 0.1116 m (2) 觀測與模式 - 0.1196 m (3) 模式與 NAO99b - 0.0769 m。因此我們得知，模式的誤差主要來自於五弧分×五弧分 NAO99b 資料的邊界潮位輸入值。圖 7.32 表示在模式二十天時潮流與潮位的分布圖。

高解析的小範圍模式分為高雄港第一港口區域及第二港口區域。網格間距大約為 30 公尺，以三維模式模擬港區內潮流與潮位時間與空間上的分布情形，垂直方向總共有等距的 11 個 σ 層。為了觀察港區內潮流隨著時間的變化情形，選擇以第一、二港口為例。圖 7.33 至圖 7.38 表示第一港口區域、圖 7.39 至圖 7.44 表示第二港口區域模式表層與底層的潮流流場，在模式十天後每隔四小時的分布情形。從模式結果得知，高雄港區內的潮位大約是同相位，航道上的流速相對的較為湍急，最大潮流約為 30cm s^{-1} ，碼頭內的潮流都較為平緩。在第四小時的時候為漲潮時段，在表層有一明顯的順時鐘轉渦旋存在於第一港口的入港後較為寬廣的區域處 (迴轉區)，底層流亦然。此外，模式顯示在第四小時與第十六小時的漲潮時段，表層有一明顯逆順時鐘轉渦旋形成於第二港口的迴轉區域，但是在第十二小時與第二十四小時的退潮時段，在此區域則存在一順時鐘轉渦旋，底層流流場亦有同樣的趨勢。靠近中鋼、中船附近港區的潮流相對的較為平緩。

為了模擬計算港區內細泥的運送與沉降，我們假設細泥的來源

是來自仁愛河與前鎮河。模式只考慮河流的流量，不考慮河流注入近海所產生的溫鹽流。對於仁愛河與前鎮河的流通量，因為無實際觀測資料，故參考經濟部水資源局公佈東港溪平均流量，所以模式分別採用 200 及 40 m^3s^{-1} ，河川含細泥的濃度皆假設為 500 mg/l。圖 7.45 表示模式十天後第一港區底層流流場與底泥沉積厚度的分布圖。由模式結果得知，淤泥沉積的厚度與底層流速場息息相關。在航道上與第一港口後的渦流區域，都有明顯的淤泥沉積，模式模擬十天後，淤泥厚度達到大約 15 公厘。

至於第二港口區域模式，我們假設北方開口邊界為細泥的來源，濃度為 200 mg/l。圖 7.46 表示模式十天後第二港區底層流流場與底泥沉積厚度的分布圖。由模式結果得知，第四貨櫃中心有相對較厚的淤泥沉積，第二港口南方的中船、中鋼區域的淤泥較少。

考慮風應力對於底泥沉積的影響，根據高雄港地區的風力分析，冬季季風期風向以 NNE 至 WNW 間為主，風速介於 0.1 ~ 5 m/s 之間。因此模式加入均勻風場，風速為 5 m/s 與風向為北風。圖 7.47 與圖 7.48 分別表示模式考慮潮汐與風應力作用十天後第一港區與第二港區底層流流場與底泥沉積厚度的分布圖。模式結果與前潮流作用案例的結果相仿，但仍有些微的差異。因受風力影響，在第一港區的底泥沉積範圍變為較為狹窄，第二港口、中船、中鋼區域的淤泥則有增加的趨勢。

數值模式模擬結果雖有假設因素所產生的量化誤差，然從二港口的模擬結果卻可看出其與先前從實測水深所得之侵淤結果以及船席浚挖量分析在定性上有相似之處。例如，屬於第四貨櫃中心的 115 號至 122 號碼頭在冬季有明顯淤積，但在夏季則有較大量之浚挖作業，顯示該區可能是海岸漂砂進入二港口後沉降淤積之處，此也與數值模擬之趨勢相符。

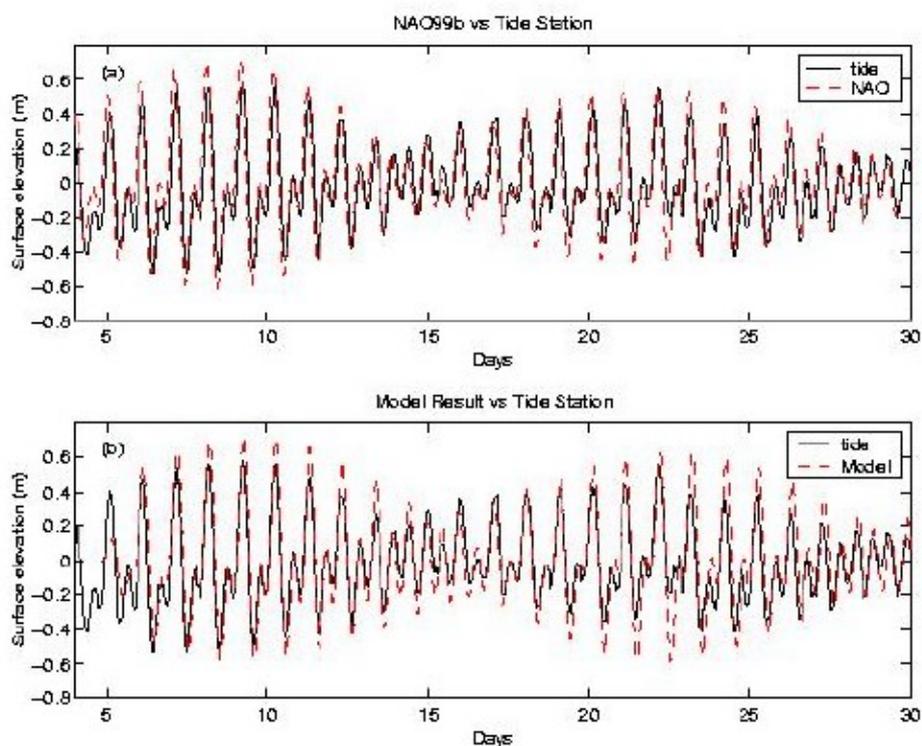


圖 7.31 大範圍潮汐模式水位驗證。上圖表示邊界上一處從 NAO99b 的預測潮位資料與高雄港潮位觀測站潮位之比較。下圖為模式結果與潮位站潮位資料之比較。黑色直線代表潮位站資料，紅色虛線代表模式結果。

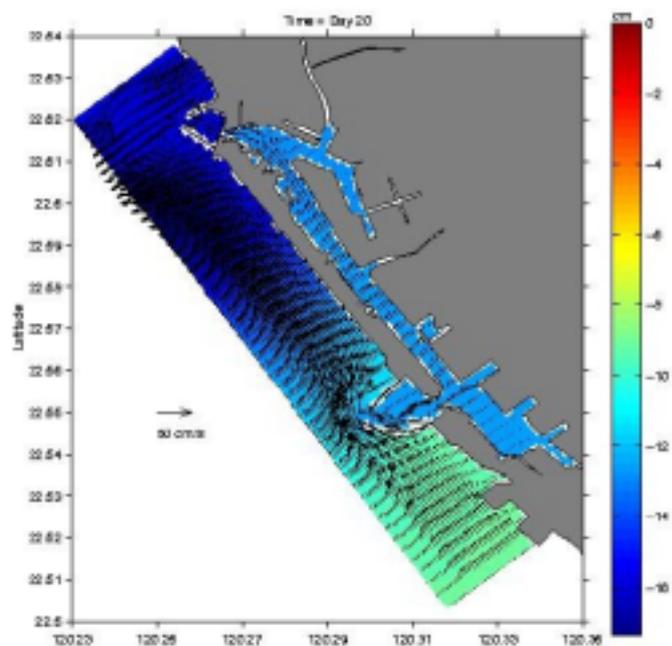


圖 7.32 模式二十天時的潮流與潮位分布圖。

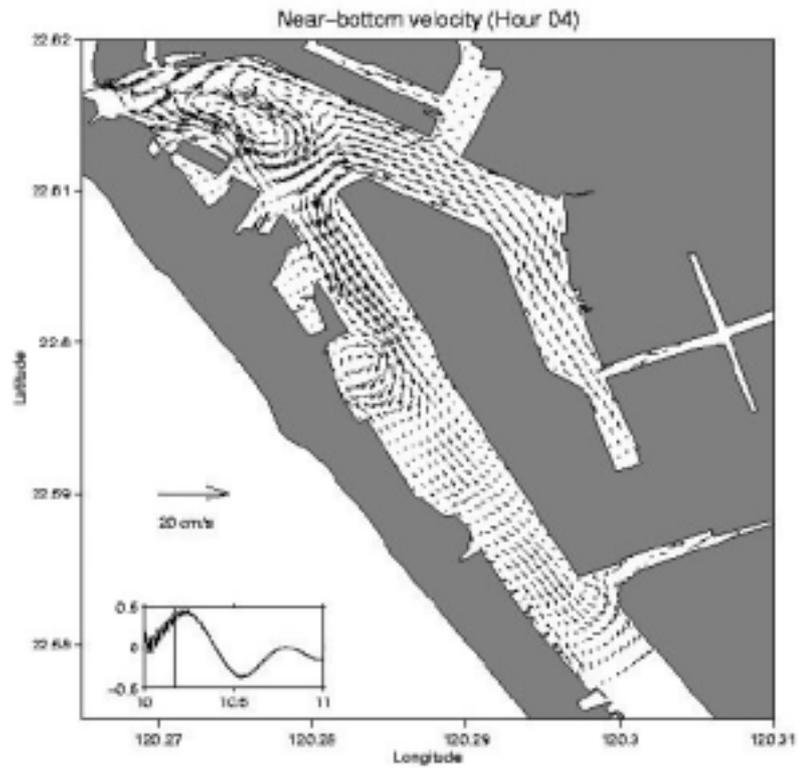
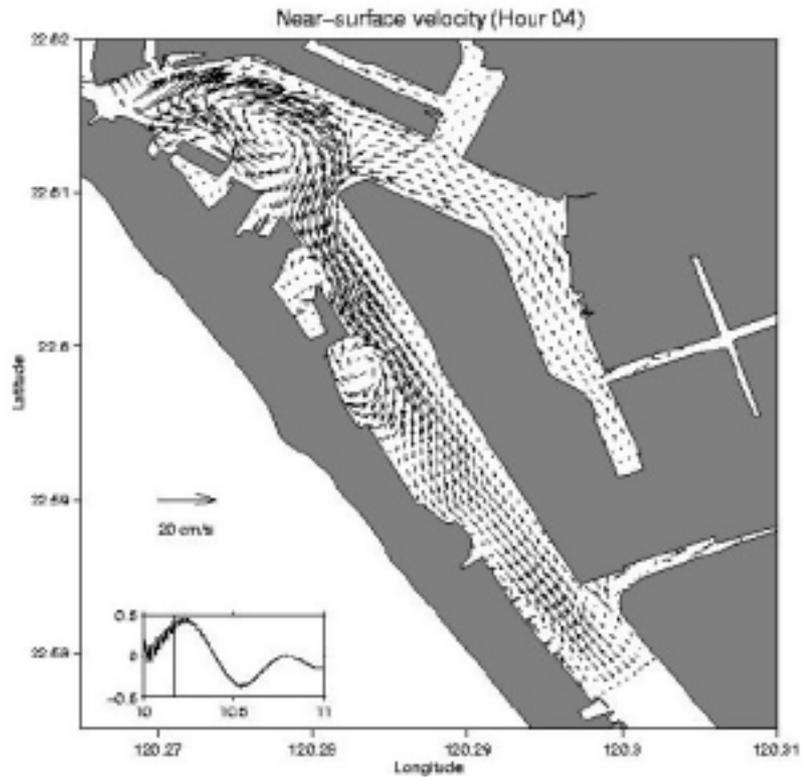


