

高雄港港池淤沙調查研究(2-1)

第一年報告



委託單位：交通部高雄港務局

執行單位：交通部運輸研究所

摘 要

本計畫係二年之研究計畫，目前已依照進度完成第一年之相關資料蒐集，現場勘察與初步觀測、取樣工作。高雄港港池淤泥之主要來源可分為六個部份，即一、二港口，仁愛河、第五船渠、前鎮河及鹽水溪等河川或運河。高雄港自建港後即不斷累積來由河川或外海懸浮質之淤泥沉積，雖然每年不斷濬挖或疏浚，其底泥淤積量仍然對繁忙的港區船舶運輸作業造成相當困擾。底泥之形成一般來自河川之細粒懸浮顆粒在入海口處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)。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。而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。根據前鎮河測站離底 1 米處之懸浮質濃度觀測結果，顯示底床附近懸浮質濃度有週期性變化趨勢，大週期變化約 18 天，小週期變化則與潮汐週期相當。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。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，同時也可能與每月之大小潮有關。前鎮河底床附近流速不大，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，成為港池淤泥主要來源之一。

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
照片目錄.....	X
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-2
1.3 高雄港港池淤泥之可能來源.....	1-3
1.3.1 前鎮河.....	1-5
1.3.2 仁愛河.....	1-7
1.3.3 第五船渠.....	1-7
1.3.4 鹽水溪.....	1-7
1.3.5 第一港口.....	1-8
1.3.6 第二港口.....	1-8
1.4 研究目的與方法.....	1-9
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.....	2-2
2.3 底泥輸沙之理論說明.....	2-4
2.4 港口懸浮輸沙.....	2-7
第三章 高雄港港池現場流場觀測.....	3-1
3.1 高雄港港池之現場剖面流觀測.....	3-2
3.1.1 剖面流觀測站位置說明.....	3-2
3.1.2 現場剖面流觀測與分析.....	3-6
3.2 前鎮河河口之長時間現場觀測.....	3-39
3.2.1 現場觀測作業說明.....	3-39
3.2.2 觀測結果分析與討論.....	3-41
第四章 底質取樣與底泥現場量測.....	4-1
4.1 高雄港區內底質測站及淤泥厚度.....	4-1
4.2 高雄港區內底質探測分析結果及討論.....	4-12
第五章 高雄港外海波浪與海流觀測分析.....	5-1
5.1 觀測方法.....	5-1
5.2 高雄港基本資料分析與特性.....	5-2
第六章 結論.....	6-1
參考文獻.....	7-1

表 目 錄

表 1.1	高雄港近五年來港口浚疏量(單位：m ³).....	1-2
表 3.1	高雄港內剖面流觀測站經緯度及其位置說明.....	3-5
表 3.2	民國 92 年高雄氣象站逐日雨量資料.....	3-47
表 3.3	民國 92 年 10 月 13 日高雄氣象站逐時雨量資料.....	3-48
表 3.4	民國 92 年 10 月 14 日高雄氣象站逐時雨量資料.....	3-49
表 4.1	港區各底泥測站位置及底質狀況說明.....	4-5
表 5.1	高雄港測站示性波高、示性週期及波向統計表.....	5-28
表 5.2	高雄港測站示性波高分佈百分比(%)統計表.....	5-29
表 5.3	高雄港測站示性週期分佈百分比(%)統計表.....	5-30
表 5.4	高雄港測站示性波向分佈百分比(%)統計表.....	5-31
表 5.5	高雄港測站示性海流流速及流向統計表.....	5-32
表 5.6	高雄港測站海流流速分佈百分比(%)統計表.....	5-33
表 5.7	高雄港測站海流流向分佈百分比(%)統計表.....	5-34
表 5.8	高雄港測站風速及風向統計表.....	5-35
表 5.9	高雄港測站風速分佈百分比(%)統計表.....	5-36
表 5.10	高雄港測站風向分佈百分比(%)統計表.....	5-37

圖 目 錄

圖 1.1	高雄港港池可能淤泥來源示意圖.....	1-4
圖 1.2	臨海橋與前鎮橋兩個水質監測點水中溶氧量變化情形。(資料來源：環保署 2002.11)	1-5
圖 1.3	臨海橋與前鎮橋兩個水質監測點 pH 值變化情形。(資料來源：環保署 2002.11)	1-6
圖 1.4	臨海橋與前鎮橋兩個水質監測點懸浮固體量變化情形。(資料來源：環保署 2002.11)	1-6
圖 2.1	四個層次之河川輸沙層結構.....	2-2
圖 3.1	高雄港港池剖面流觀測站位置圖.....	3-3
圖 3.2	高雄港港池剖面流觀測站位置圖.....	3-4
圖 3.3	測點 A 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-10
圖 3.4	測點 A 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-11
圖 3.5	測點 A 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-12
圖 3.6	測點 B 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-13
圖 3.7	測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-14
圖 3.8	測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-15
圖 3.9	測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-16
圖 3.10	測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-17
圖 3.11	測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-18

圖 3.12	測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-19
圖 3.13	測點 D 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-20
圖 3.14	測點 D 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-21
圖 3.15	測點 E 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-22
圖 3.16	測點 E 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-23
圖 3.17	測點 F 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-24
圖 3.18	測點 G 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-25
圖 3.19	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-26
圖 3.20	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-27
圖 3.21	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-28
圖 3.22	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-29
圖 3.23	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-30
圖 3.24	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-31
圖 3.25	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-32
圖 3.26	測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-33
圖 3.27	測點 I 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-34
圖 3.28	測點 J 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-35
圖 3.29	測點 K 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-36
圖 3.30	測點 L 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-37
圖 3.31	測點 L 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測.....	3-38

圖 3.32	前鎮河測站之水位歷時變化.....	3-43
圖 3.33	前鎮河測站之懸浮質濃度歷時變化.....	3-43
圖 3.34	前鎮河測站之潮位歷時變化.....	3-44
圖 3.35	前鎮河測站底床附近之懸浮質濃度變化.....	3-44
圖 3.36	前鎮河測站底床上 2 米處流速歷時變化.....	3-45
圖 3.37	前鎮河測站底床上 2 米處流向歷時變化.....	3-45
圖 3.38	前鎮河測站之鹽度歷時變化.....	3-46
圖 3.39	前鎮河測站之水溫歷時變化.....	3-46
圖 3.40	前鎮河測站底床上 2 米處流速歷時變化.....	3-50
圖 4.1	高雄港港池底泥測站位置及軟泥層厚度(a).....	4-3
圖 4.2	高雄港港池底泥測站位置及軟泥層厚度(b).....	4-4
圖 5.1	高雄港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖.....	5-4
圖 5.2	2002 年 11 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-5
圖 5.3	2002 年 12 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-6
圖 5.4	2003 年 02 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-7
圖 5.5	2003 年 03 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-8
圖 5.6	2003 年 04 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-9
圖 5.7	2003 年 05 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-10
圖 5.8	2003 年 06 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-11
圖 5.9	2003 年 07 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-12

圖 5.10	2003 年 08 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-13
圖 5.11	2003 年 09 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-14
圖 5.12	2003 年 10 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-15
圖 5.13	2003 年 11 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-16
圖 5.14	2003 年 12 月高雄港波、流、潮、風逐時歷線圖.....	5-17
圖 5.15	2002 年 11 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-18
圖 5.16	2002 年 12 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-18
圖 5.17	2003 年 2 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-19
圖 5.18	2003 年 3 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-19
圖 5.19	2003 年 4 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-19
圖 5.20	2003 年 5 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-20
圖 5.21	2003 年 6 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-20
圖 5.22	2003 年 7 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-20
圖 5.23	2003 年 8 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-20
圖 5.24	2003 年 9 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-21
圖 5.25	2003 年 10 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-21
圖 5.26	2003 年 11 月高雄港測站 1 波浪玫瑰圖.....	5-21
圖 5.27	2002 年 11 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-22
圖 5.28	2002 年 12 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-22
圖 5.29	2003 年 2 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-23

圖 5.30	2003 年 3 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-23
圖 5.31	2003 年 4 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-23
圖 5.32	2003 年 5 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-24
圖 5.33	2003 年 6 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-24
圖 5.34	2003 年 7 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-24
圖 5.35	2003 年 8 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-24
圖 5.36	2003 年 9 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-25
圖 5.37	2003 年 10 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-25
圖 5.38	2003 年 11 月高雄港測站 1 海流玫瑰圖.....	5-25
圖 5.39	2003 年 6 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-26
圖 5.40	2003 年 7 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-26
圖 5.41	2003 年 8 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-26
圖 5.42	2003 年 9 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-26
圖 5.43	2003 年 10 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-27
圖 5.44	2003 年 11 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-27
圖 5.45	2003 年 12 月高雄港測站 1 風玫瑰圖.....	5-27

照片目錄

照片 1.1	92 年 8 月 7 日於鹽水溪上游採集底泥情形.....	1-8
照片 2.1	第五船渠入海口處河水污黑情形.....	2-6
照片 2.2	鹽水溪下游河床淤泥累積情形.....	2-6
照片 3.1	剖面流觀測使用之海流儀、濁度計及鹽溫計.....	3-1
照片 3.2	在航道中央利用繫船浮筒進行剖面流場觀測.....	3-2
照片 3.3	前鎮河河口安裝儀器進行現場觀測作業用之水泥柱..	3-40
照片 3.4	安裝於前鎮河河口水泥柱上之現場觀測用儀器.....	3-40
照片 4.1	量測軟泥層厚度用之方頭探棒.....	4-2
照片 4.2	潛水人員探測完成後以米尺量取探棒之測泥厚度.....	4-2
照片 4.3	潛水人員以壓克力管鑽採底泥情形(a).....	4-11
照片 4.4	潛水人員以壓克力管鑽採底泥情形(b).....	4-11

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表，如表 1.1，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。

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

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。

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。

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(aggregates),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)。

1.3 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。

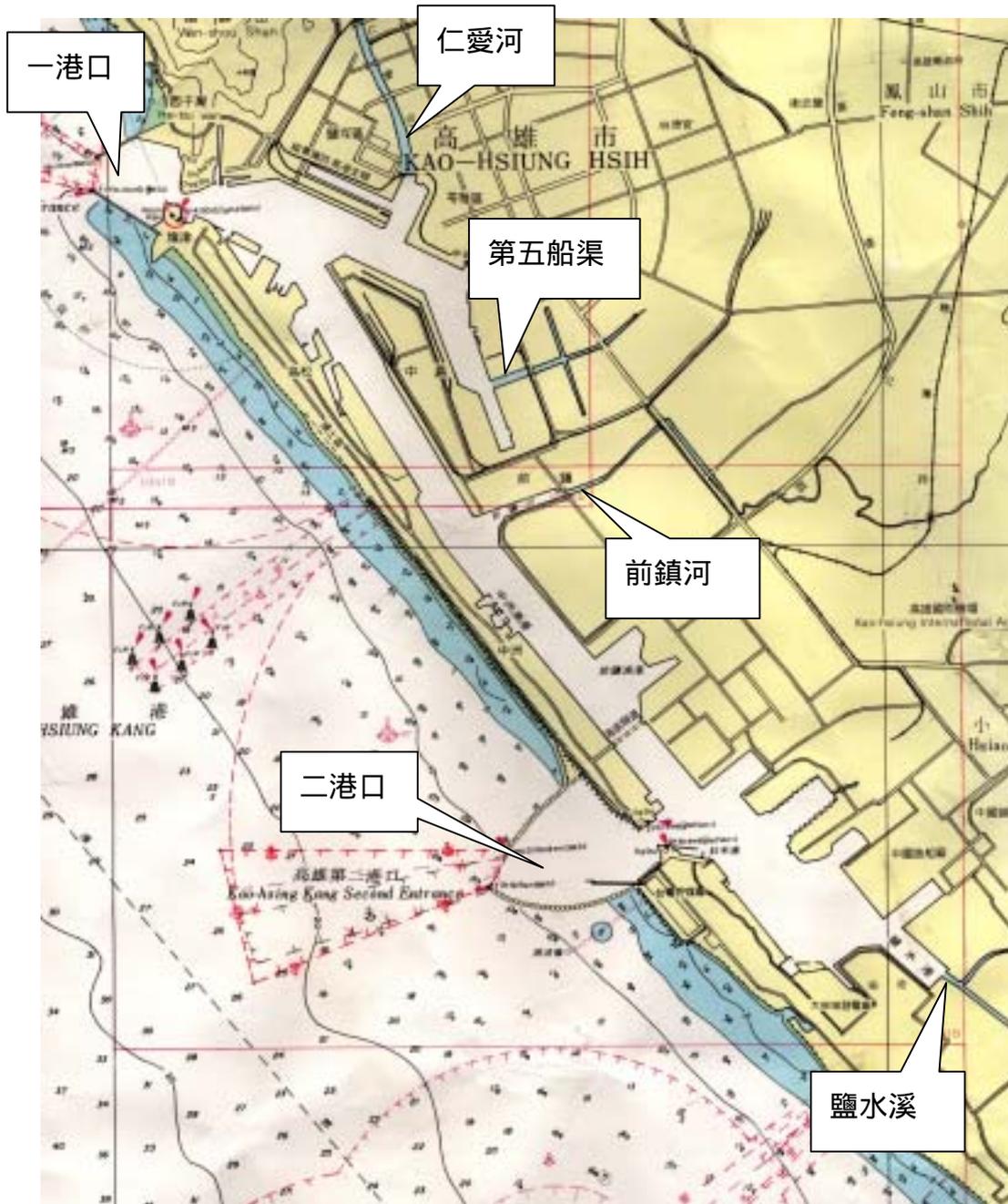


圖 1.1 高雄港港池可能淤泥來源示意圖

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，示如圖 1.1，流域面積約 5400 公頃（高雄市下水道工程處，2001）。流域內共吸納七百餘家工廠廢污水及畜牧廢水（民眾日報 2000.3.24）。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。

如圖 1.2 至圖 1.4, 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。

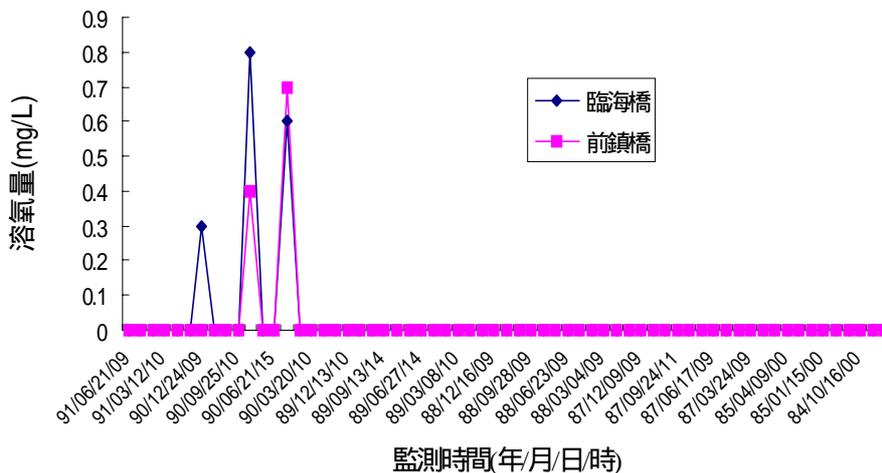


圖 1.2 臨海橋與前鎮橋兩個水質監測點水中溶氧量變化情形。
(資料來源：環保署 2002.11)