圖 7.33 第一港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

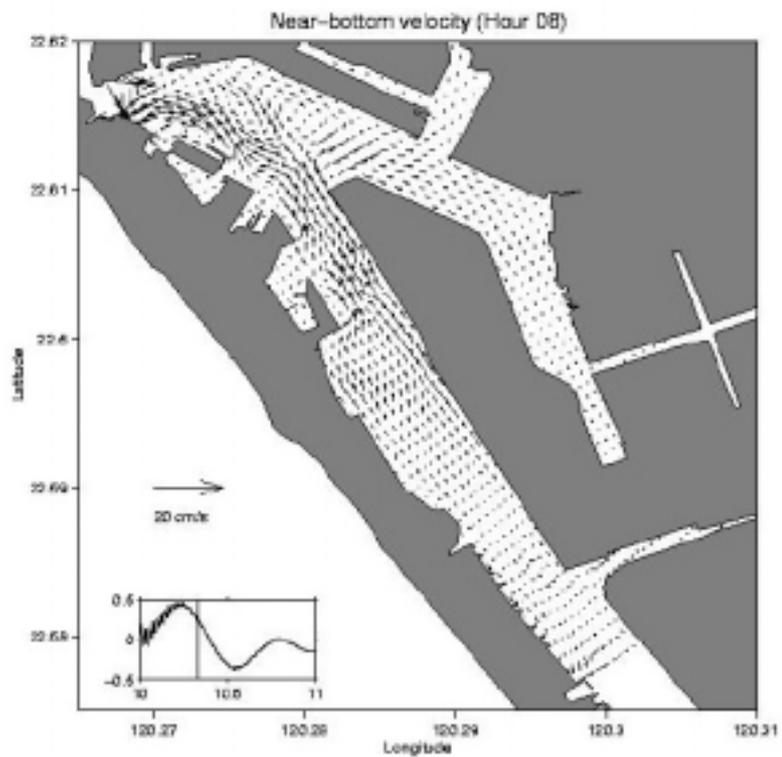
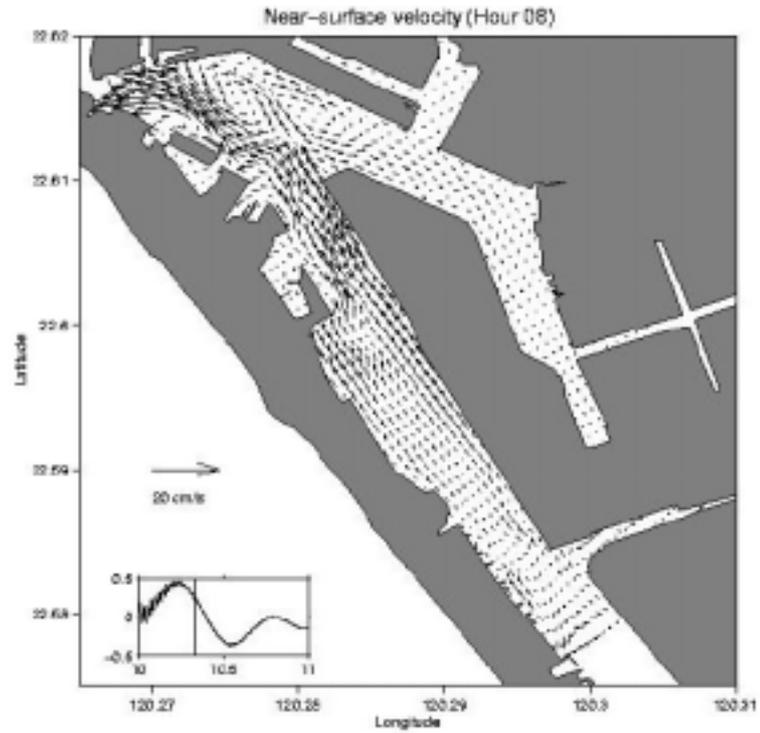


圖 7.34 第一港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

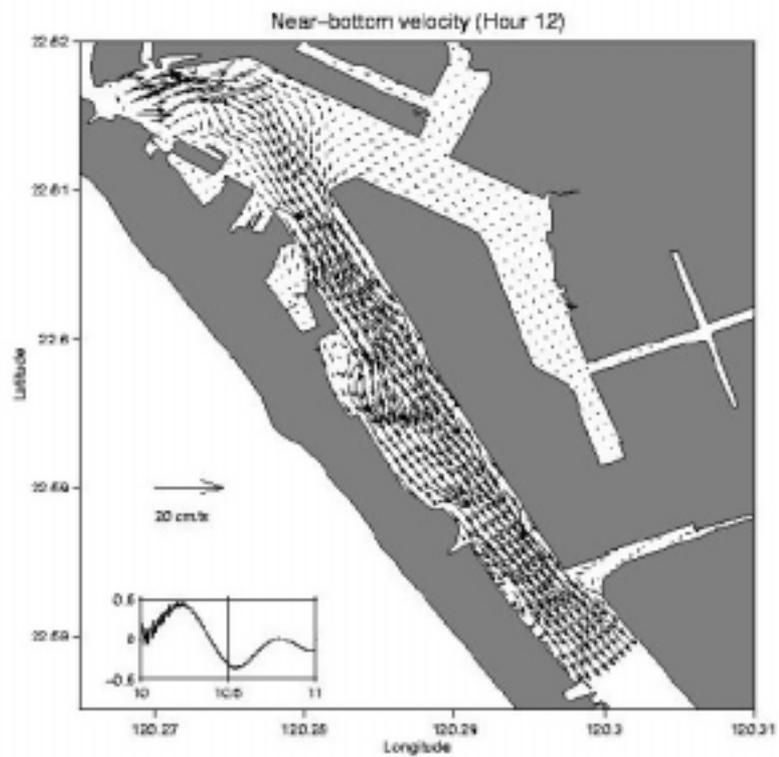
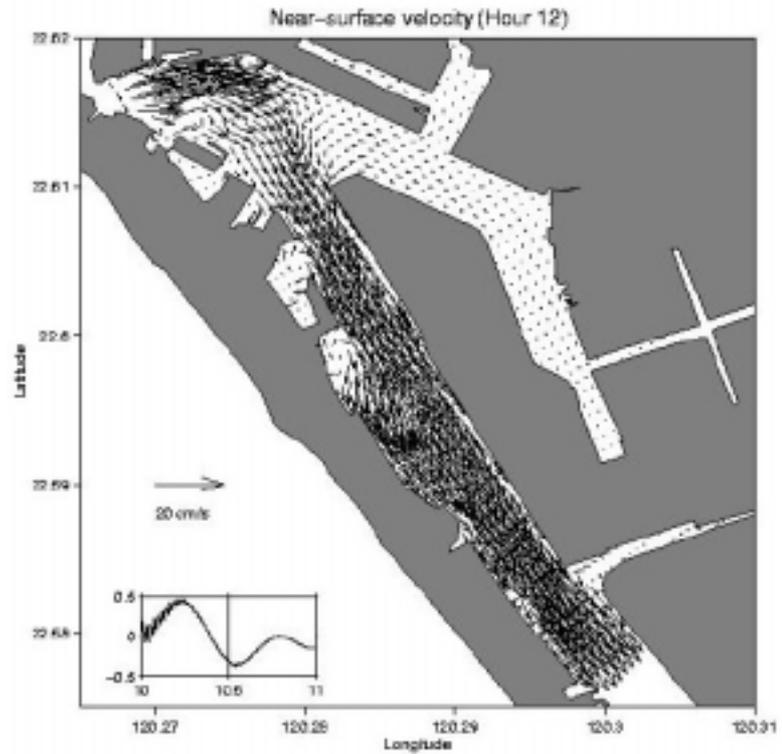