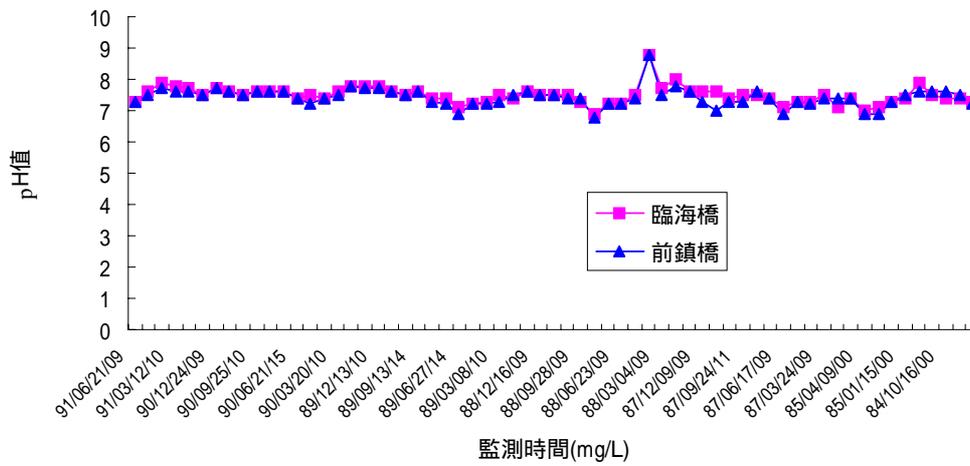


圖 1.3 臨海橋與前鎮橋兩個水質監測點 pH 值變化情形。
(資料來源：環保署 2002.11)

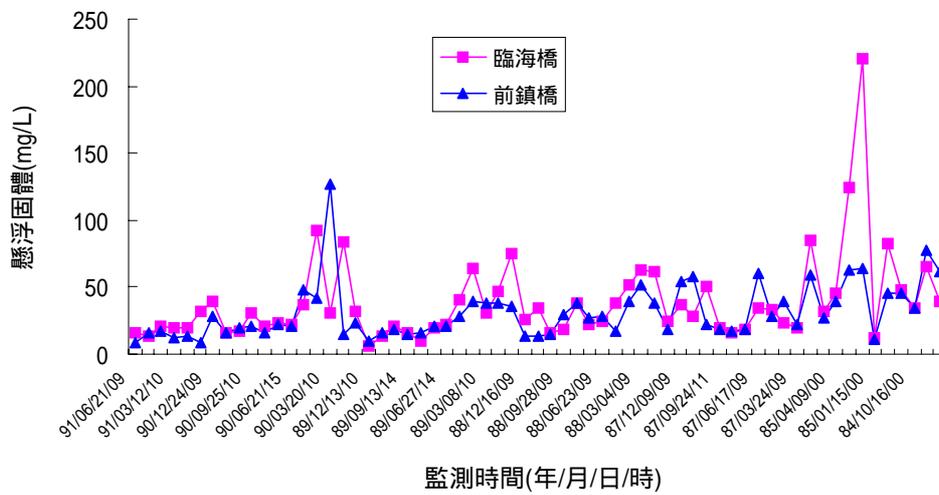


圖 1.4 臨海橋與前鎮橋兩個水質監測點懸浮固體量變化情形。
(資料來源：環保署 2002.11)

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，示如圖 1.1，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，示如圖 1.1，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，示如圖 1.1，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，照片 1.1 為工作人員在該處採集底泥情形。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。



照片 1.1 92 年 8 月 7 日於鹽水溪上游採集底泥情形

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，示如圖 1.1。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，示如圖 1.1。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 研究目的與方法

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。

本計畫研究方法擬以現場實測方式釐清高雄港港池之主要淤泥來源，估計可能之淤泥輸運量，並探討底泥之流動特性，研擬適當之防治對策，以降低未來港池內淤泥之沉積量。

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。本研究將逐步釐清各輸沙來源之輸沙機制及其可能輸沙量。

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，照片 2.1 及 2.2 分別為第五船渠入海口處之污黑河水及鹽水溪下游河床累積之淤泥。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/m²)。

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



照片 2.1 第五船渠入海口處河水污黑情形



照片 2.2 鹽水溪下游河床淤泥累積情形

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

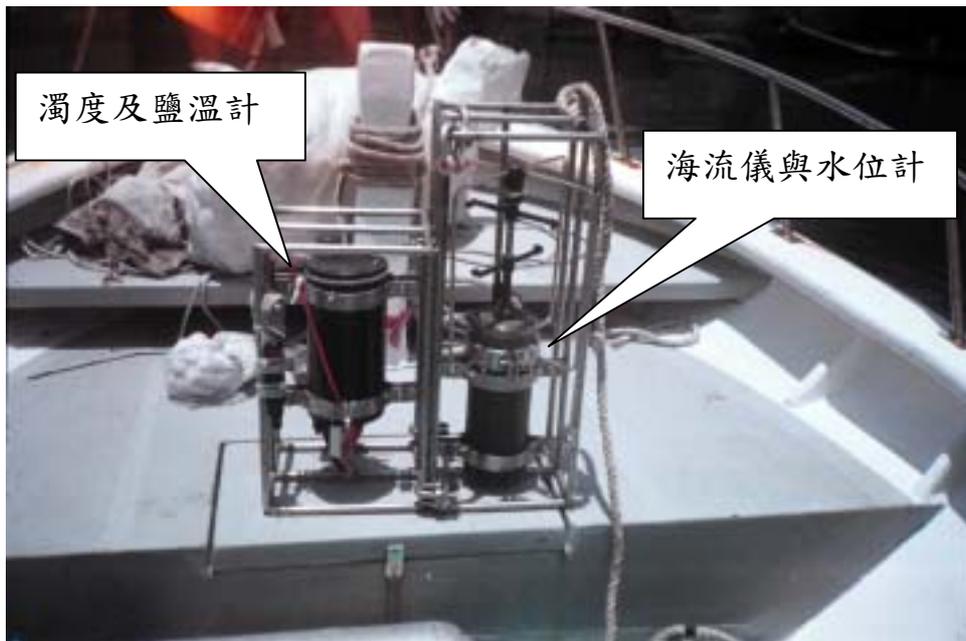
為 Von-Karman 常數(0.4)

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。

第三章 高雄港港池現場流況調查

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，由北至南還有愛河、第五船渠水道、前鎮運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，因此有必要針對港區內外的水流狀況進行瞭解。本研究在港池內各主要入水口及航道上進行垂直剖面流場、濁度、溫度及鹽度分佈之觀測，由於儀器數量有限，觀測時僅能在各測點以儀器垂降方式作短期觀測。使用儀器有 FSI 之三維超音波式潮波流儀、Coastal Leasing 之濁度計與 OBS 感測器及 FSI 的鹽溫計，儀器示如照片 3.1，取樣時間分別設定為 2Hz、2Hz 及 0.5Hz，以下分別說明各測點位置及剖面觀測結果。



照片 3.1 剖面流觀測使用之海流儀、濁度計及鹽溫計

3.1 高雄港港池之現場剖面流觀測

為瞭解高雄港港區之水流與懸浮質分佈狀況，本研究在高雄港區內共設立 11 個剖面流觀測站，限於儀器數量及時間只能分別在各個測站進行短期的剖面觀測，藉以瞭解港區各入水口之流況、鹽度、溫度與懸浮質濃度分佈，而且觀測時亦儘量包含漲潮及退潮時段。

3.1.1 剖面流觀測站位置說明

各測點之位置及說明示如圖 3.1、圖 3.2 及表 3.1。在船隻出入繁忙的港區航道上進行現場觀測作業時，為避免危險，工作船有時必須選擇航道中央的繫船浮筒或浮燈標作為觀測點，如照片 3.2。



照片 3.2 在航道中央利用繫船浮筒進行剖面流場觀測

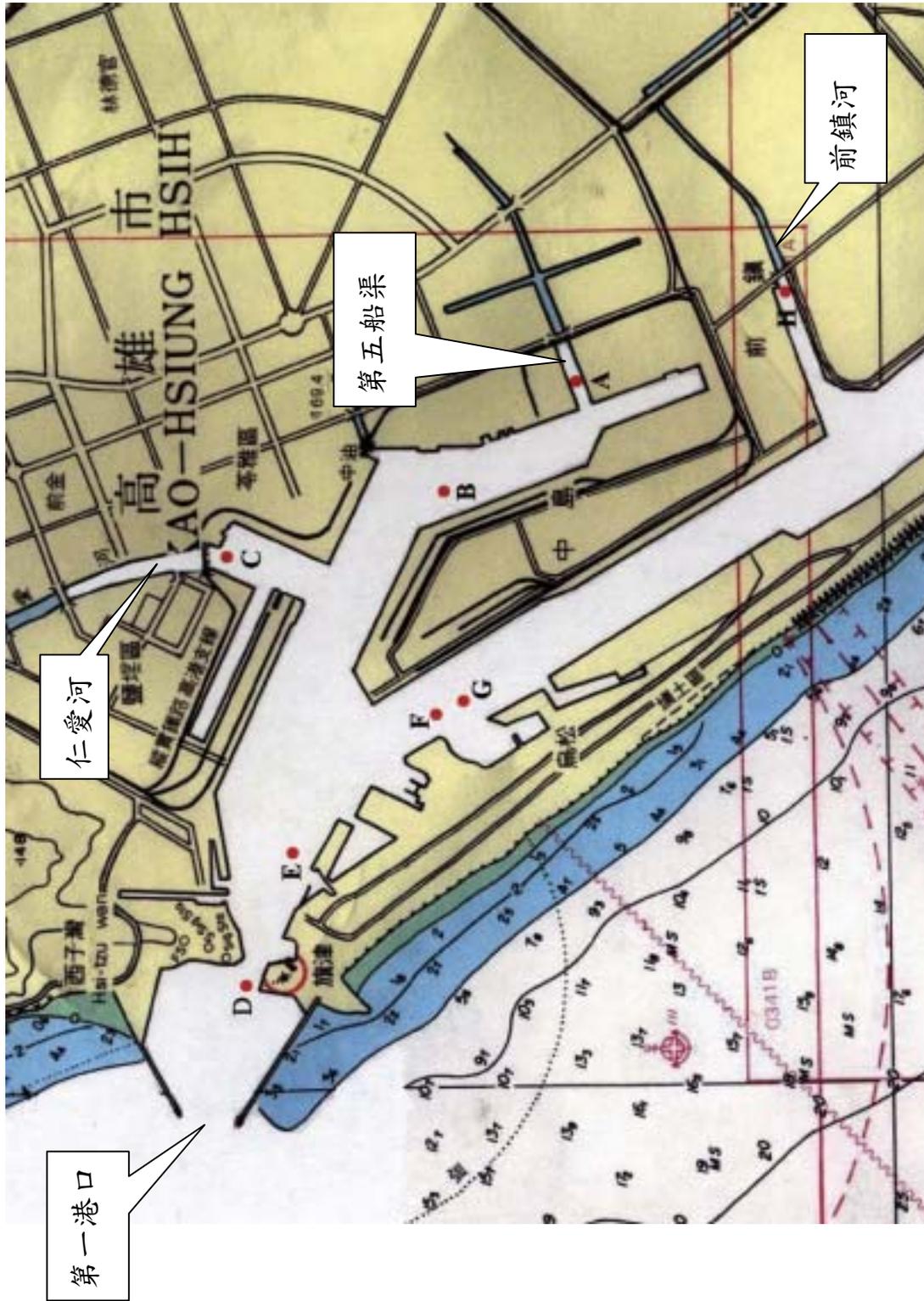


圖 3.1 高雄港池剖面流觀測站位置圖

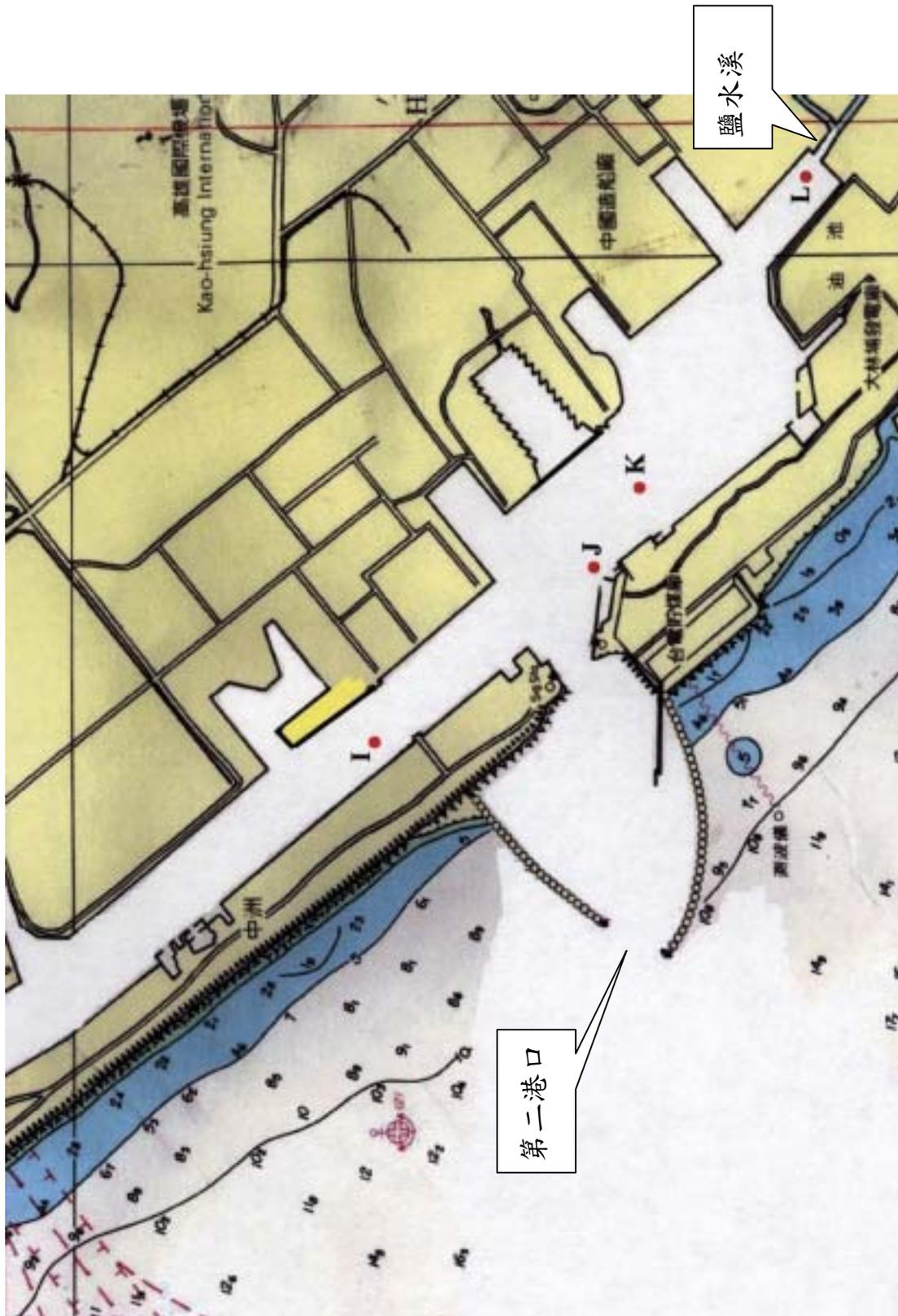


圖 3.2 高雄港港池剖面流觀測站位置圖

表 3.1 高雄港內剖面流觀測站經緯度及其位置說明

測 站	經 緯 度	位 置 說 明	備 註
A	N 22 36.004' E 120 17.553'	港區東側航道之第五船渠水道內，水深約 2.5 米	
B	N 22 36.388' E 120 17.252'	港區東側航道之第 32 號繫船浮筒附近，水深約 10 米	
C	N 22 37.234' E 120 16.947'	愛河水道內舊海上皇宮旁及鐵道橋附近，水深約 4 至 6 米	
D	N 22 37.118' E 120 15.415'	本測站位於高雄港一港口之狹窄出口隘道內，水深約 12 米	
E	N 22 36.946' E 120 15.987'	本測站位於高雄港一港口內之浮燈標附近，水深約 11 米	
F	N 22 36.266' E 120 16.490'	高雄港主航道內，幸福水泥碼頭前方第二個繫船浮筒附近，水深約 10 米	
G	N 22 36.281' E 120 16.913'	高雄港主航道第三個繫船浮筒附近，水深約 11 米	
H	N 22 35.218' E 120 18.413'	高雄港內前鎮河口處，水深約 4~5 米	
I	N 22 33.844' E 120 18.659'	高雄港主航道前鎮漁港前之第 62 號浮筒附近，水深約 12 米	