圖 7.35 第一港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

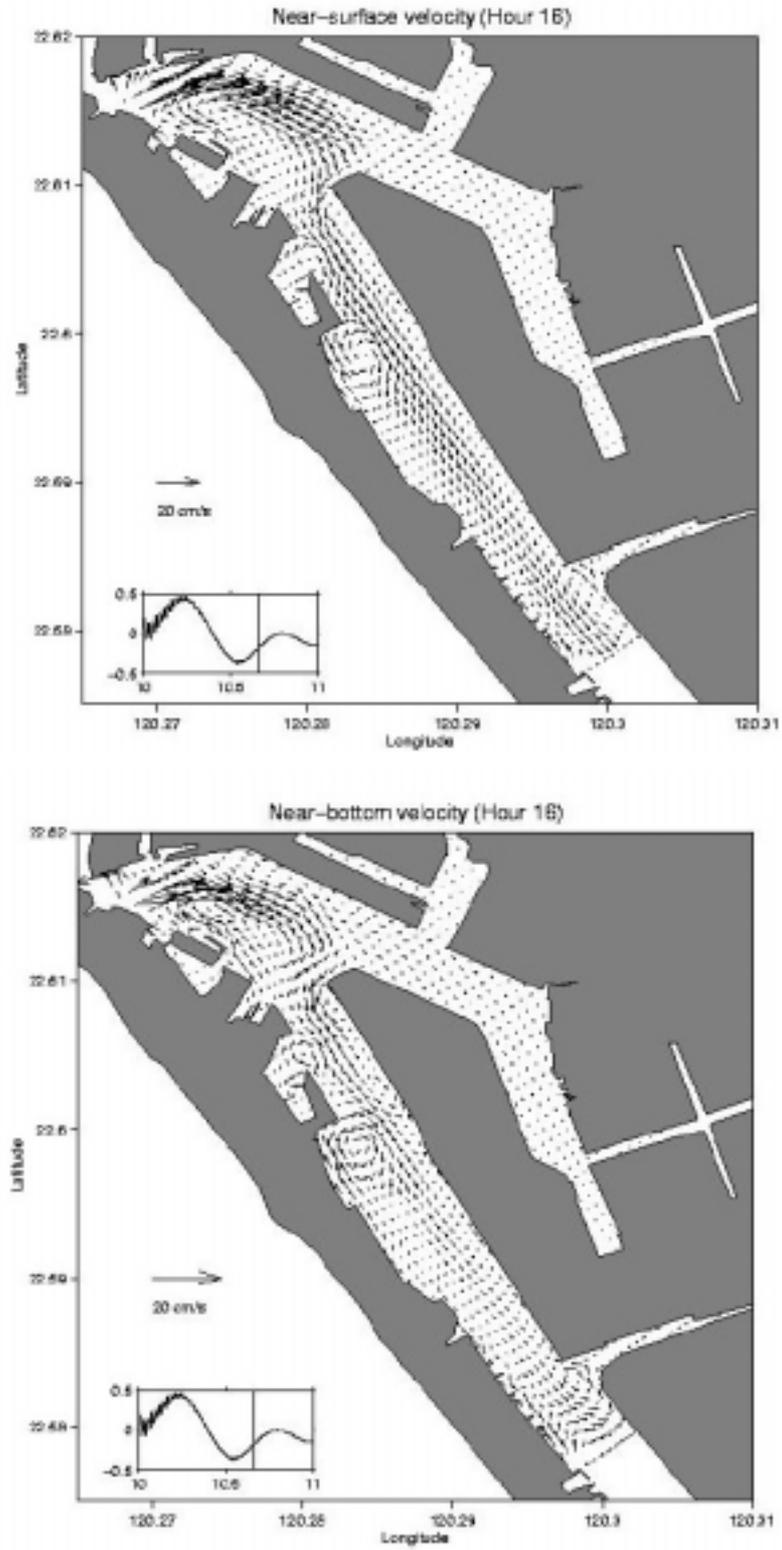


圖 7.36 第一港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

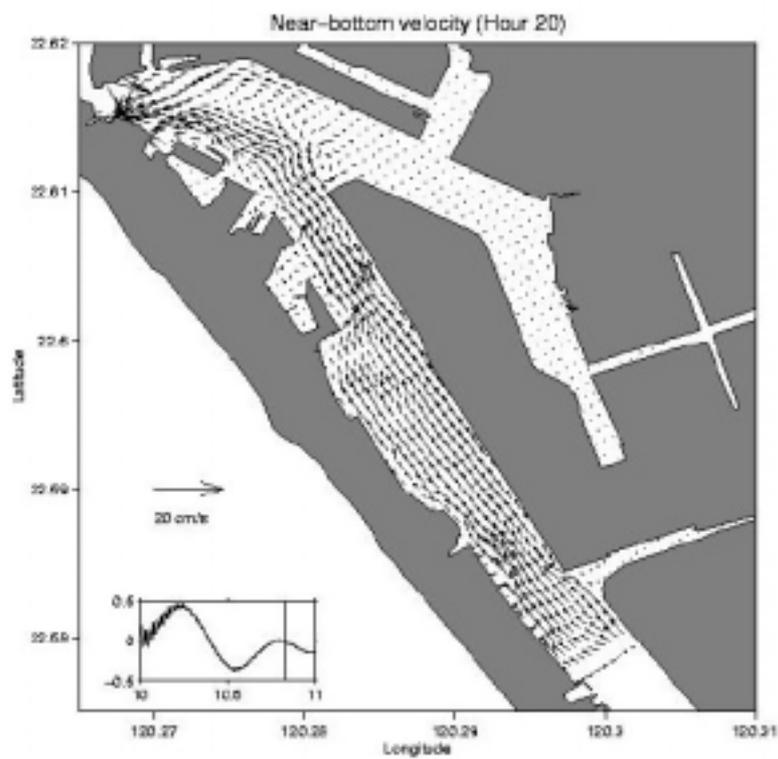
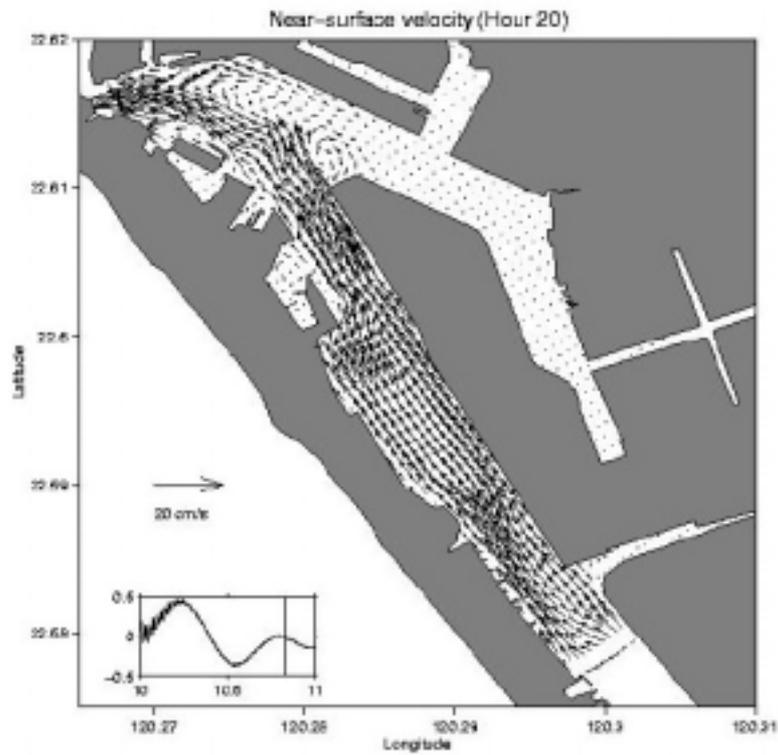


圖 7.37 第一港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

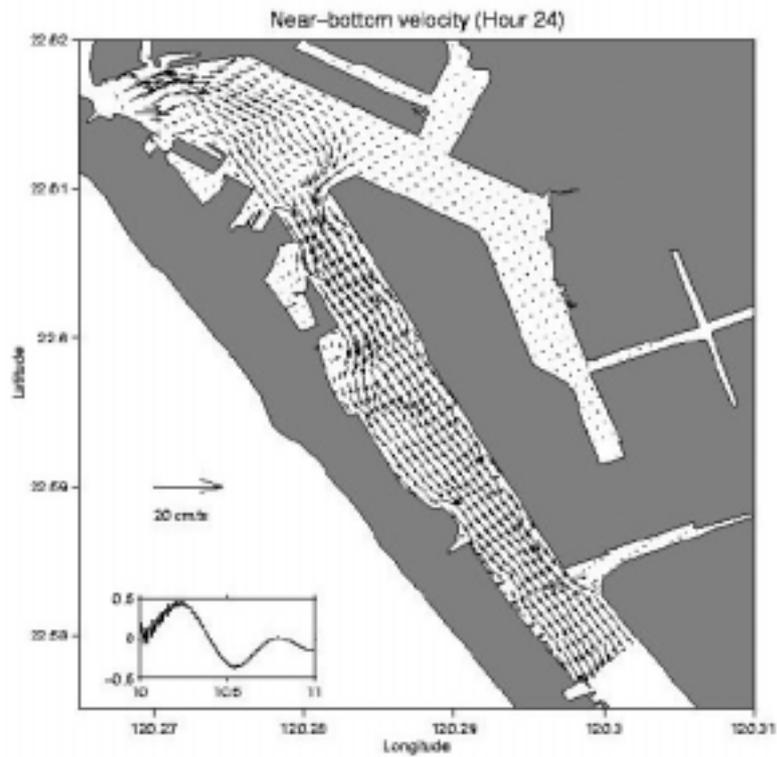
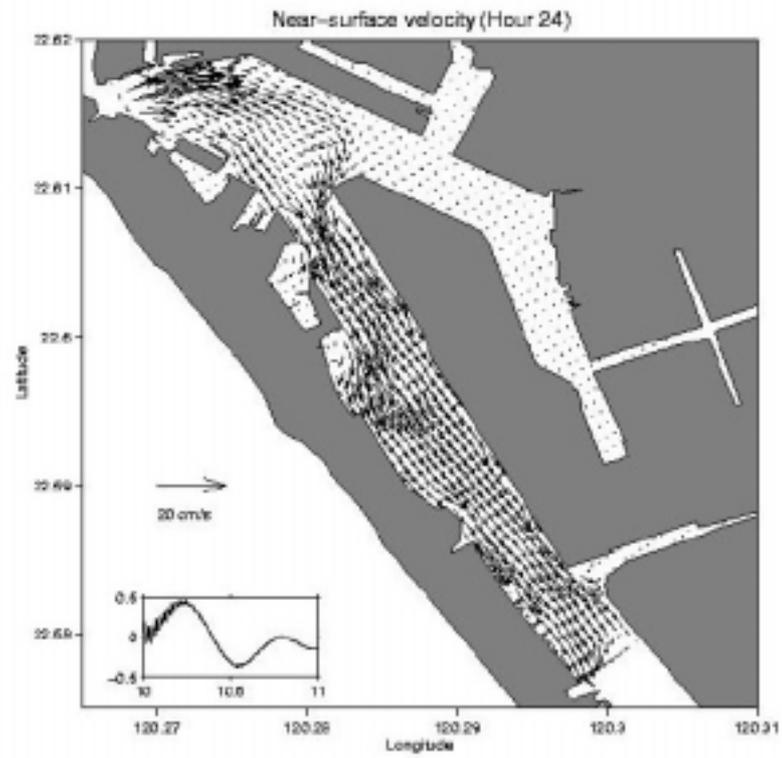


圖 7.38 第一港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。上圖為表面流，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

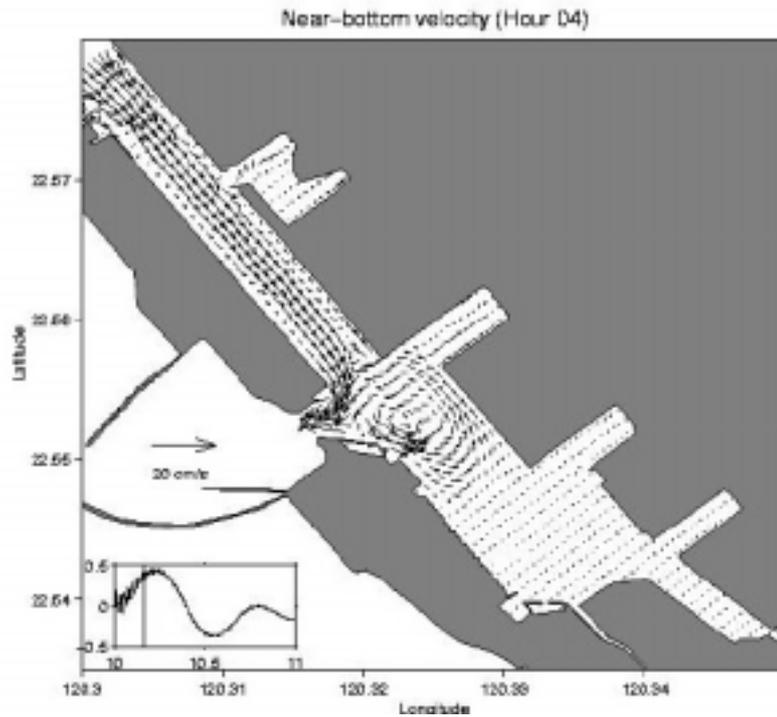
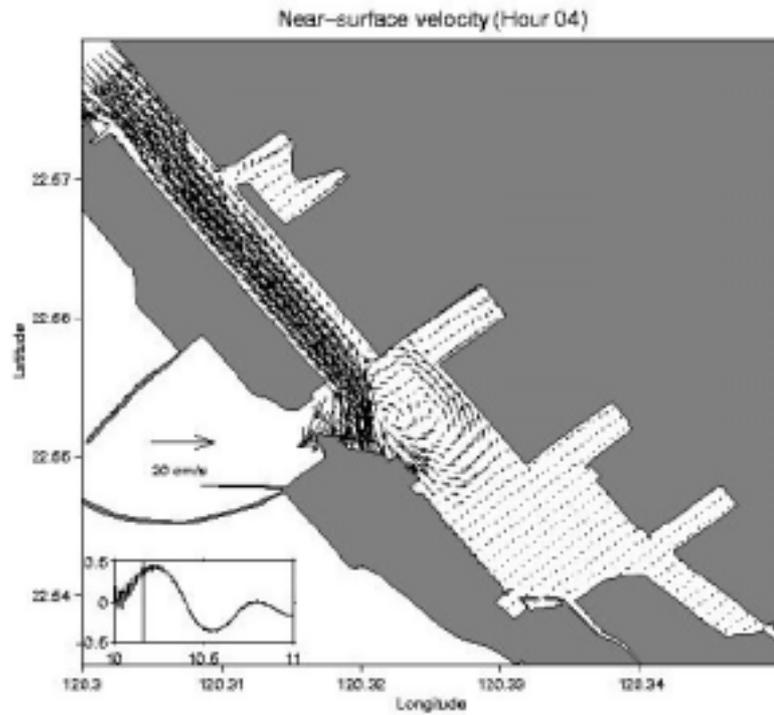


圖 7.39 第二港口高解析模式潮流流場在第四小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

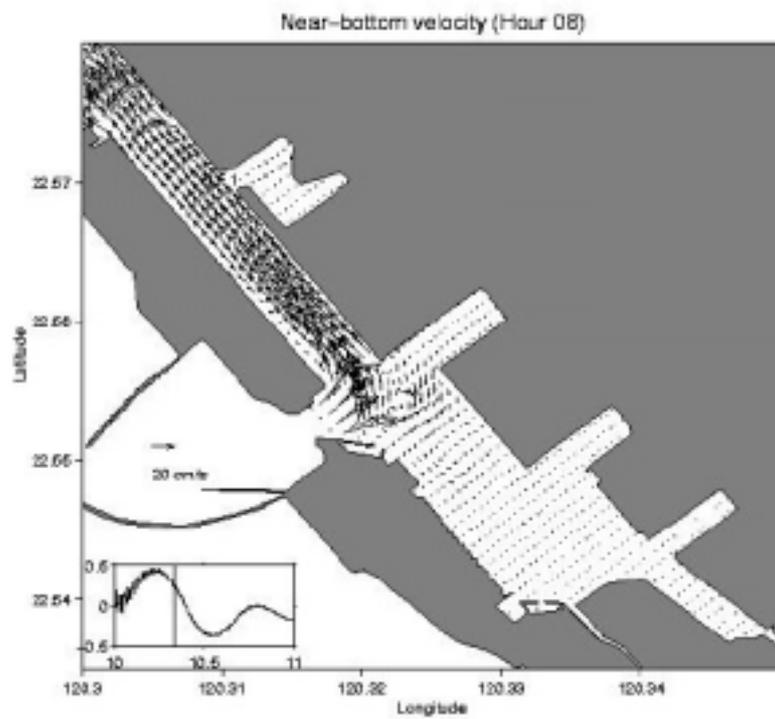
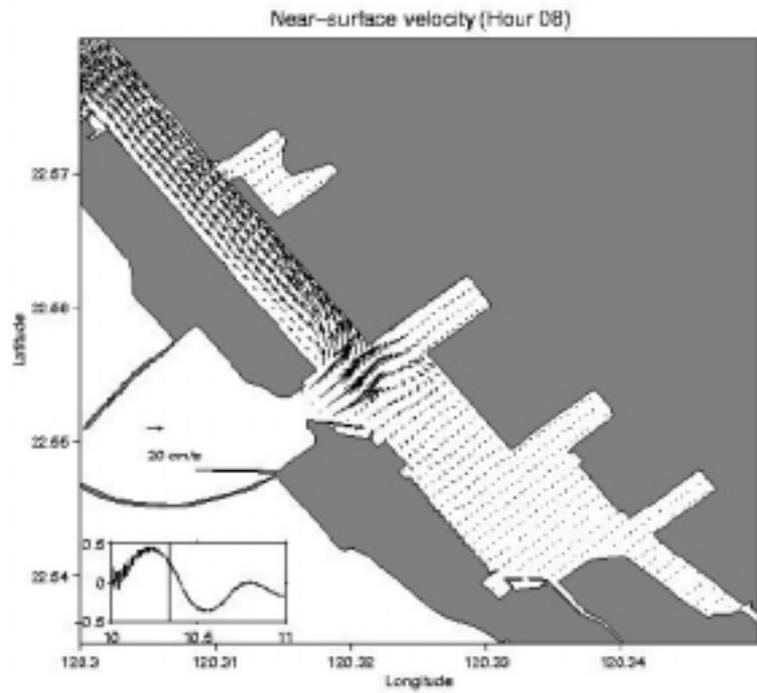