J	N 22 32.999' E 120 19.329'	二港口以南之 6 號浮燈標附近，水深約 13 米	
K	N 22 32.892' E 120 19.573'	二港口以南之 2 號浮燈標附近，水深約 14 米	
L	N 22 32.375' E 120 20.713'	高雄港區最南端之鹽水溪口，水深約 7~12 米，視測點位置而定	

3.1.2 現場剖面流觀測與分析

1. 測站 A

本測站位於第五船渠水道內，如圖 3.1 之測點 A 標示位置。由於該船渠水道平日極少船隻出入，水道極淺且淤泥厚。92 年 4 月至 6 月共進行三次剖面流觀測作業，如圖 3.3 至圖 3.5，分別在水道內三個不同地點進行施測，水深由 1.5 米至 3 米不等，其中包括漲潮及退潮時段。由圖顯示該渠道為感潮河段，晴日流速很小，大約只有 10cm/s。受日照影響，表層水溫較高並向下遞減。水面附近有一鹽度較低水層，厚約 50cm 至 1m。觀測進行時豔陽高照，水中懸浮質濃度不高。

2. 測站 B

本測站位於高雄港東航道第 32 號浮筒附近，如圖 3.1 之測點 B 標示位置。進行剖面流觀測時正值退潮時段，表層流流向約 300°，潮港外方向流去。有趣的是，由水面往下至 10 米深水底，流向竟作了 360° 旋轉，如圖 3.6，最大流速發生在水面下約 3 米位置。由水面至 6 米深為主要流層，流向約 270° 左右。因強烈日照致水面水溫較高並向下遞減；整體水層鹽度高而濁度低，上下均勻。

3. 測站 C

本測站位於愛河水道內舊海上皇宮旁及鐵道橋附近，如圖 3.1 之

測點 C 標示位置。由於愛河為排水進入高雄港區的主要運河之一，雖然已經過多年整治，其淤泥與污水排放仍須注意監測。觀測地點水深約 4 至 6 米，愛河進入港區水道部份經實地量測仍有大量淤泥。92 年 4 月至 6 月共進行六次剖面流觀測，如圖 3.7 至圖 3.12，其中有三次漲潮時段及三次退潮時段，漲潮時流向往北，退潮時流向往南。但漲潮初受河川排水影響有時仍往南流，如圖 3.8；退潮底時受漲潮潮力作用可能形成上下分層之鹽楔現象，如圖 3.11。6 月份進行觀測時，底層似乎出現較大濃度懸浮質，是否表示愛河有時仍有部份懸浮顆粒輸入港區內，此則有待持續觀察與監測。

4. 測站 D

本測站位於高雄港一港口，如圖 3.1 之測點 D 標示位置。因水道狹窄流速較強，該航道船隻來往頻繁，研究船無法在此下錨作定點之剖面流觀測，只能以浮標拋放並將船隻逆流定位於固定浮標附近，再快速作完剖面流觀測後儘速離開。如此獲得流速可能較不正確，但對於其他參數如濁度、溫度及鹽度之水深剖面分佈則影響不大。圖 3.13 及圖 3.14 分別為漲潮與退潮時在測站 D 之觀測結果，以漲潮時外海進入港區的海水底層濁度及鹽度較高，可能也會帶來部份懸浮質。

5. 測站 E

本測站位於高雄港一港口內之浮燈標附近，如圖 3.2 之測點 E 標示位置。水深約 11 米，退潮流向大約為 270° 。92 年 6 月 19 日與 20 日各進行一次退潮段及漲潮段之剖面流觀測，如圖 3.15 及圖 3.16，流速約只有 10cm/s。可能受地形影響，漲潮時在港池內形成迴流，使該測點表層流流向約 240° 並向下逐漸轉為 60° 方向。水溫之剖面變化主要受日照影響，退潮時底層有較大之懸浮質濃度。

6. 測站 F

本測站位於高雄港主航道，幸福水泥碼頭前方第二個繫船浮筒附近，如圖 3.1 之測點 F 標示位置，水深約 10 米。退潮流流速約只有 10cm/s，如圖 3.17，底層懸浮質濃度及鹽度稍高，水溫受當時日照影響

由表層向下遞減。

7. 測站 G

本測站位於高雄港主航道第三個繫船浮筒附近，如圖 3.1 之測點 G 標示位置，水深約 11 米。漲潮時表層流流速約 20cm/s，流向約 260°，偏向西方，如圖 3.18，底層懸浮質濃度及鹽度均較高。

8. 測站 H

本測站位於高雄港內前鎮河口，如圖 3.1 之測點 H 標示位置，水深約 4~6 米。92 年 4 月~6 月共進行 5 次漲潮段及 3 次退潮段之剖面流觀測，如圖 3.19 至圖 3.26。觀測結果顯示水面附近常有約一米厚較高溫低鹽的流層，其出現應與感潮河川之鹽楔結構有關，表層附近有時會出現較強水流。平時懸浮質濃度不高，但有時也會出現較高濃度懸浮質，由於前鎮河為高雄港重要入流河川，有必要對其流量及含沙量作更詳盡的監測。

9. 測站 I

本測站位於高雄港主航道前鎮漁港前之第 62 號浮筒附近，如圖 3.2 之測點 I 標示位置，水深約 12 米。退潮時流速約 10cm/s，上層流向向北但下層流向則向西，似有分層流現象，如圖 3.27。懸浮質濃度不高，底層出現之較高濃度應為儀器觸底使底泥懸浮所造成。

10. 測站 J

本測站位於二港口之 6 號浮燈標附近，水深約 13 米，如圖 3.2 之測點 J 標示位置。漲潮時流速約 10cm/s，主要流向向西，可能也是受入口邊界區迴流影響。在 6 米水深內水溫及鹽度稍高，6~8 米間形成一斜溫層，如圖 3.28。

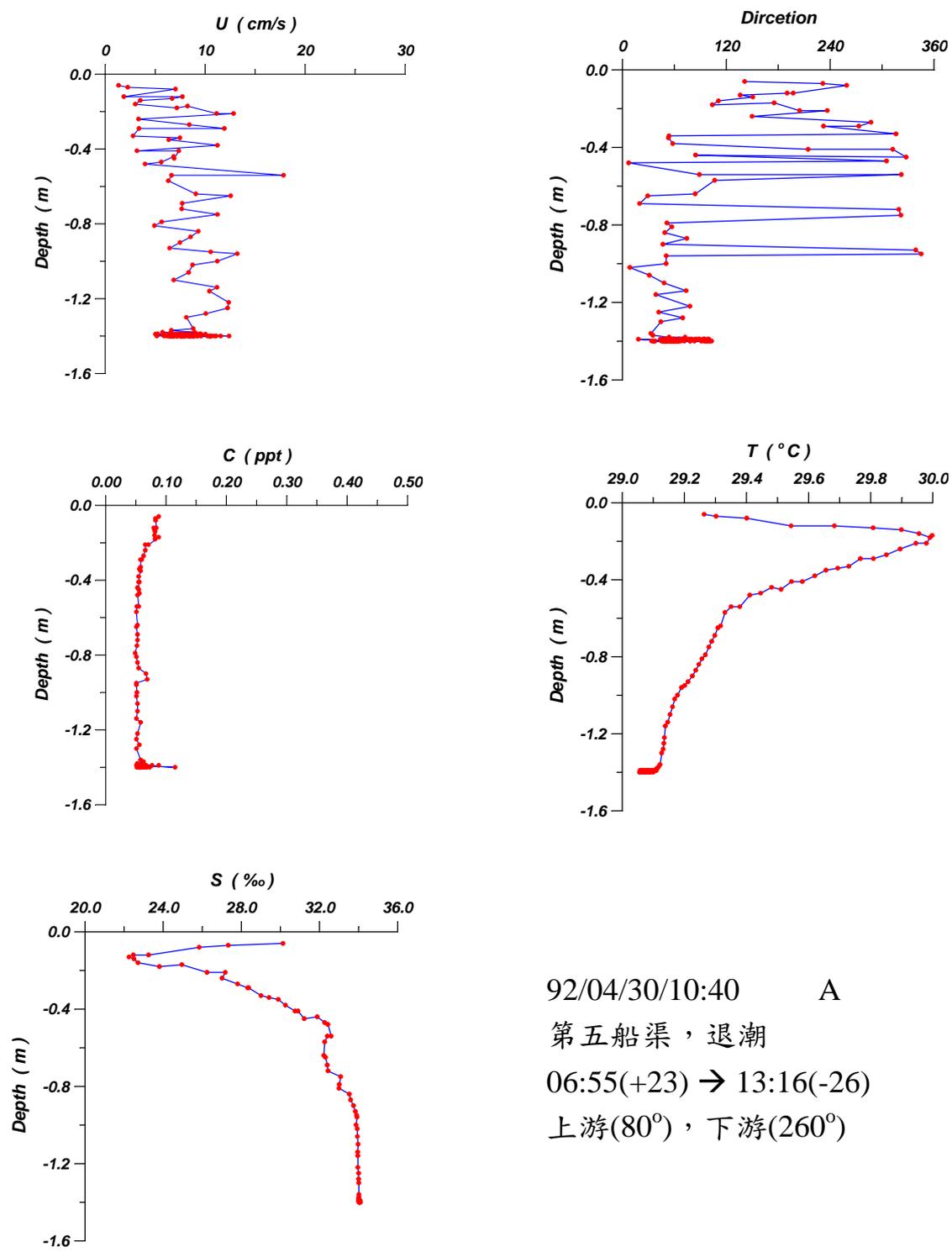
11. 測站 K

本測站位於二港口之 2 號浮燈標附近，水深約 14 米，如圖 3.2 之測點 K 標示位置。退潮時流速約 10cm/s，表層流向西，向下則以逆時鐘方向逐漸偏轉。水溫由上往下逐漸遞減，鹽度則有向下遞增現象，

底床附近懸浮質濃度稍高，如圖 3.29。

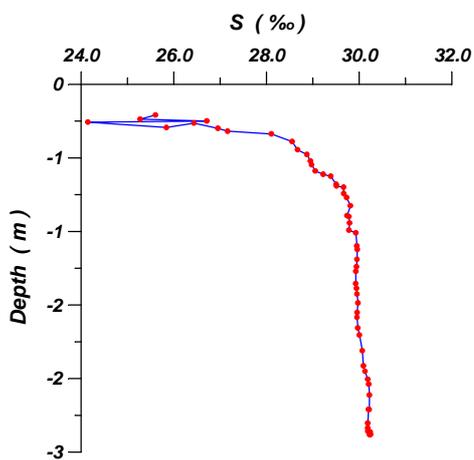
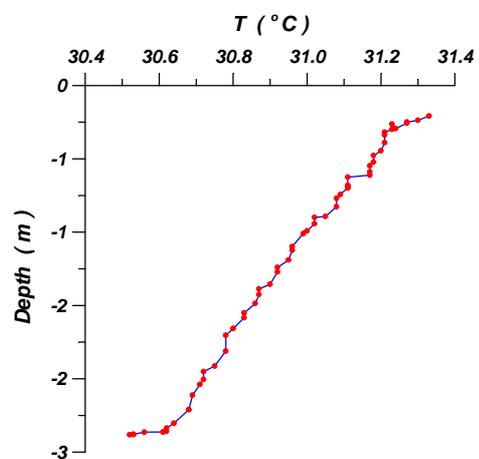
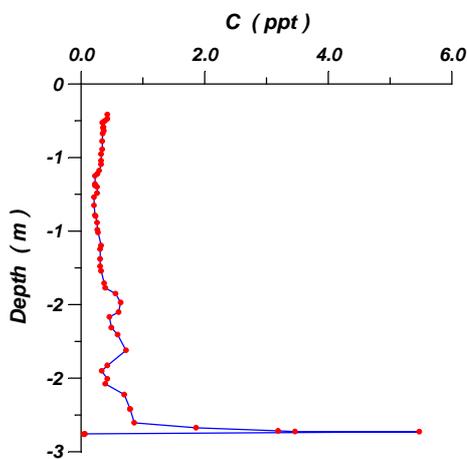
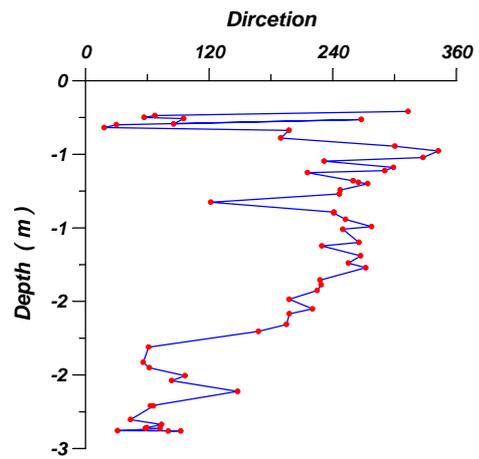
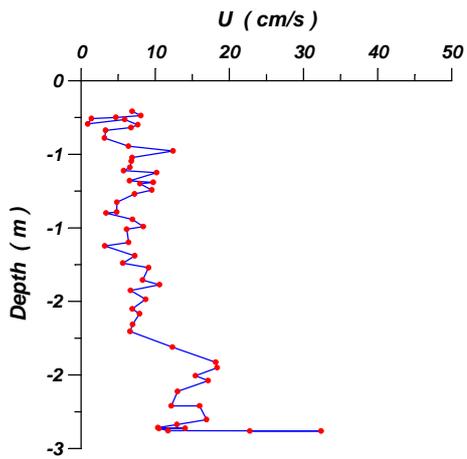
12. 測站 L

本測站位於高雄港區最南端之鹽水溪口，如圖 3.2 之測點 L 標示位置，水深約 7~12 米，視測點位置而定。92 年 5 月~6 月共進行 3 次漲潮段及 7 次退潮段之剖面流觀測，圖 3.30 與圖 3.31 分別為漲潮與退潮時之剖面觀測。觀測結果顯示水面附近受河川排水影響鹽度較低，水流不強約只有 10cm/s。平時懸浮質濃度不高，但底床附近有時會出現較高濃度懸浮質，由於鹽水溪也是高雄港主要入流河川之一，對其流量及輸沙量可能還需作進一步的監測。