圖 7.40 第二港口高解析模式潮流流場在第八小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

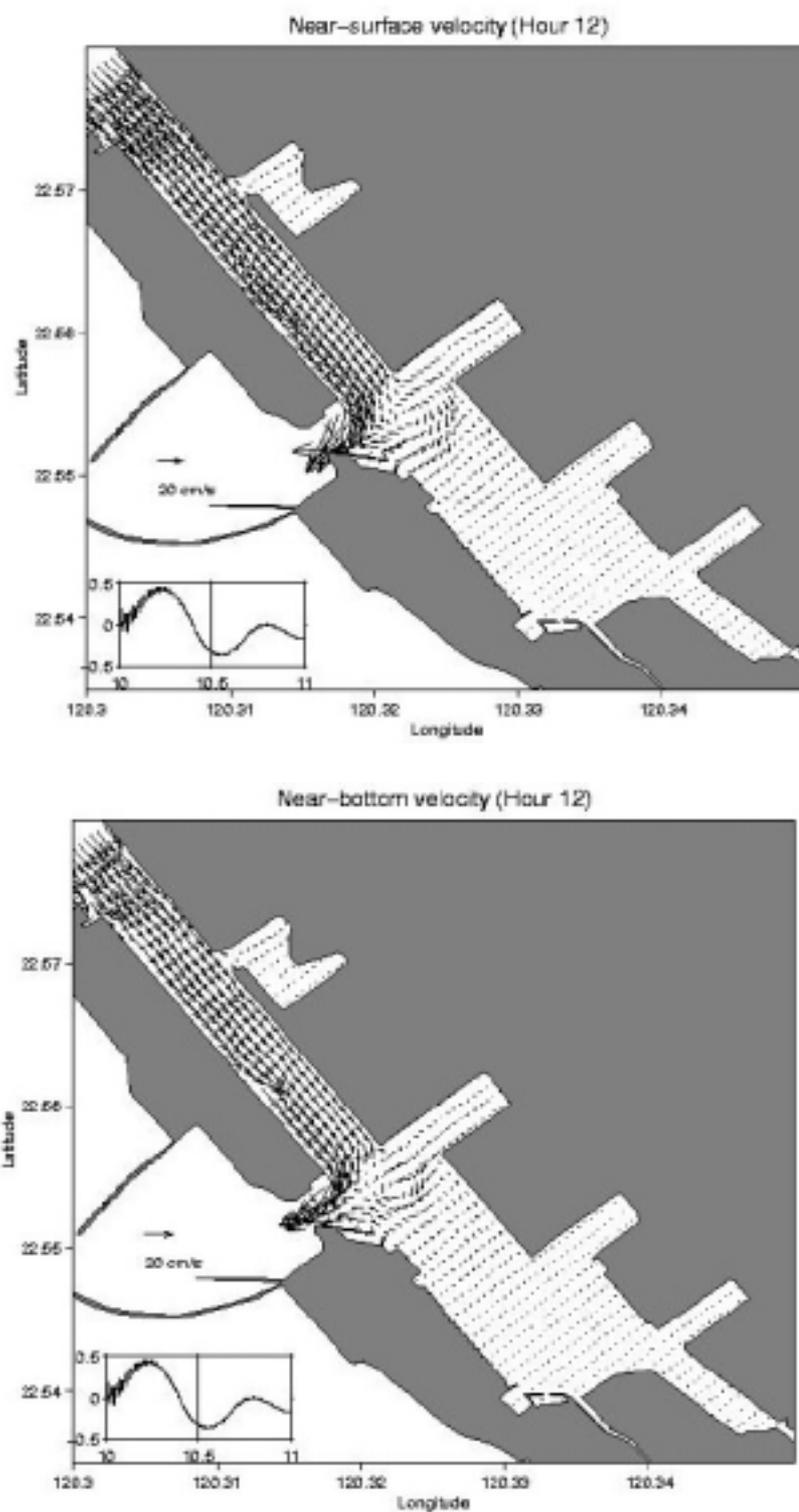


圖 7.41 第二港口高解析模式潮流流場在第十二小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

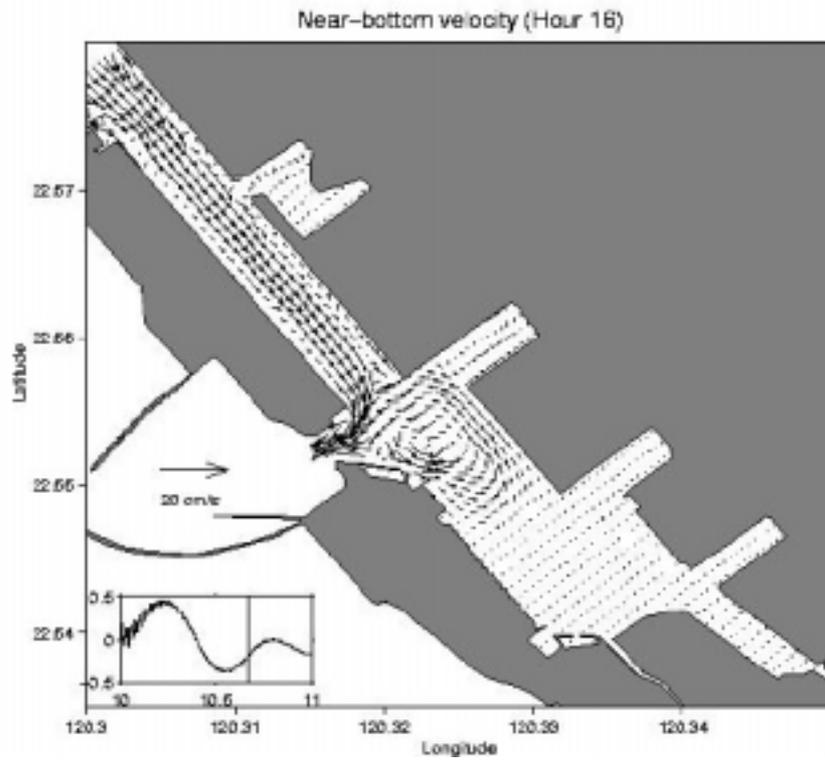
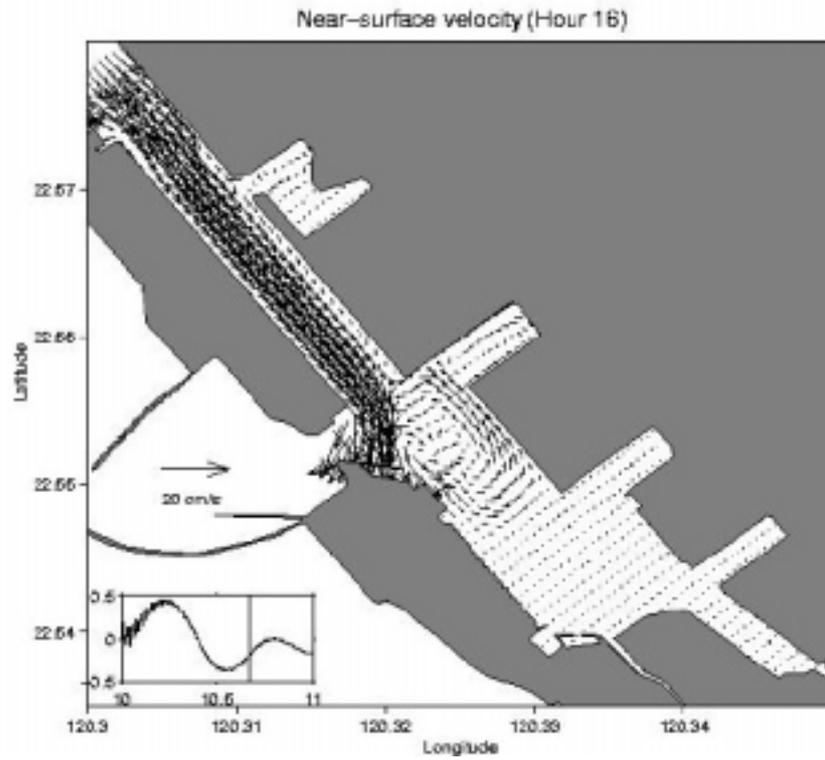


圖 7.42 第二港口高解析模式潮流流場在第十六小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

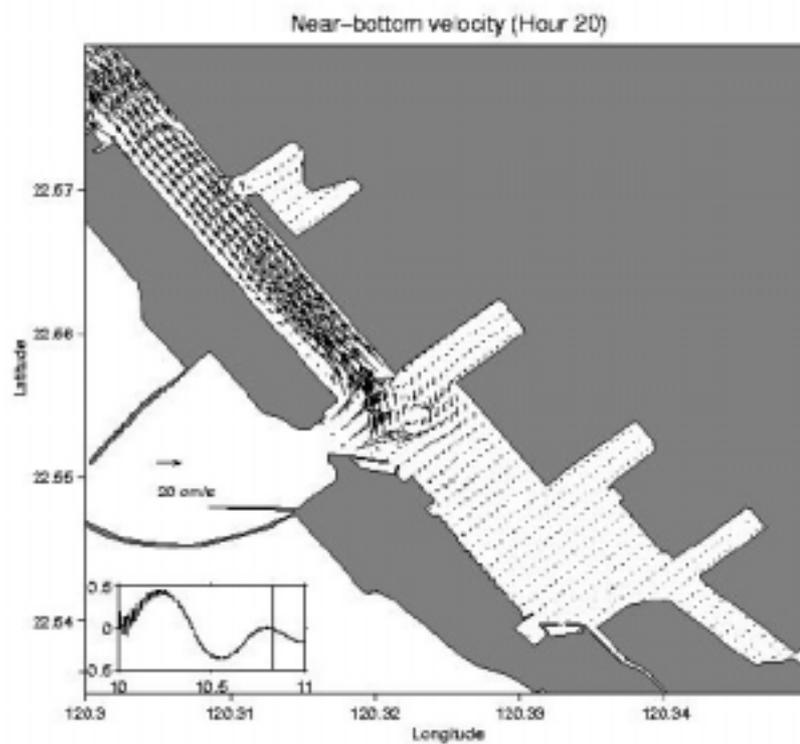
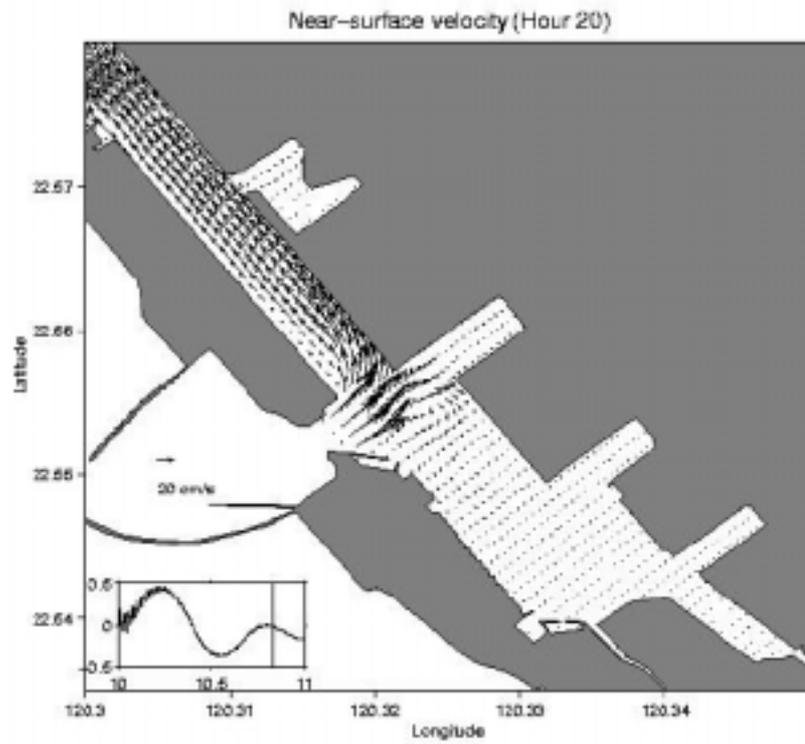


圖 7.43 第二港口高解析模式潮流流場在第二十小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

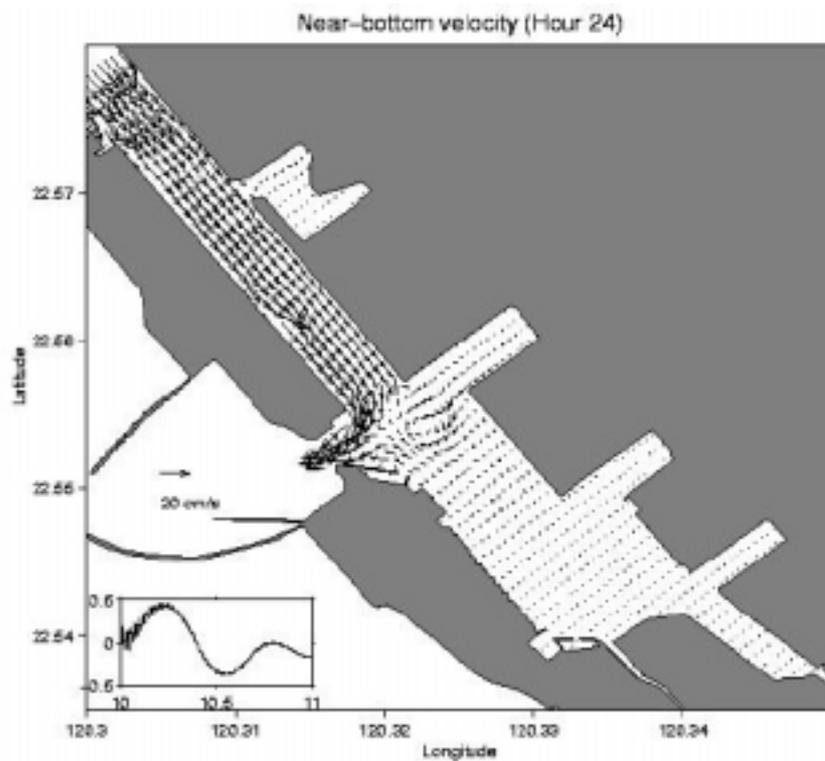
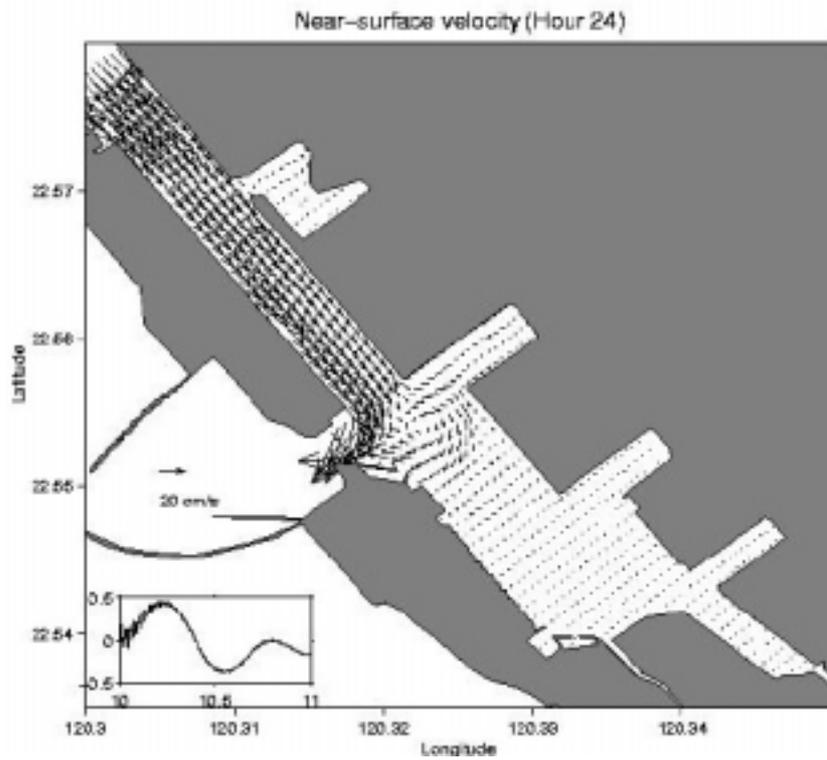