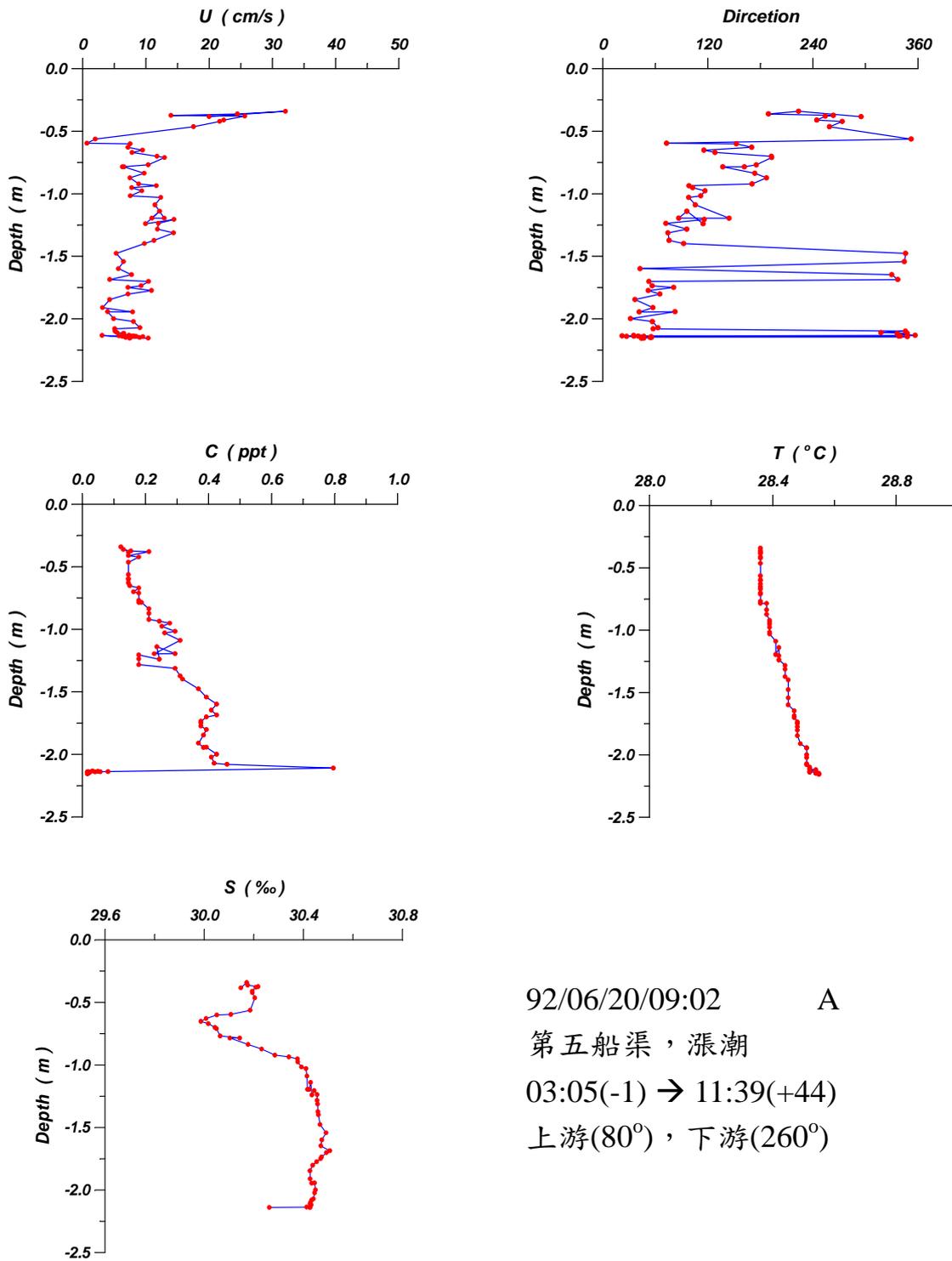
92/04/30/10:40 A
 第五船渠，退潮
 06:55(+23) → 13:16(-26)
 上游(80°)，下游(260°)

圖 3.3 測點 A 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



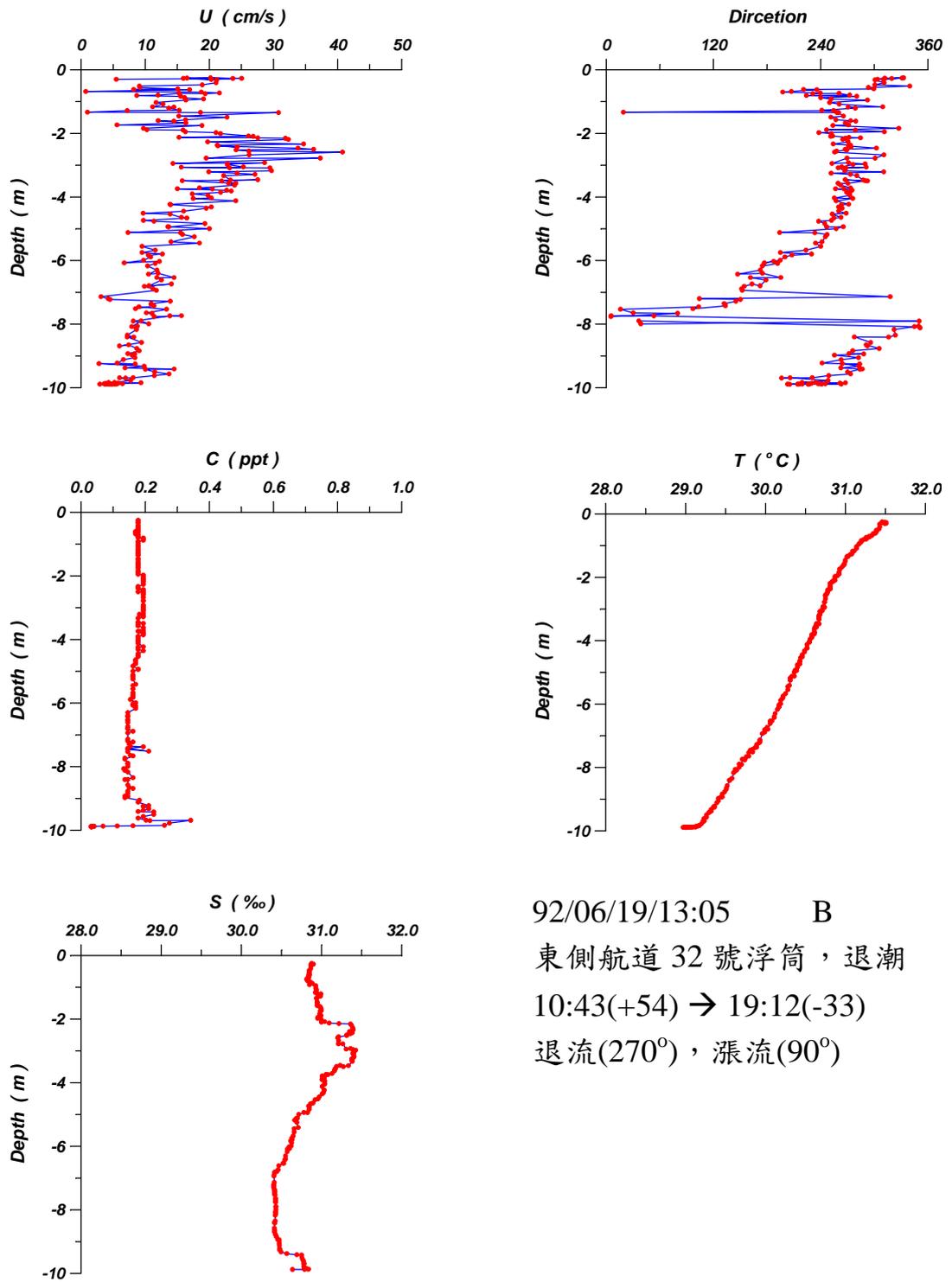
92/06/19/12:50 A
 第五船渠，退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 上游(80°)，下游(260°)

圖 3.4 測點 A 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



92/06/20/09:02 A
 第五船渠，漲潮
 03:05(-1) → 11:39(+44)
 上游(80°)，下游(260°)

圖 3.5 測點 A 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



92/06/19/13:05 B
 東側航道 32 號浮筒，退潮
 10:43(+54) \rightarrow 19:12(-33)
 退流(270°)，漲流(90°)

圖 3.6 測點 B 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測

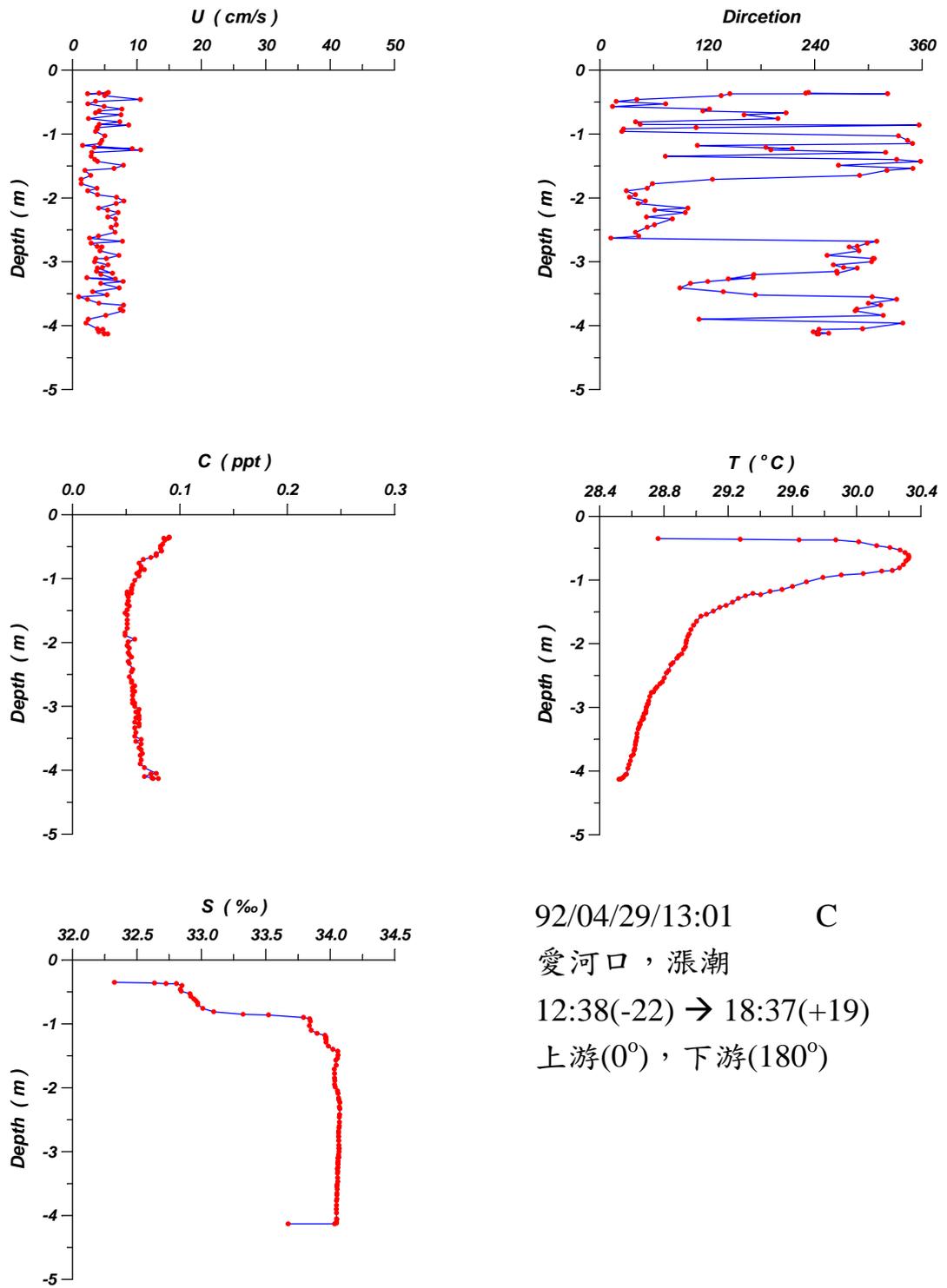
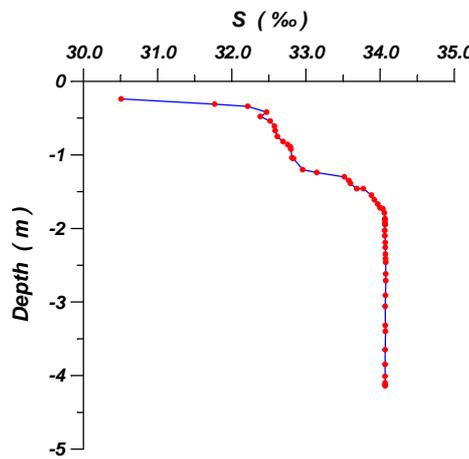
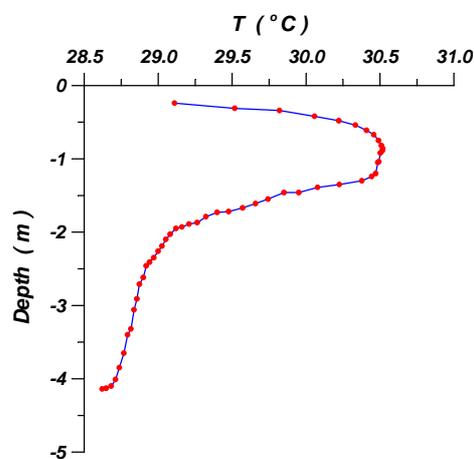
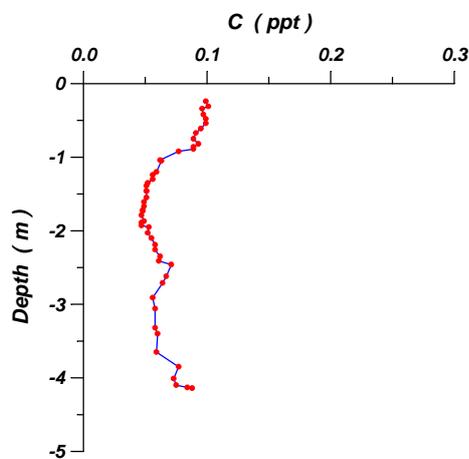
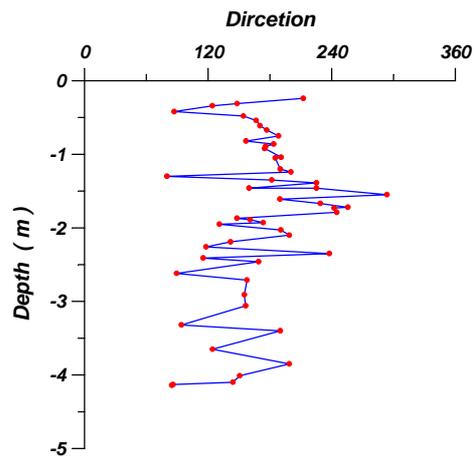
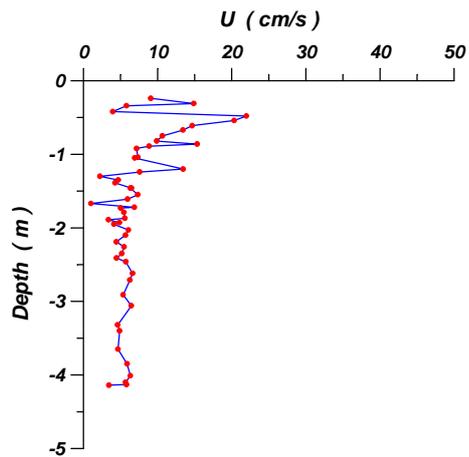
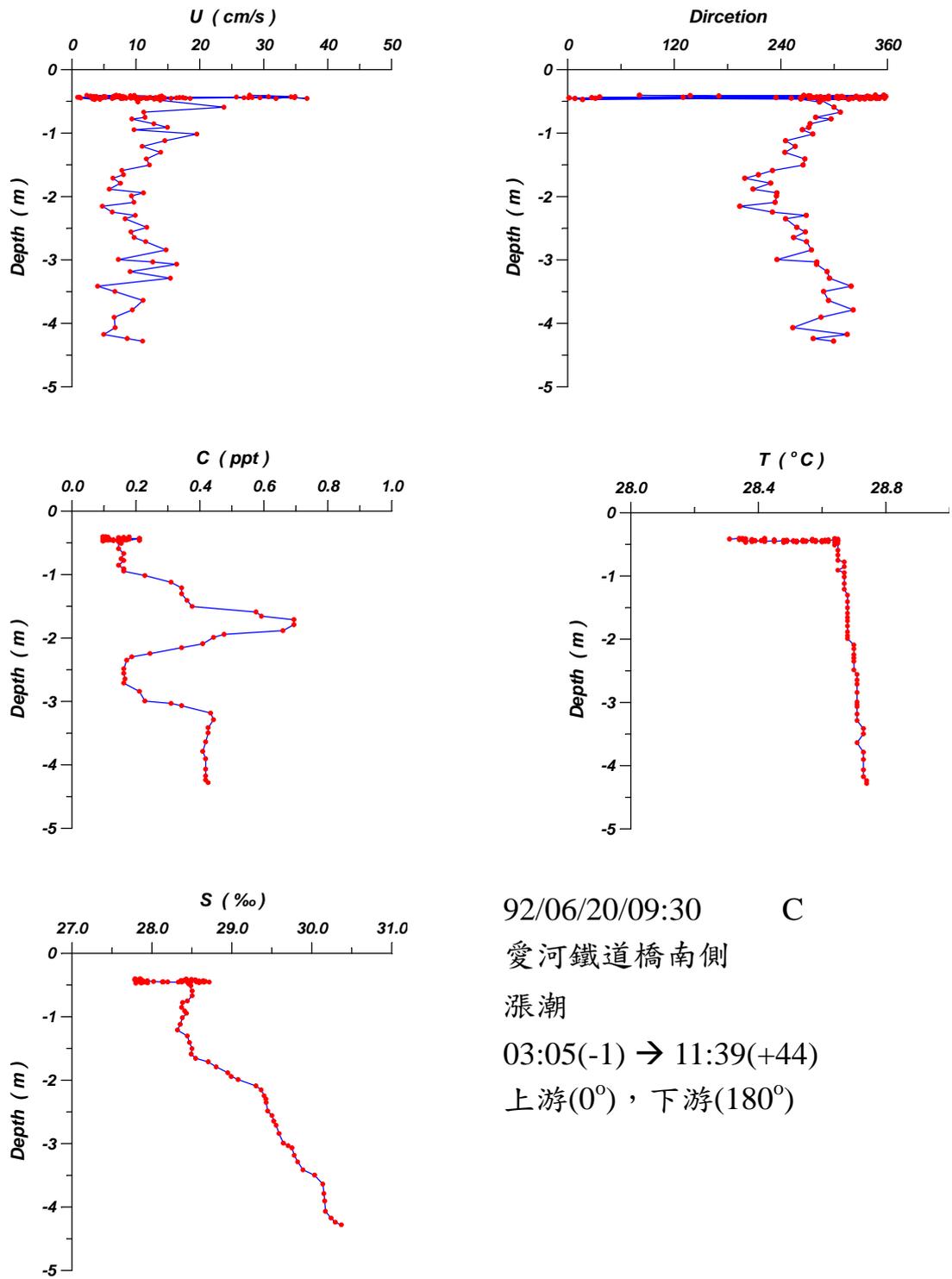


圖 3.7 測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



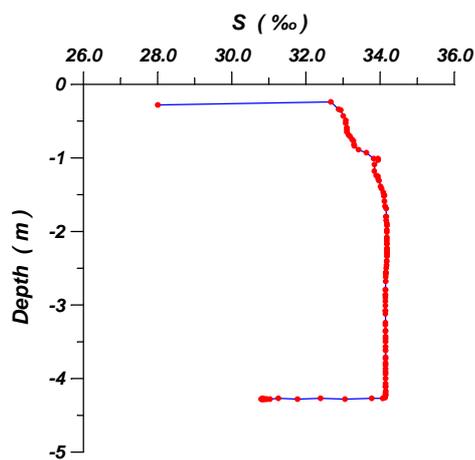
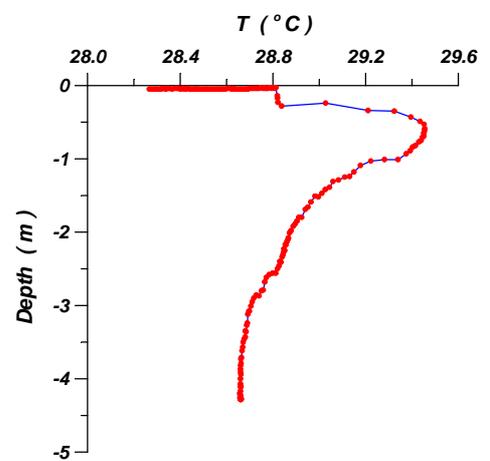
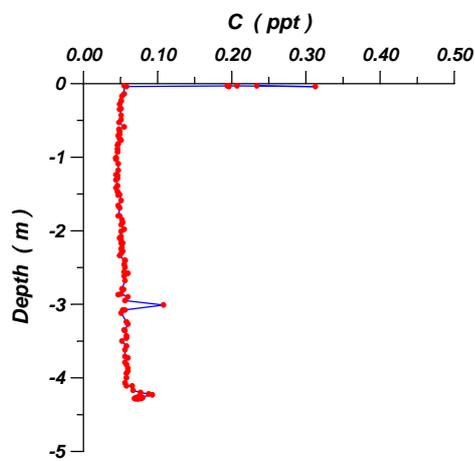
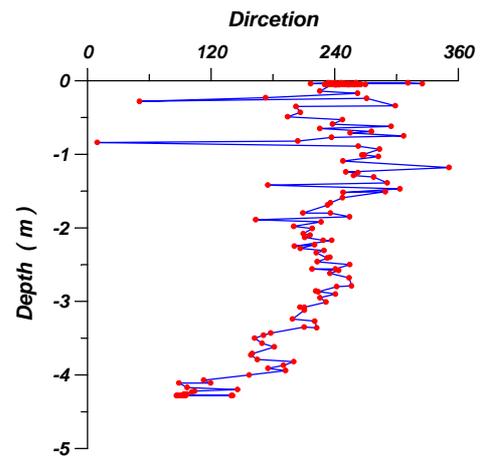
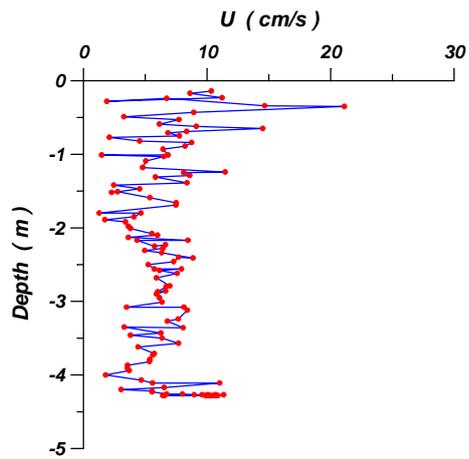
92/04/29/13:11 C
 愛河口鐵道橋北側
 漲潮初
 12:38(-22) → 18:37(+19)
 上游(0°), 下游(180°)

圖 3.8 測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



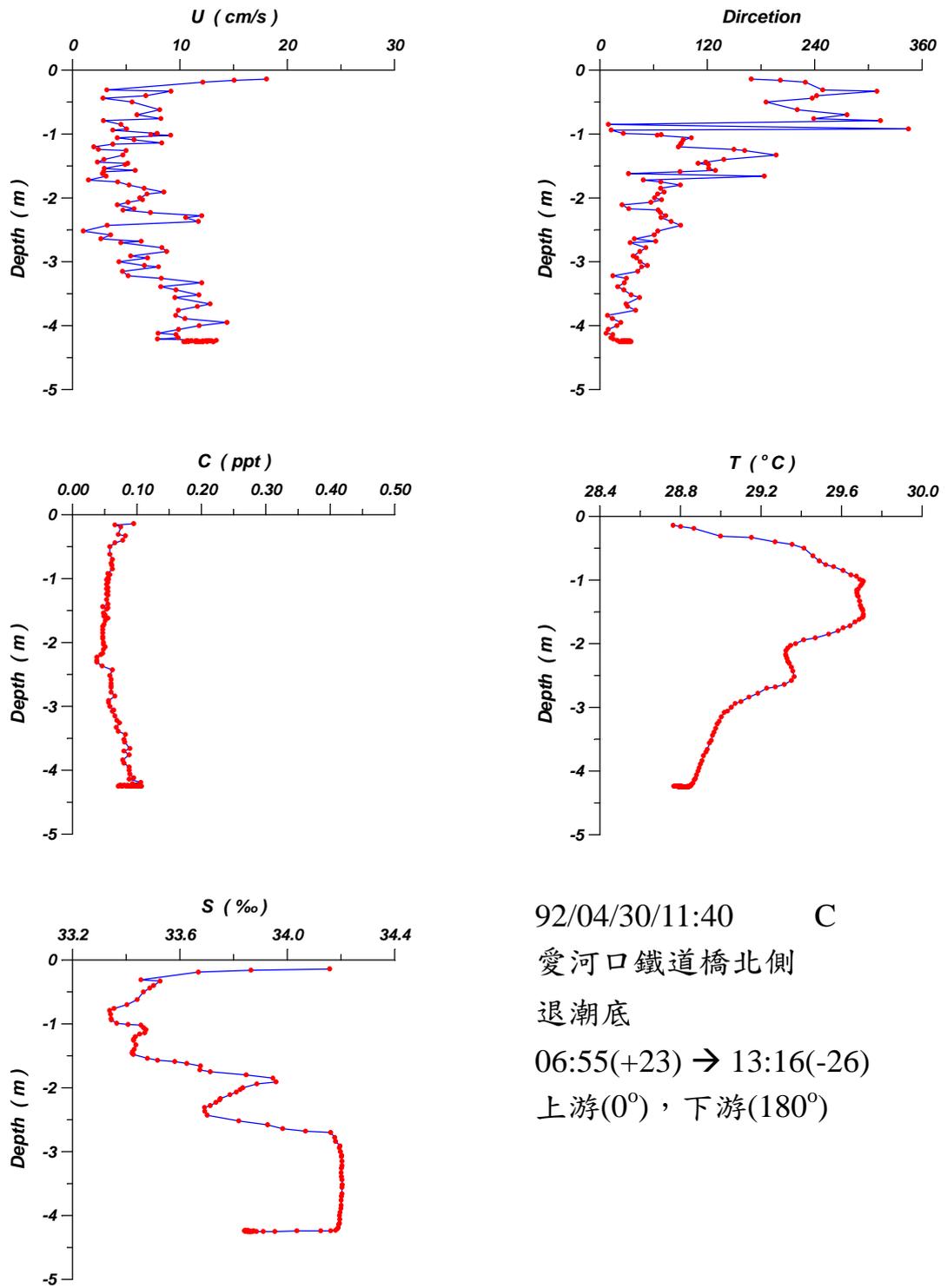
92/06/20/09:30 C
 愛河鐵道橋南側
 漲潮
 03:05(-1) → 11:39(+44)
 上游(0°), 下游(180°)

圖 3.9 測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



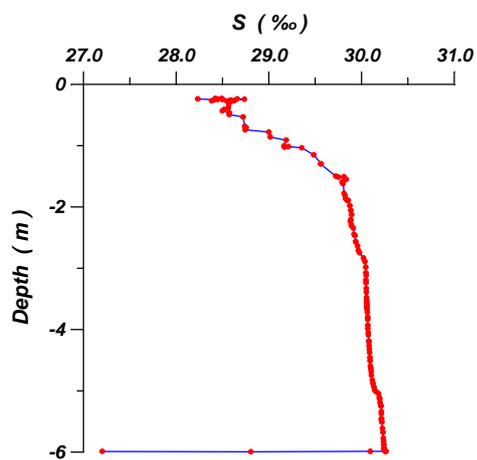
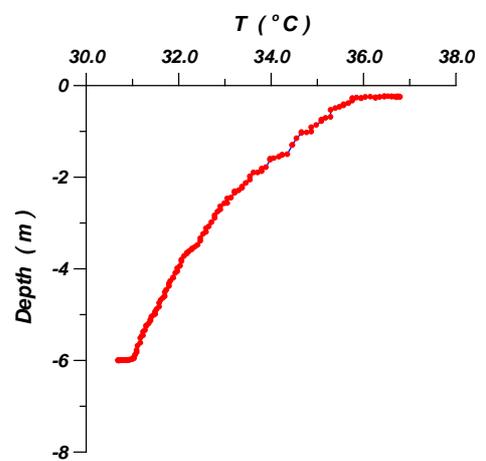
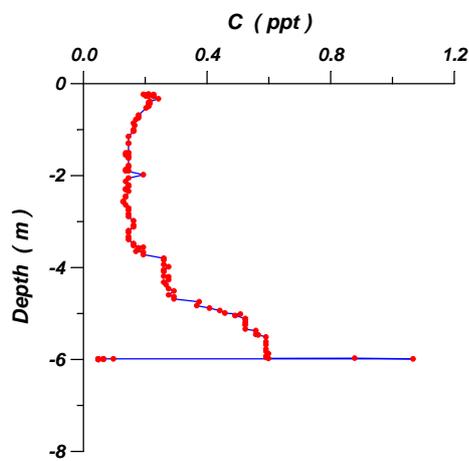
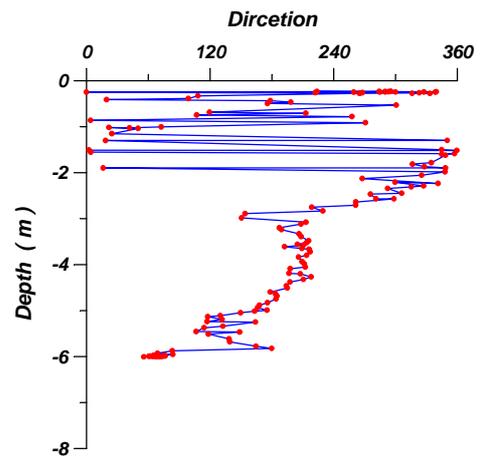
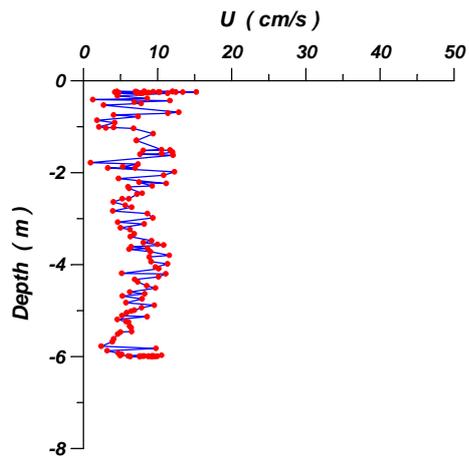
92/04/30/11:10 C
 愛河口鐵道橋北側
 退潮
 06:55(+23) → 13:16(-26)
 上游(0°), 下游(180°)