圖 7.44 第二港口高解析模式潮流流場在第二十四小時之分布圖。上圖為表面流場，下圖為底層流場。小方格表示當時的表面水位高度。

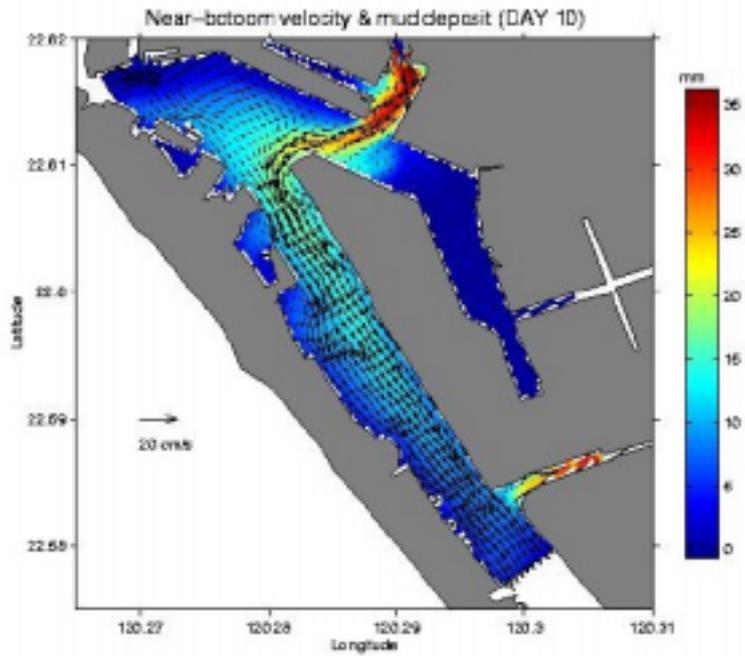


圖 7.45 模式模擬十天後第一港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度，單位為公厘。

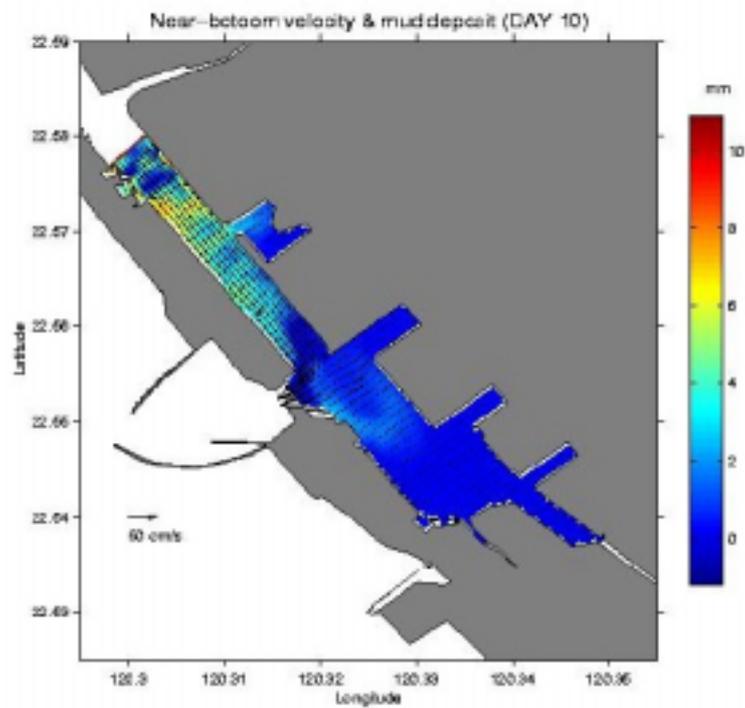


圖 7.46 模式模擬十天後第二港口區域底層潮流流場及淤泥沉積的厚度，單位為公厘。

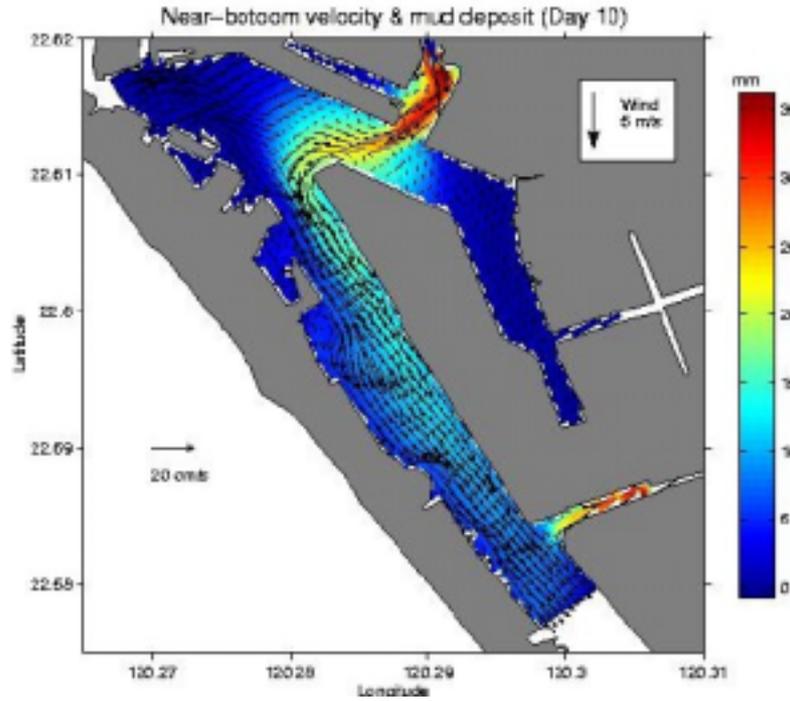


圖 7.47 模式模擬十天後第一港口區域底層潮流加上 5 ms^{-1} 均勻北風風場的流場及淤泥沉積的厚度，單位為公厘。

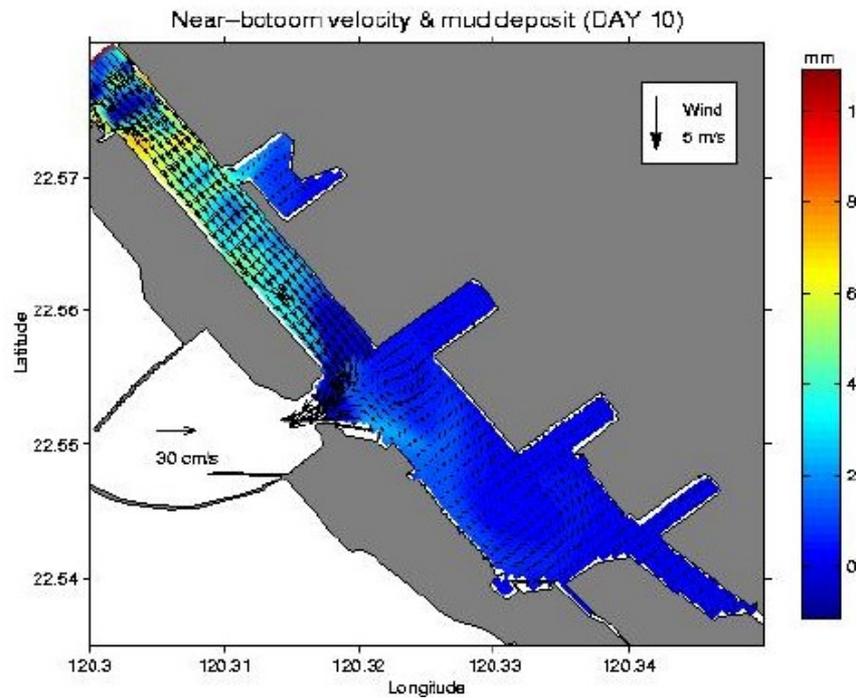


圖 7.48 模式模擬十天後第二港口區域底層潮流加上 5 ms^{-1} 均勻北風風場的流場及淤泥沉積的厚度，單位為公厘。

符號總表

符號	代表意義	模式應用數值
$U、V、W$	東西、南北、垂直方向的流速分量	
f	柯氏力參數	
P	壓力	
K_M	垂直渦旋混合係數	
K_H	溫度、鹽度的垂直渦旋擴散係數	
g	重力加速度	9.8 ms^{-2}
$x、y、z$	東西、南北、垂直方向的距離	
$\rho_0、\rho$	參考密度、現場密度	
$\theta、S$	位溫、鹽度	30°C 、 35 psu
A_M	水平渦旋混合係數	
A_H	水平溫度、鹽度渦旋混合係數	
C	Smagorinsky 公式的背景常數	0.1
q^2	紊流動能	
l	紊流尺度	
K_q	紊流垂直渦旋混合係數	
$\eta、H、D$	水面高度、水深、總和水深	
σ	sigma 座標系統	
ω	σ 座標系統中的垂直流速分量	
z_0	海底粗糙參數	0.003 m
C_s	懸浮顆粒的濃度	仁愛河、前鎮河的 C_s 假設為 500 mg/l
W_s	懸浮顆粒的沉降速度	
Δt_e	二維的計算時距	大範圍 1.50 秒 第一港口 1.00 秒 第二港口 0.80 秒
Δt_i	三維的計算時距	$\Delta t_i = 20\Delta t_e$

7.3 成果說明

針對以上四個工作項目所得成果，可綜合結論如下：

A. 港池內淤泥來源及底質調查

全區水深變化顯示港池底質在夏季呈侵蝕變化，在冬季則呈淤積變化，變化量較大的區域主要在區域四，即靠近二港口航道的港池水域。由於船席在 3 月至 10 月間，尤其夏季期間，有較多之浚挖工作，因而易造成此期間之侵淤變化。此外，近幾年的浚挖工作也都集中在二港口附近的貨櫃中心碼頭之船席。