圖 3.10 測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



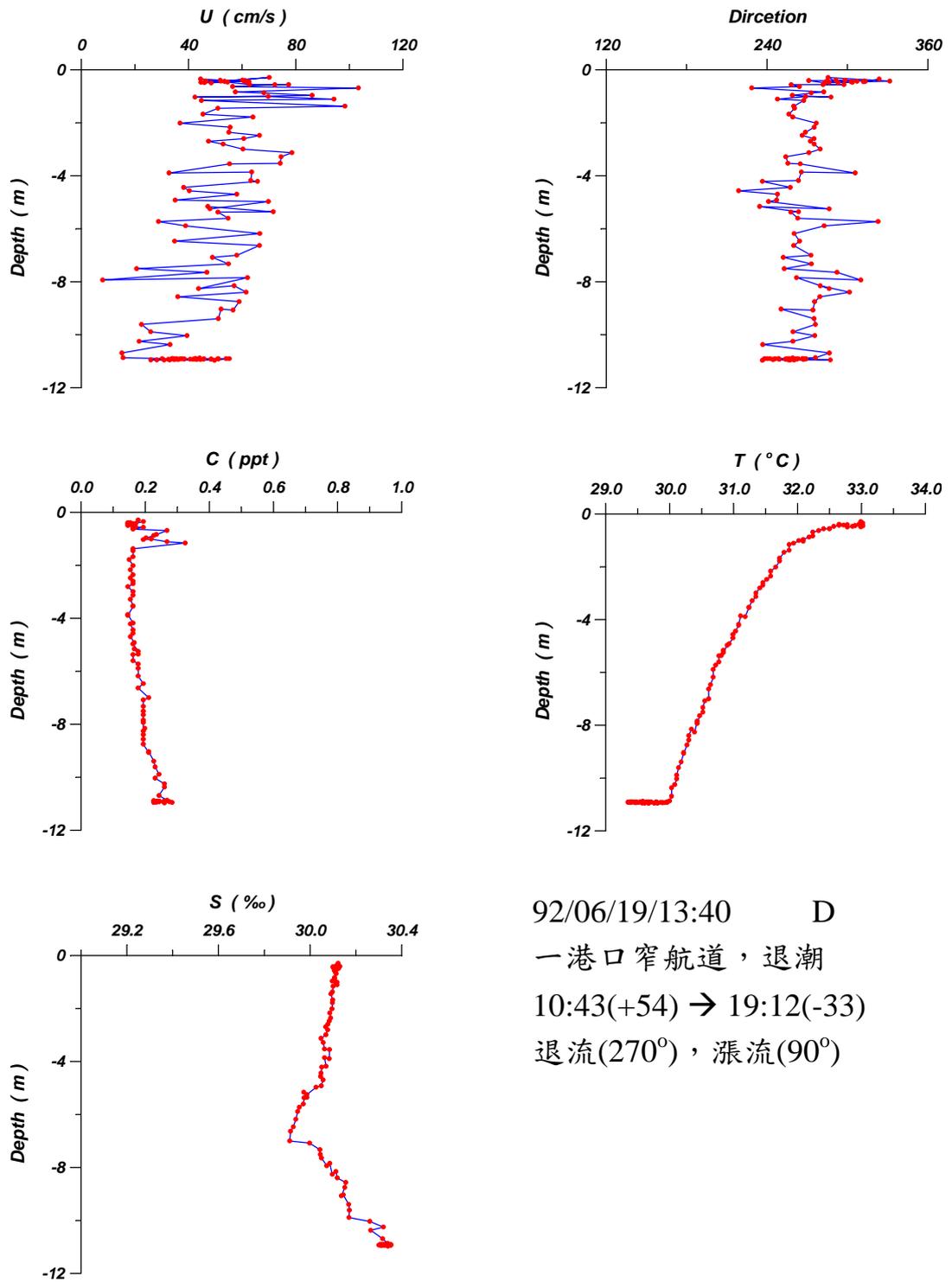
92/04/30/11:40 C
 愛河口鐵道橋北側
 退潮底
 06:55(+23) → 13:16(-26)
 上游(0°), 下游(180°)

圖 3.11 測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



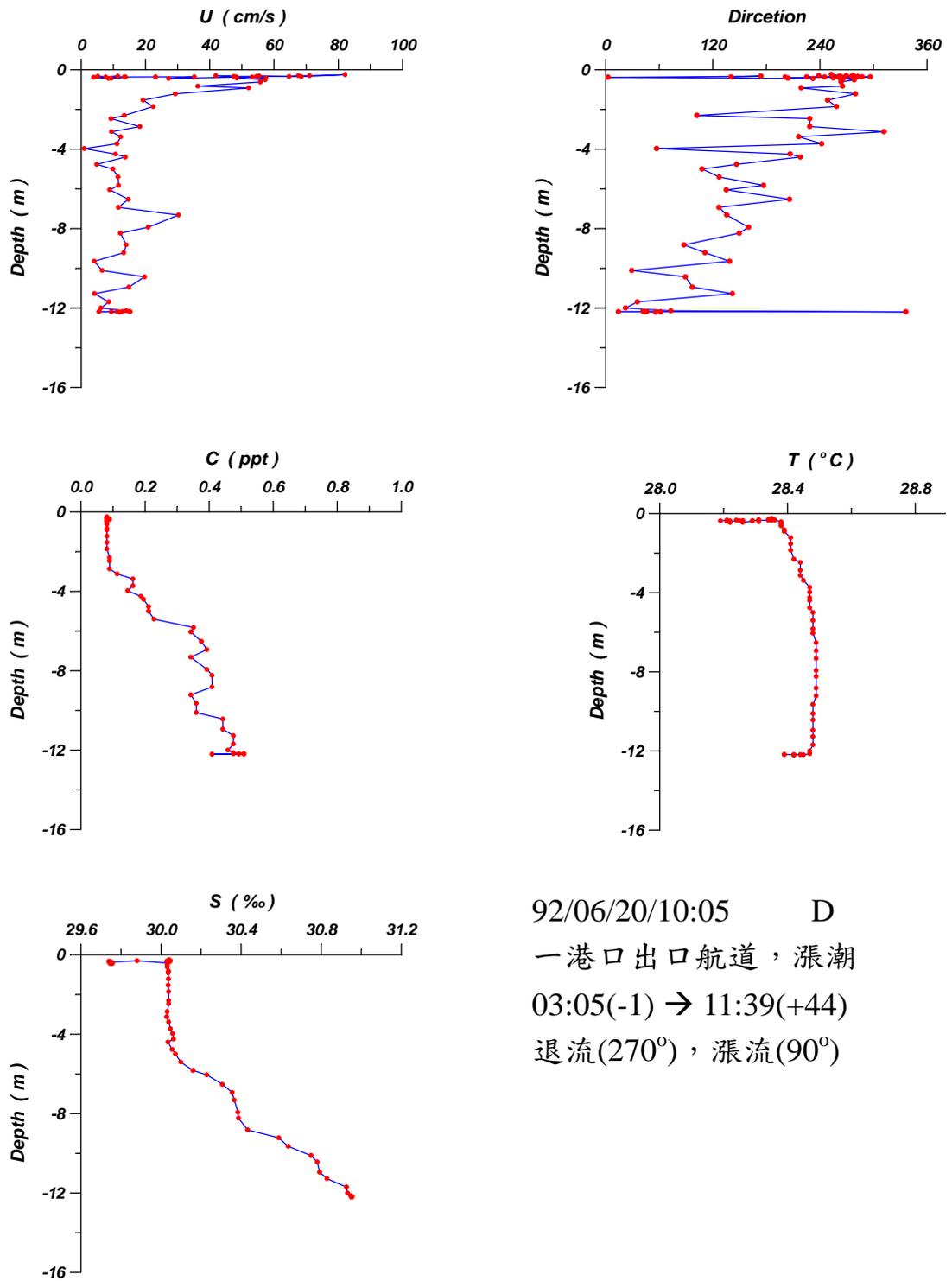
92/06/19/12:15 C
 愛河海上皇宮旁
 退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 上游(0°), 下游(180°)

圖 3.12 測點 C 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



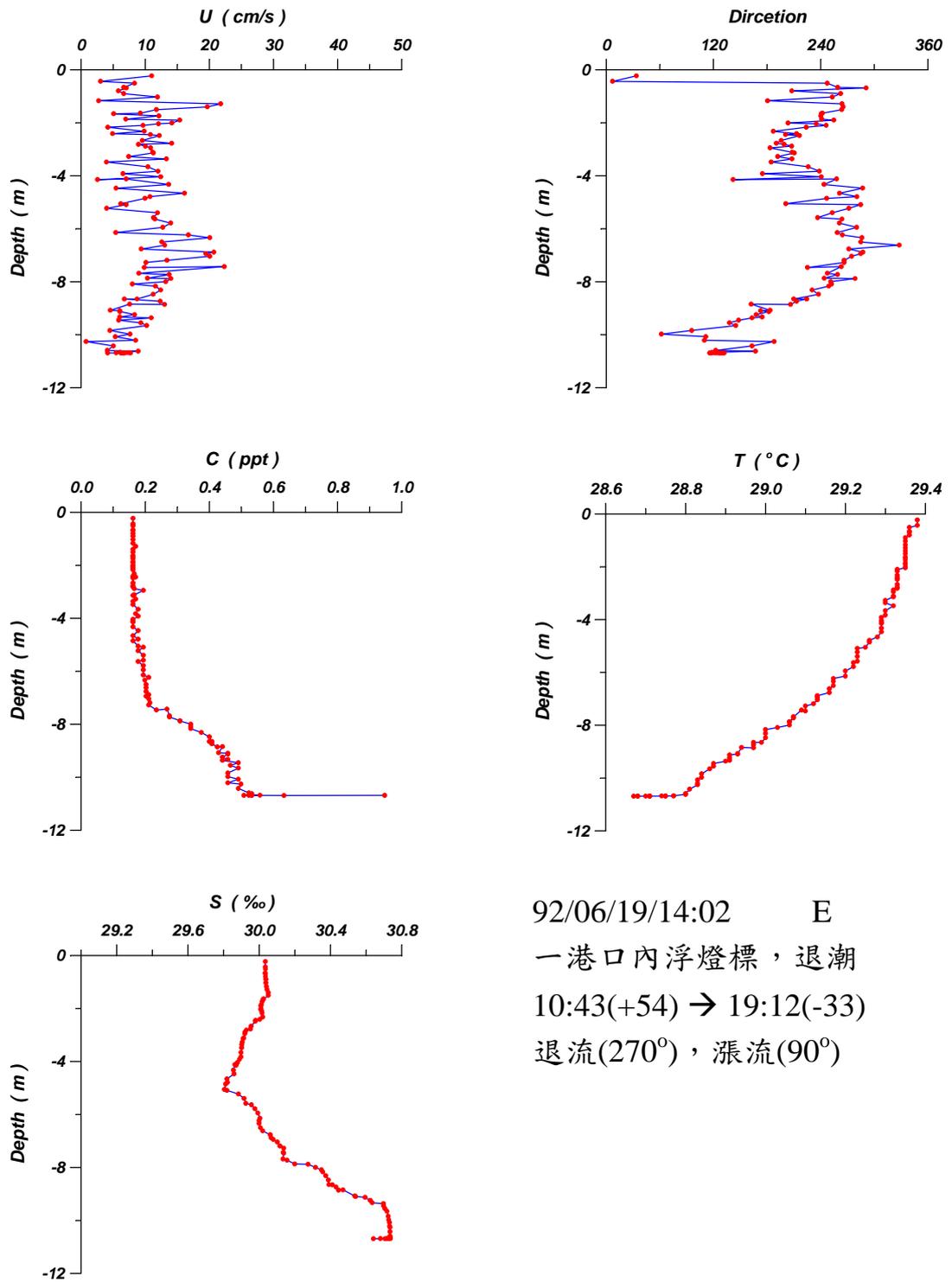
92/06/19/13:40 D
 一港口窄航道，退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 退流(270°)，漲流(90°)

圖 3.13 測點 D 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



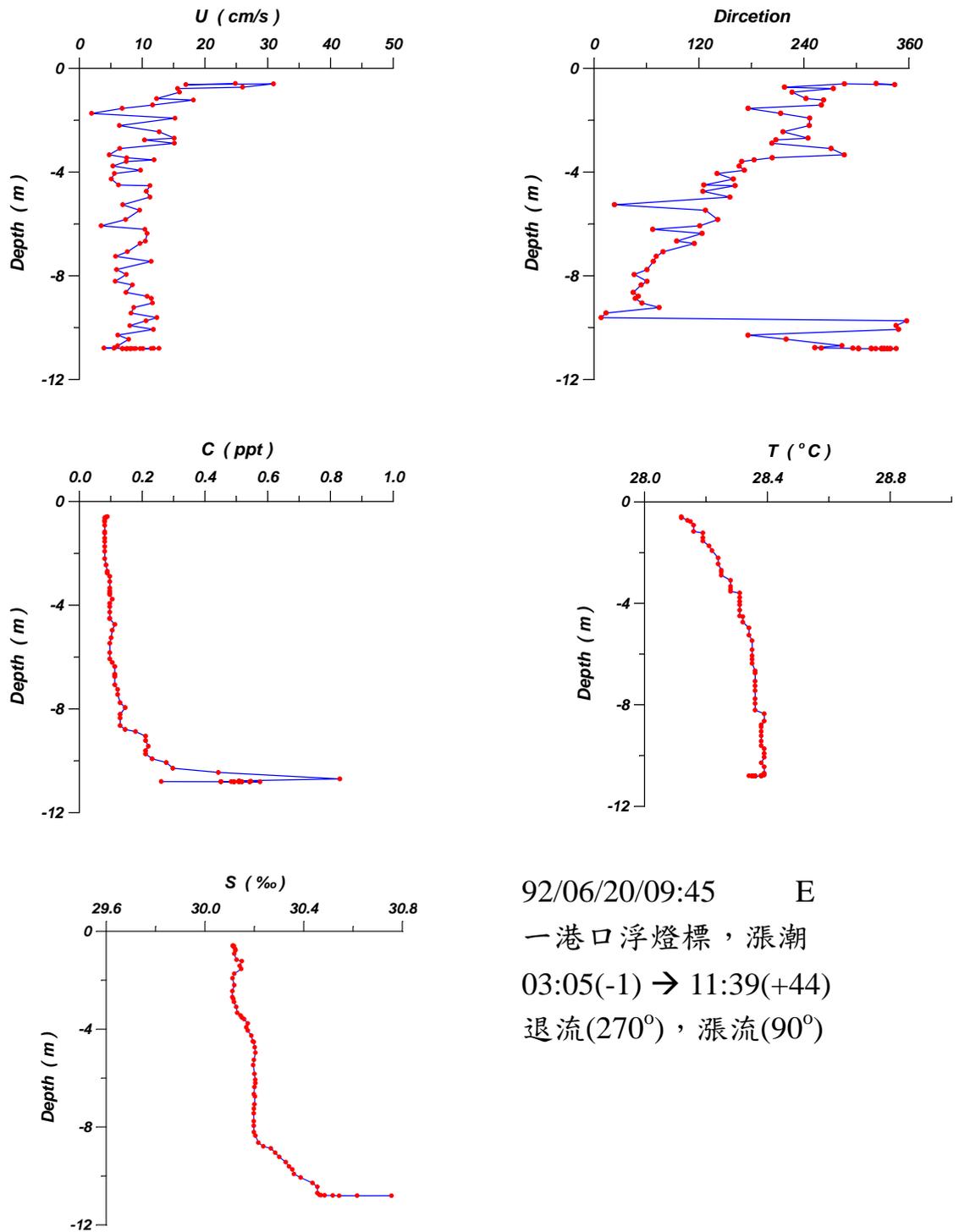
92/06/20/10:05 D
 一港口出口航道，漲潮
 03:05(-1) \rightarrow 11:39(+44)
 退流(270°)，漲流(90°)