B. 港池流況分析(海氣象及海潮流)

高雄港海洋地區之吹風仍以冬天之 NNE 至 WWW 風向比例最高，但吹風速度均在 5m/s 以下。波浪方面則以冬天小於 1m 之湧浪及夏天偶有大於 6m 之颱風波浪為主。潮汐資料顯示本港之平均潮差約 0.7m 屬偏半日潮之混合潮型。海流則因受黑潮支流回流影響，受季節風之影響遠大於潮汐漲落影響，因而流向呈沿岸做往復運動，而流速以冬季較強，可達 40cm/s 以上。

C. 港池淤泥之流動及沉降分析

針對港池 11 處不同地點所得之沉泥採樣所進行的沉降及土壤性質分析得知，大部份港池底泥之組成，粉土平均約佔 67%，黏土約佔 33%，此外，靠近一港口之底泥樣本顯示黏土成份成份較平均值為高，前鎮河口及二港口出港處則黏土成份較平均值為低，據此，高雄港港池中靠一港口附近之淤泥應來自於愛河、第五號船渠處運河及部份前鎮河之供應；反之，二港口附近之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。

D. 港池淤泥傳輸分析

數值模擬港池受潮流用時淤泥之傳輸及沉降結果顯示，在六個主要短週期成份潮(M2,S2,N2,K1,O1,P1)合成潮汐作用下

7.3.1 防制對策評估

由於浚挖之工作從過去四年（90,91,92,93 年度）之資料顯示，大都集中在四月至十月之夏季區間，因而港池淤泥之分佈只可從十月至四月之冬季區間得片面的認識。從第三章冬季區間淤泥分佈結果得知（分別是 89.10 至 90.04 及 90.10 至 91.04），淤積較明顯的區域集中在一港口迴船區、愛河河口、前鎮河口、第二貨櫃中心、第四貨櫃中心之碼頭船席及第二港口迴船池。若考量數值模擬結果在一港口與二港口附近的淤積影響，以及浚挖量分析顯示之第二、三與四貨櫃中心碼頭船席之經常浚挖作業，可得知淤泥之沉積問題似乎已從過去以第一港口為主，逐漸轉移至第二港口區為主。此外，

位於二港口迴船池附近的第三與第四貨櫃中心碼頭船席，因受迴船池水域變大影響，易使從港口進入的海岸輸砂在附近船席區域沈降，甚至更細顆粒更易傳輸至碼頭中段。

針對淤泥流動特性，主要可分為海岸漂砂進入港區之過程，以及在港區內傳輸分佈特性，故防治對策也應從此兩大方向著手，首先欲減少海岸漂砂進入港內，應從港外之海岸漂砂著手，按中華顧問工程司之「高雄市旗津區海岸線治理規劃」報告指出，因二港口外廓防波堤之突堤效應，目前旗防波堤堤頭附近。如圖 5.1 所示，由波浪引致之優勢近岸流場易將津海岸略呈侵蝕狀態，而二港口南側海岸之漂砂有集中在二港口南海岸漂砂由南向北輸送，然堆積在堤頭附近水深較大處之淤砂易再受南北向往復流之傳輸而越過堤頭，若在冬季受到湧浪的合成流場作用將易淤砂輸入港內，在現況尚無進一步擴港之情形，二港口南防波堤頭之定期濬挖應可有效減少港內船席之浚挖作業，尤其二港口北側旗津海岸有明顯之侵蝕現象，故堤頭外海側浚挖之土方也可做為該海岸之人工養灘之砂源，而在人工養灘之可行性研究中，可進一步針對環境影響進行深入評估。

此外，港區內傳輸分佈特性宜就波浪與潮流之合成作用，以及底泥懸浮及再沉積等過程進行深入探討，方能擬定合理防治對策，然因本計畫執行時間長度未能在在此評估上獲致滿意結果，從目前的潮流流場分佈以及針對愛河、前鎮河及二港口之初步漂砂分佈趨勢，可初略得知流場在一、二港口迴船區域之漩渦結構以及水體擴大之流速減緩效應。海岸漂入之砂源易在此堆積，同時因潮流在港內之往復輸送，更細顆粒之漂砂易往港池中央運移及堆積。然對此運移之過程進行防治工作一般有較大困難度，也不若針對海岸漂砂防治所可達的有效性。

第八章 結論與建議

本計畫係二年之研究計畫，主要為瞭解高雄港港池淤沙之主要來源，採行有效防治措施，以減少浚疏維護成本。目前依照進度已完成所有現場調查工作、資料分析與數值模式分析作業，以下總結本計畫工作成果與建議。

1. 漂沙運動一般需要水流帶動，高雄港港池內淤泥來自懸浮質沉澱或底移質漂沙。二港口航道出口處中央水深約 22 公尺，寬約 250 公尺，潮流不大時，底床剪應力很小，不易帶動漂沙；一港口航道出口處中央水深約 12 公尺，寬度只有 130 公尺，帶動漂沙的可能性比二港口大。其他注入港池的河川與船渠水道，因水淺河道窄淤泥多，上游流量大時，可成為最大的輸沙來源。
2. 由各剖面流觀測站之短期觀測結果，在表層水內未發現高濃度懸浮質，不過在河川底床附近則都有高濃度底污泥存在，這些底污泥為長時間累積形成，隨時會在適當情況下再懸浮並流入港區內。
3. 注入港區之主要河川如仁愛河與前鎮河上游都有興建截流站，平時可攔截上游污水，處理後排放外海。但洪汛時期常須開啟閘門洩洪，由於河道內累積大量淤泥，若未能以人工疏濬，將來有可能隨洪流進入港池內，觀測期間曾多次發現水中懸浮質濃度大量增加現象，尤其在雨季或颱風期間。
4. 鹽水溪上游未設截流站，河道中又累積大量污泥，豪雨或颱風季節極可能將污泥帶入港區內。觀測期間曾遇午後雷陣雨，水中懸浮質濃度由 200ppm 大量增加達 4000ppm，可見上游短暫洪流也能將河道積泥沖刷進入港區。第五船渠水道平時用於排放附近市區廢水，由於該水道內仍積有深厚淤泥，在豪大雨或颱風期間也可能隨洪流再懸浮流入港區內。
5. 根據安裝於一港口與二港口航道出口處之儀器觀測結果，出口處上層流受注入港區河川排水影響，流向可能持續向外，因流速剖面分佈，底層流速較小會受外海漲潮流影響而改變流向。平時水中懸浮

質濃度約在 100ppm 以下，但在外海波浪大時，懸浮質濃度增加，部份懸浮沙會被底層漲潮流帶入港池內。

6. 根據港區懸浮質濃度平面分佈情形，由一港口外海至港區內主航道、次航道與仁愛河下游水道皆有懸浮質濃度較小的清澈水質。不過，在仁愛河截流站上游、第五船渠水道、前鎮河上游及鹽水溪口附近顯然有較大懸浮質濃度，以擴散的角度來看，這些地點就是污染源位置。
7. 港區底質取樣分析結果顯示港口外的漂沙活動會將細沙由海岸帶到港口附近，在潮流帶動下部份進入一港口與二港口的防波堤內，一港口的海外漂沙可以到達迴船區；但是二港口的海外漂沙只到達航道出口處，也許有部份進入二港口以南水域。此外，港池內絕大部份水域底質以 $10\mu\text{m}$ 左右的細淤泥為主，與各河川入口底質相同，因此高雄港港池內淤泥主要還是來自注入港區的河川及船渠水道。
8. 高雄外海觀測結果，流向主要為北北西與南南東，一港口偏北北西與南南東向而二港口偏西北與東南向，應與海岸地形有一定關係。流速二港口較一港口大，可能原因為水深較深。夏季明顯較其他季節大許多，而上層流速有較下層大的驅勢；大致漲潮時偏南退潮時偏北，但在複合潮(混合潮)時較不一致。漂砂可能來源有二，其一因潮汐而帶入之懸浮質，在港內因流速變小而沉澱；其二為因較大週期波浪，將底移質自港口推入航道。前者經常出現，後者僅在颱風發生在南海才會出現，但這種機率很小，所以高雄港的港口區淤砂主要因潮汐帶入。
9. 從高雄海域過去之海氣象觀測資料整理成果中，可得知該地區之吹風仍以冬天之 NNE 至 NNW 風向比例最高，但吹風速度均在 5m/s 以下。波浪方面則以冬天小於 1m 之湧浪及夏天偶有大於 6m 之颱風波浪為主。潮汐資料顯示本港之平均潮差約 0.7m 屬偏半日潮之混合潮型。海流則因受黑潮支流回流影響，受季節風之影響遠大於潮汐漲落影響，因而流向呈沿岸做往復運動，而流速以冬季較強，可達 40cm/s 以上。

10. 靠近一港口之淤泥樣本如，B.第一船渠與新舊港交會處、C.愛河口及 D.第五號船渠口等處，黏土成份較高(約 40%)；相較之下，前鎮河及二港口處淤泥之黏土成份較低(約 33%)。亦即高雄港港池中靠近一港口附近之淤泥應來自於愛河、第五號船渠處運河及部份前鎮河之供應；反之，二港口附近之淤泥則主要源於前鎮河及中鋼河道口。而因一港池之潮流速度較大，故以靠近一港口附近之淤泥受潮流傳輸之影響較大。
11. 針對四個不同區域的船席侵淤量分析結果，從#3 至#6 船席及 #13~#14 船席資料可看出，89 年 10 月至 90 年 4 月均是淤積最明顯之時段，尤其#3 至#6 在最近一年中淤積量似乎穩定在 $9000M^3$ /半年。另一方面，#67 至#68 船席資料及#115~#116 顯示此兩區域之侵淤變化量均相對較大，且均以 90 年 10 月至 91 年 4 月之侵蝕量最大，同時又以#115~#116 船席附近水深變化相對最大。
12. 由以上現場觀測調查與試驗分析結果皆指出高雄港港池常久以來即不斷累積由四條主要河川輸入之淤泥，這些淤泥來自上游水土保持不良之河岸沖刷及工廠排放廢污水。雖然高雄市政府近年來已在仁愛河、前鎮河及第五船渠上游興建截流站攔截上游垃圾與污水，疏濬仁愛河下游段淤泥，並建立市區下水道系統。但在雨季及颱風期間，截流站開閘門洩洪時，累積於上、下游河道中的淤泥依然會隨著洪流沖刷匯入港池內。進入一、二港口的海外漂沙影響範圍僅限於航道出口附近，懸浮質濃度亦不大，故不是主要的港池淤沙來源。因此，針對高雄港港池淤沙防治對策：第一為建立河口閘門，平時開啟，洪汛時則關閉，可完全阻絕上游河川淤泥污水匯入。第二為與高雄縣、市政府合作，積極作好上游水土保持與工廠廢污水處理並疏濬河川淤泥，至少陸上挖泥比海上作業方便且便宜。第三在河口設計沉沙池設施，攔截流入港池之淤泥，定時清運。以上，建議以結合第二與第三個方案同步進行方式比較可行、有效率，至於港口附近漂沙仍須抽沙船定時疏濬，以保持航道暢通。
13. 若要正確估算港區河川之輸沙量，建議以即時監控方式在河口適當地點建立長期監測站觀測剖面流與懸浮質濃度變化，可以更有效掌