圖 3.14 測點 D 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



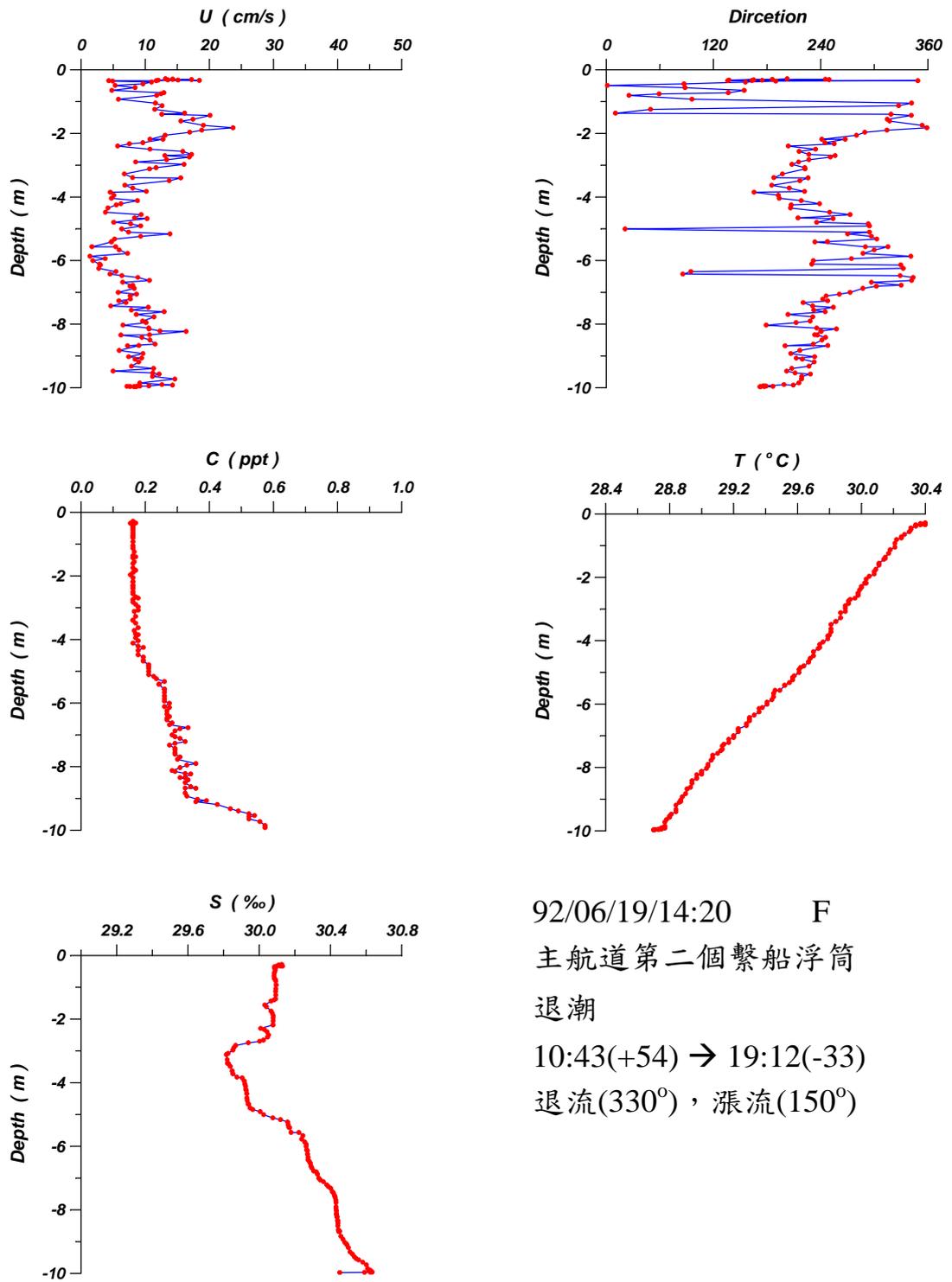
92/06/19/14:02 E
 一港口內浮燈標，退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 退流(270°)，漲流(90°)

圖 3.15 測點 E 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



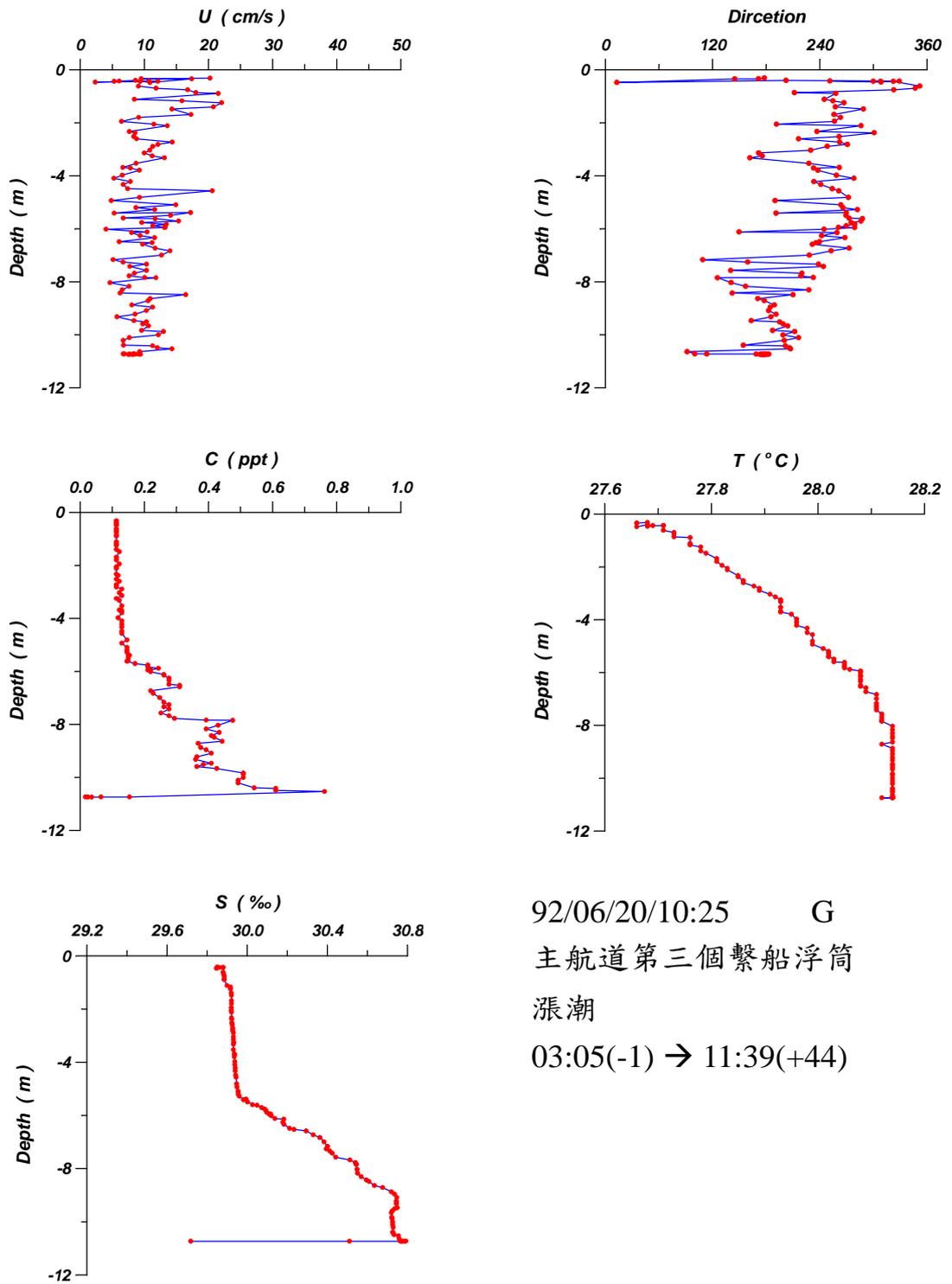
92/06/20/09:45 E
 一港口浮燈標，漲潮
 03:05(-1) \rightarrow 11:39(+44)
 退流(270°)，漲流(90°)

圖 3.16 測點 E 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



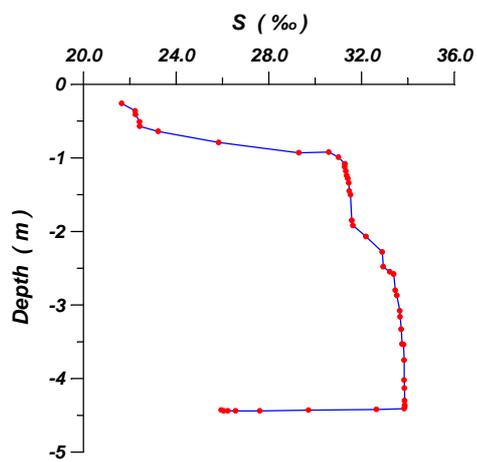
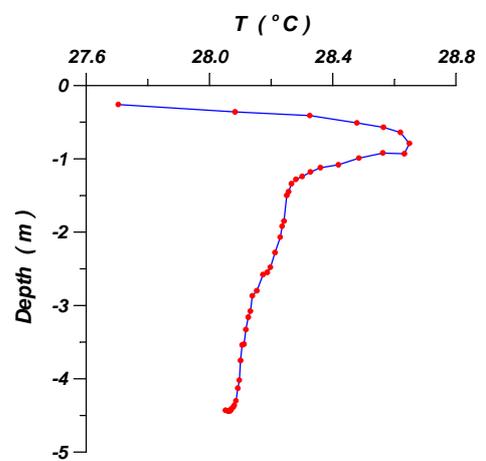
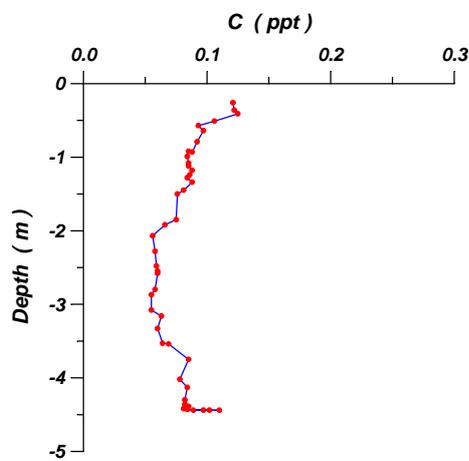
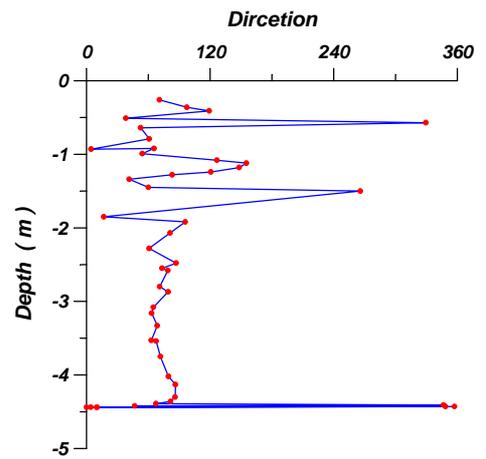
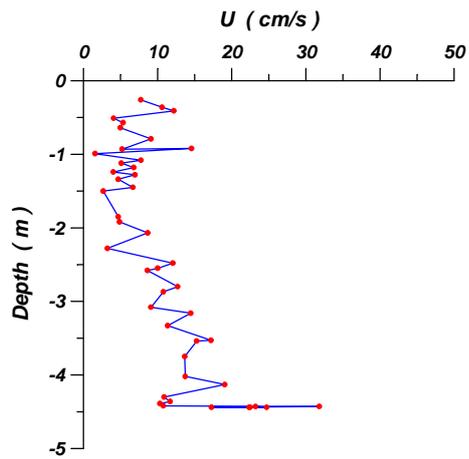
92/06/19/14:20 F
 主航道第二個繫船浮筒
 退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 退流(330°), 漲流(150°)

圖 3.17 測點 F 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



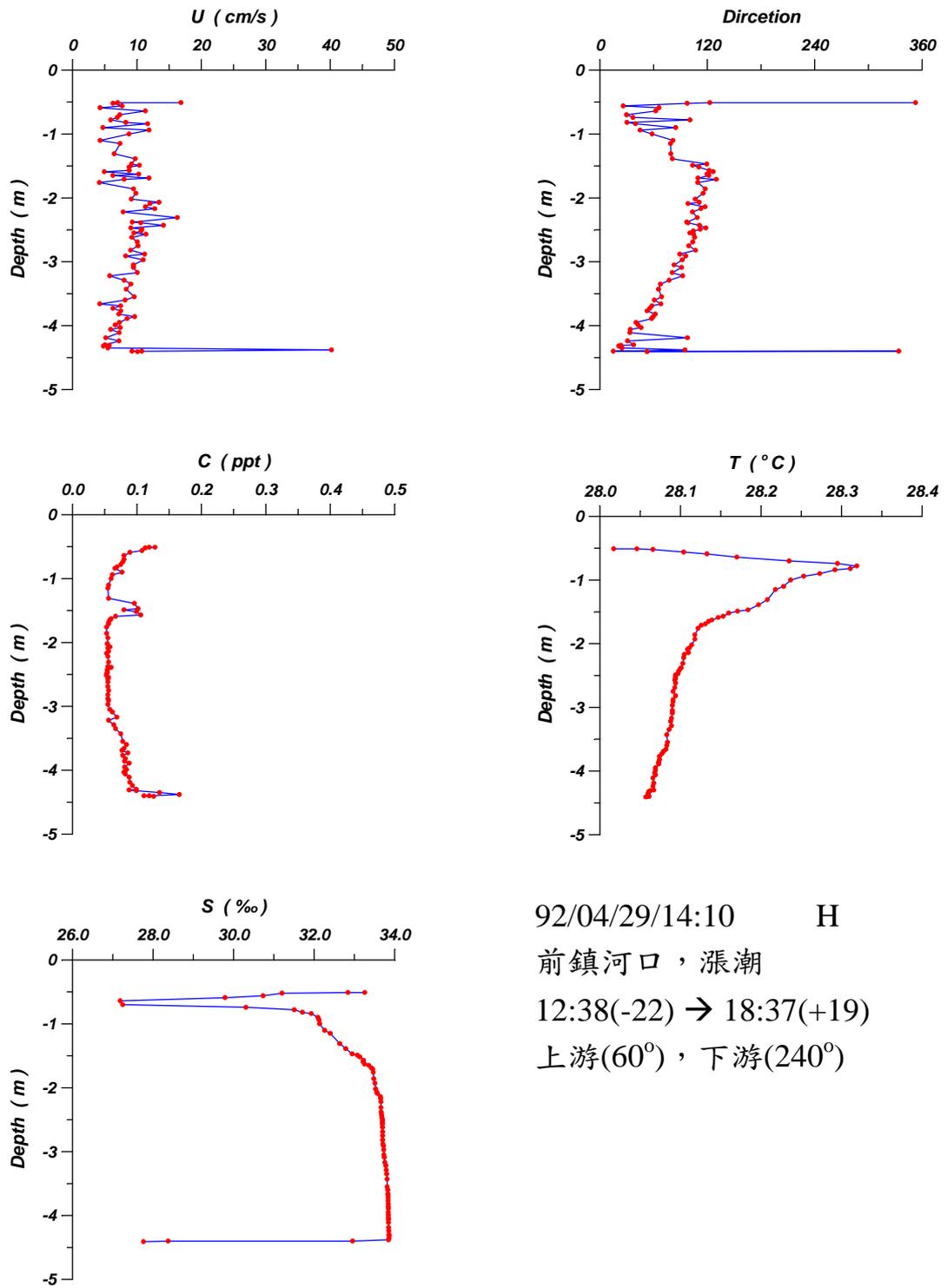
92/06/20/10:25 G
 主航道第三個繫船浮筒
 漲潮
 03:05(-1) → 11:39(+44)