握港區河川之輸沙動態，有助於港區淤泥防治及港務之推動。

參考文獻

港池淤泥來源現場調查分析：

1. Amos, C.I., I.G. Droppo, E.A. Gomez and T.P. Murphy(2003), “The stability of a remediated bed in Hamilton harbour, lake Ontario, Canada,” *Sedimentology* 50, pp. 149-168.
2. Burban, P.Y., W. Lick and J. Lick(1989), “The flocculation of fine-grained sediments in estuarine waters,” *J. Geophys. Res.*, 94, pp. 8323-8330.
3. Burban, P.Y., Y.J. Xu, J. McNeil and W. Lick(1990), “Settling speeds of flocs in fresh water and seawater,” *J. Geophys. Res.*, 95, pp. 18213-18220.
4. Chou, H.T., M.A. Foda and J.R. Hunt(1993), “Rheological response of cohesive sediments to oscillatory forcing,” in Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, ed. A.J. Mehta, *Coastal and Estuarine Studies*, 42, American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 126-147.
5. Francis, J.R.D.(1958), A text book of fluid mechanics.
6. Hayes, M.O.(1991), “ Geomorphology and sedimentation patterns of tidal inlets: A review. ” *Coastal Sediments’91*, ASCE, Vol. II: pp. 1343-1355.
7. Le Hir, P., P. Bassoullet and J. L’Yavance(1992), “Suspended sediment transport in the Morlaix estuary: Model development and field validation,” *Int. rep. IFREMER DRO/EL*.
8. Le Hir, P., P. Bassoullet and J. L’Yavance(1993), “Application of a multivariate transport model for understanding cohesive sediment dynamics,” in Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, ed. A.J. Mehta, *Coastal and Estuarine Studies*, 42, American

- Geophysical Union*, Washington, DC, pp. 467-485.
9. Liu, J.T. and L.H. Hou(1995), "The influence of Kaohsiung harbor entrance on the distributions of littoral sediments," *第17屆海洋工程研討會暨1995兩岸港口及海岸開發研討會論文集*, pp.1111-1124.
 10. Maa, J. P.-Y., L.D. Wright, C.-H. Lee and T.W. Shannon(1993), "VIMS Sea Carousel: A field instrument for studying sediment transport," *Marine Geology*, 115(3/4), pp. 271-287.
 11. Odd, N.V.M. and J.G. Rodger(1986), "An analysis of the behavior of fluid mud in estuaries," *HR Report SR 34*.
 12. Odd, N.V.M., M.A. Bentley and C.B. Waters(1993), "Observations and analysis of the movement of fluid mud in an estuary," in *Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport*, ed. A.J. Mehta, *Coastal and Estuarine Studies*, 42, *American Geophysical Union*, Washington, DC, pp. 430-446.
 13. Scarlatos, P.D. and A.J. Mehta(1993), "Instability and entrainment mechanisms at the stratified fluid mud-water interface," in *Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport*, ed. A.J. Mehta, *Coastal and Estuarine Studies*, 42, *American Geophysical Union*, Washington, DC, pp. 205-223.
 14. 周憲德(1984), "石門水庫淤泥之流動特性," *國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文*.
 15. 曾哲茂、蘇青和、周憲德(1997), "高雄港港池水理模式調查研究," *第19屆海洋工程研討會論文集*, pp. 469-476.
 16. 孫佩君、曾若玄、蘇青和(1999), "高雄港港池流場的數值模擬與現場觀測," *第21屆海洋工程研討會論文集*, pp.135-140.
 17. 陳秋姘(2002), "高雄港務局九十一年度港區淤泥、生態及水質委託監測工作, 期末報告", *國立高雄海洋技術學院海洋環境工程系*.
 18. 楊德良、蔡丁貴、蘇青和、吳南靖、王鄭翰(2003), "高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究(1/2)", *交通部運輸研究所與國立臺灣大學合作辦理*.

高雄港外海波浪與海流觀測分析：

- 1.高雄港務局網站(www.khb.gov.tw/intro/index.htm)。
- 2.曾相茂等(2002)「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究 (1/4)」，交通部運輸研究所 91-23-716 MOTC-IOT-IHMT-CA9004，pp.7-3。
- 3.曾相茂等(2003)「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究 (2/4)」，交通部運輸研究所 92-79-758 MOTC-IOT-91-HA09-1，pp.2-2。
- 4.曾相茂等(2003)「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究 (3/4)」，交通部運輸研究所 93-49-787 MOTC-IOT-92-H2BA01，pp.6-31。
- 5.洪楚璋、李遠輝、吳大成、江永棉、譚天錫等(1974)「高雄港灣水域之環境與生態調查」，(台灣大學海洋研究所專刊第5號)，pp.20。
- 6.陳汝勤、洪楚璋、江永棉、譚天錫、林良平、梁乃匡、陳玉麟等(1976)「林園海域環境調查報告」，(台灣大學海洋研究所專刊第10號)，pp.14-15。
- 7.洪楚璋、陳汝勤、江永棉、譚天錫、林良平、梁乃匡、張湘電等(1979)「高雄臨海工業區海洋放流管線水質與環境調查報告」，(台灣大學海洋研究所專刊第22號)，pp.14-15。
- 8.梁乃匡、王胄、劉長遠等(1981)「興達港及東港附近海流波浪調查報告」，(台灣大學海洋研究所專刊第28號) pp.VIII。
- 9.國家海洋科學研究中心網站(www.ncor.ntu.edu.tw/ODBS/odbchinese.html)。

- 10.詹森等(1997)「南星計畫中程計畫第一期環境品質監測計畫」, (成功大學水工試驗 研究試驗報告第 207 號), pp.2-2 - 2-18。

港池淤泥之流動及沈降分析與傳輸分析：

- 1.中華顧問工程司,“高雄市旗津區海岸線治理規劃報告書”,民國 89 年 7 月。
- 2.交通部運輸研究所,“2001 年港灣海氣象觀測資料年報”,民國 91 年 10 月。
- 3.高苑技術學院,“高雄市海岸生態復育計畫期中報告書”,民國 93 年 10 月。
- 4.陳鴻霞、顏清連、周憲德,“石門水庫淤泥之流動特性”,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文,民國 73 年 6 月。
- 5.楊錦釧、陳弘翰,“凝聚性沈澱傳輸機制之模擬與分析”,國立交通大學土木工程研究所碩士論文,民國 88 年 6 月。
- 6.Arakawa, A., and V.R. Lamb, 1977: Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, 17, 174-265.
- 7.Blumberg, A.F., and L.H. Kantha, 1985: Open boundary condition for circulation models. *J. Hydraulic Engineering*, 111, 237-255.
- 8.Blumberg, A.F., and G.L. Mellor, 1987: A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, edited by N.S. Heaps, Amer. Geophys. Union, Washington DC, pp. 1-16.
- 9.Burban, P.Y., Y. Xu, J. McNeil, and W. Lick, 1990: Settling speeds of flocs in fresh and sea waters. *J. Geophys. Res.*, 95, 18213-18220.
- 10.Chapman, D.C., 1985: Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1060-1075.
- 11.D.J.Lee & G.W.Chen & Y.C.Liao & C.C.Hsieh, “On the Free-Settling Test For Estimating Activated Sludge Floc Density”, *Wat. Res.*, Vol.30 No.3, pp.541~550。
- 12.Erik A. Toorman & Jean E. Berlamont, “Mathematical Modeling of Cohesive Sediment Settling and Consolidation”, *Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport*, pp.167~183。
- 13.Gailani, J., C.K. Ziegler, and W. Lick, 1991: The transport of sediments in the Fox River. *J. Great Lakes Res.*, 17, 479-494.
- 14.HydroQual, 2002: A primer for ECOMSED. Users Manual,

- HydroQual, Inc. Mahwah, N.J., pp. 188.
15. Krone, R.B., 1962: Flume studies of the transport of sediment in estuarial processes. Final report, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley.
 16. Lick, W., J. Lick, and C.K. Ziegler, 1994: The resuspension and transport of fine-grained sediments in Lake Erie. *J. Great Lakes Res.*, 20, 599-612.
 17. Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, 2000: Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan. *J. Oceanogr.*, 56, 567-581.
 18. Mellor, G.L., and T. Yamada, 1974: A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, 31, 1791-1806.
 19. Mellor, G.L., and T. Yamada, 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, 851-875.
 20. Nicholas V. M. Odd & Mark A. Bentley & Colin B. Waters ,
 “Observations and Analysis of the Movement of Fluid Mud in an Estuary” , *Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport* , pp.430~446.
 21. Orlanski, I., 1976: A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. *J. Comput. Phys.*, 21, 251-269.
 22. Partheniades, E., 1992: Estuarine sediment dynamics and shoaling processes. In *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, vol. 3, J. Herbick, Ed., pp. 985-1071.
 23. Phillips, N.A., 1957: A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting. *J. Meteorol.*, 14, 184-185.
 24. Smagorinsky, J., 1963: General circulation experiments with the primitive equations. *Mon. Wea. Rev.*, 91, 99-164.
 25. Smolarkiewicz, P.K., and W.W. Grabowski, 1990: The multidimensional positive definite advection transport algorithm: Nonoscillatory opinion. *J. Comp. Phys.*, 86, 355-375.
 26. Theresa R. Wang & Robert C.Y. Koh & Norman H. Brooks ,
 “Interpretation of Settling Column Measurements of Sludge” , *Environmental Quality Laboratory California Institute of Technology Pasadena, California* , pp.204~236.

誌 謝

「高雄港港池淤沙調查研究」計畫自民國九十二年四月開始，迄今一年又八個月，終於完成任務，提出成果。期間感謝本中心長官邱主任永芳及何科長良勝的不斷鼓勵與協助；曾研究員相茂與廖副研究員慶堂不畏海上風寒浪大協助蒐集外海波浪與海流資料；以及許多技工同仁的同心協力，始得以克服萬難，完成現場調查工作。同時也感謝臺大團隊梁教授乃匡、楊研究員台興等辛苦出海作業，協助外海流況調查；以及海大團隊臧教授效義、羅教授耀財與中大周教授憲德協助進行港區侵淤調查及淤泥輸沙模式推算。雖然計畫期限短促、任務繁重，大家仍盡心盡力，希望研究成果能提供高雄港務局針對港池淤泥研擬出最佳防治策略，以利港務推動，提昇競爭力。