圖 3.18 測點 G 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



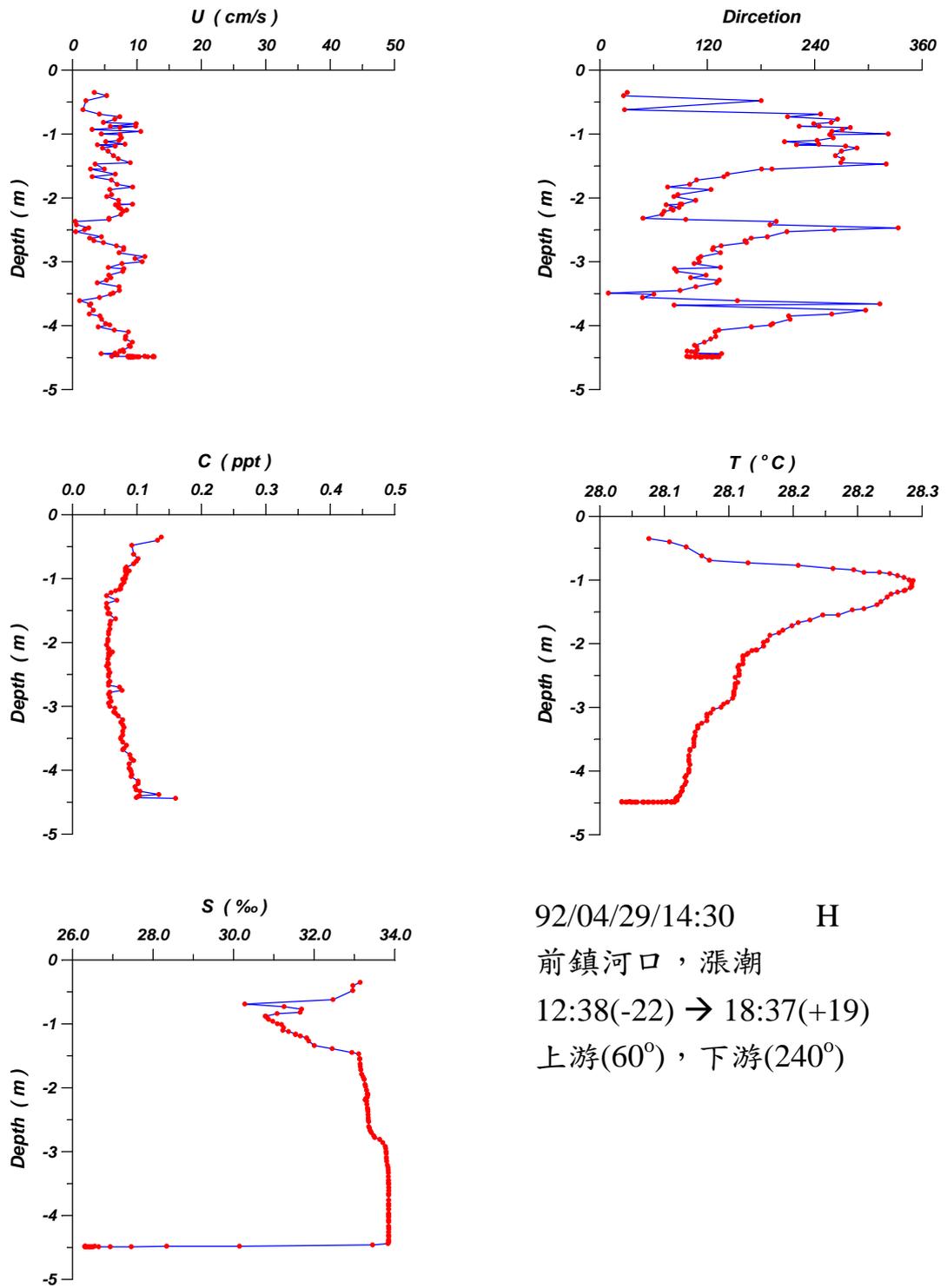
92/04/29/13:55 H
 前鎮河口，漲潮
 12:38(-22) → 18:37(+19)
 上游(60°)，下游(240°)

圖 3.19 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



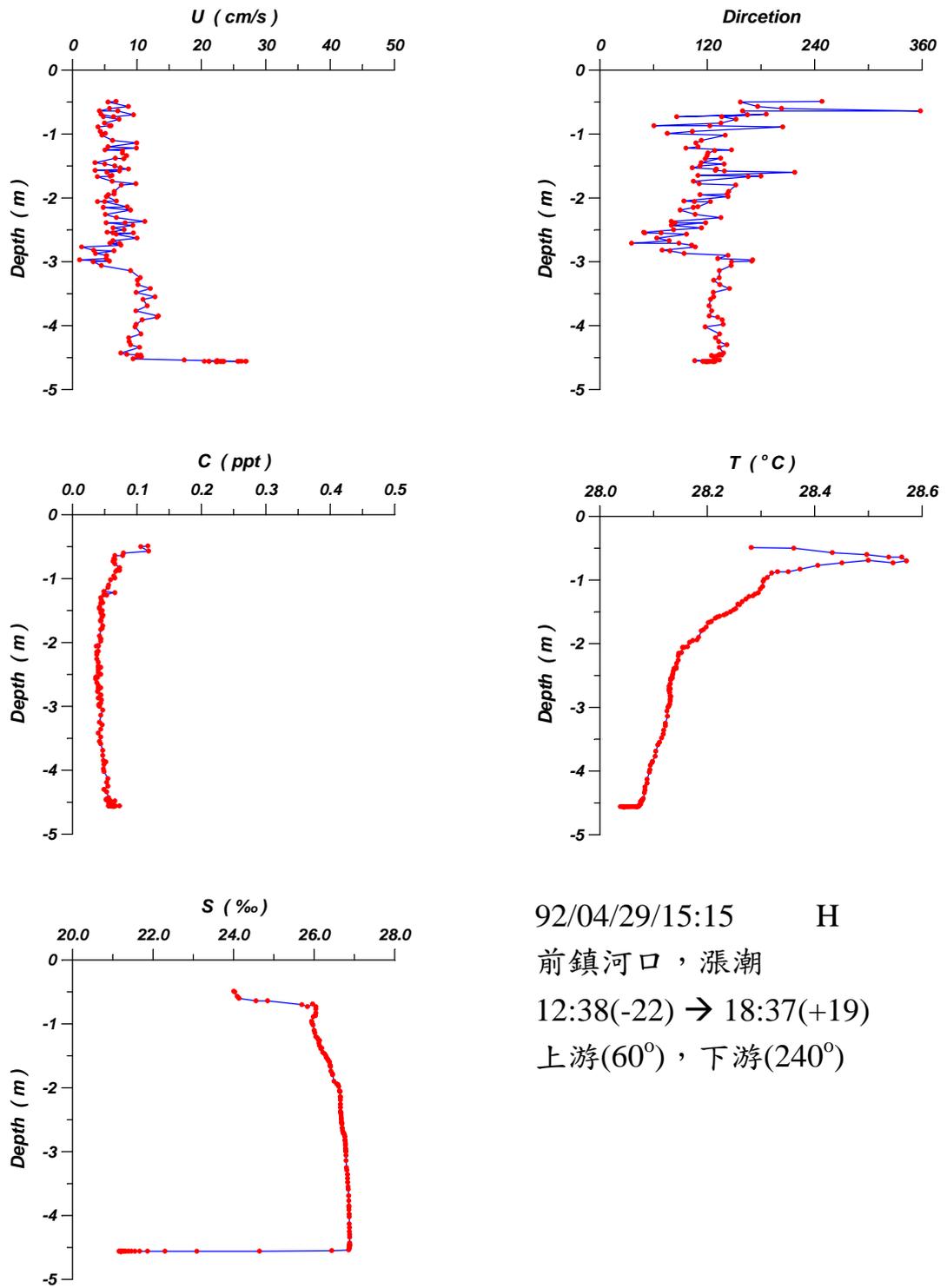
92/04/29/14:10 H
 前鎮河口，漲潮
 12:38(-22) \rightarrow 18:37(+19)
 上游(60 $^{\circ}$)，下游(240 $^{\circ}$)

圖 3.20 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



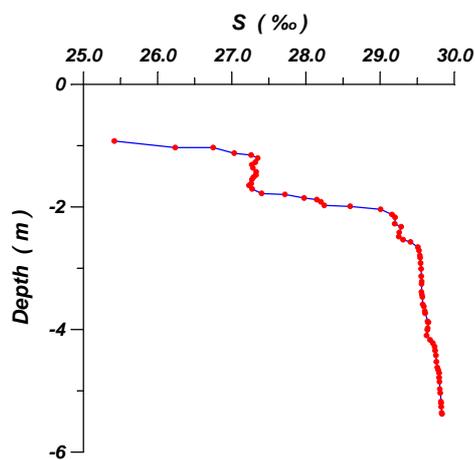
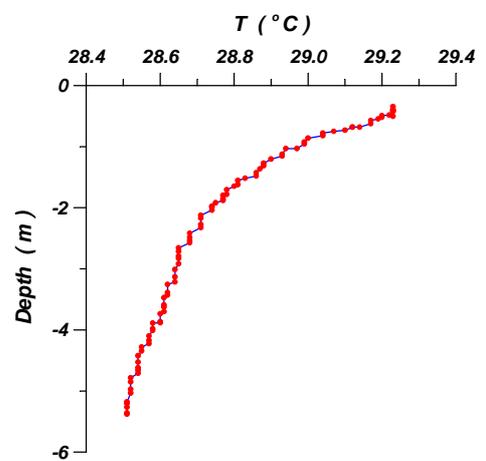
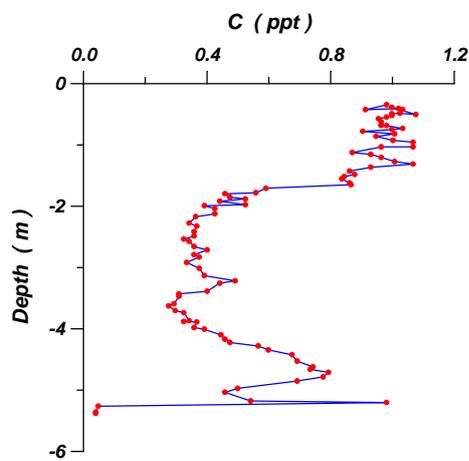
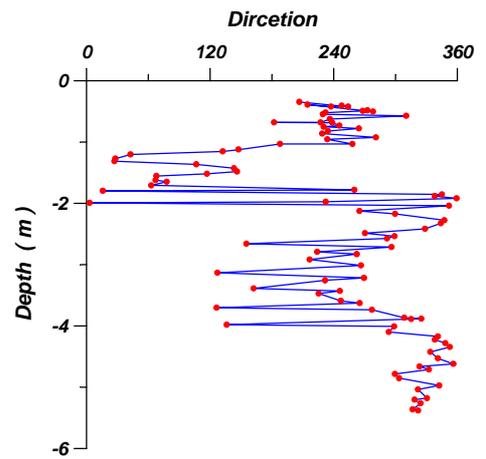
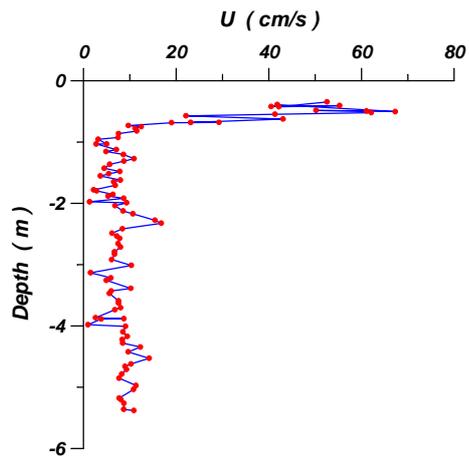
92/04/29/14:30 H
 前鎮河口，漲潮
 12:38(-22) \rightarrow 18:37(+19)
 上游(60°)，下游(240°)

圖 3.21 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



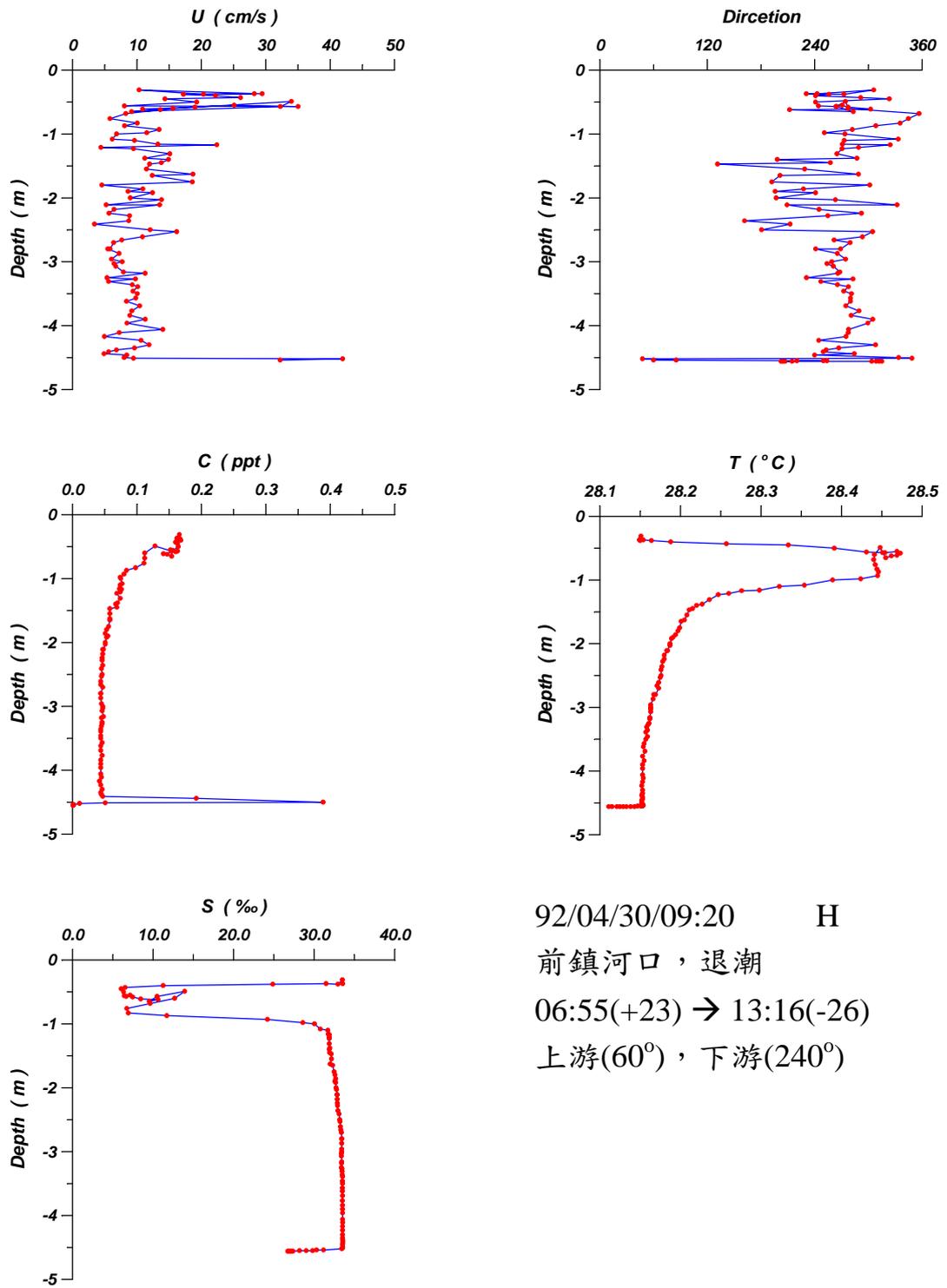
92/04/29/15:15 H
 前鎮河口，漲潮
 12:38(-22) → 18:37(+19)
 上游(60°)，下游(240°)

圖 3.22 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



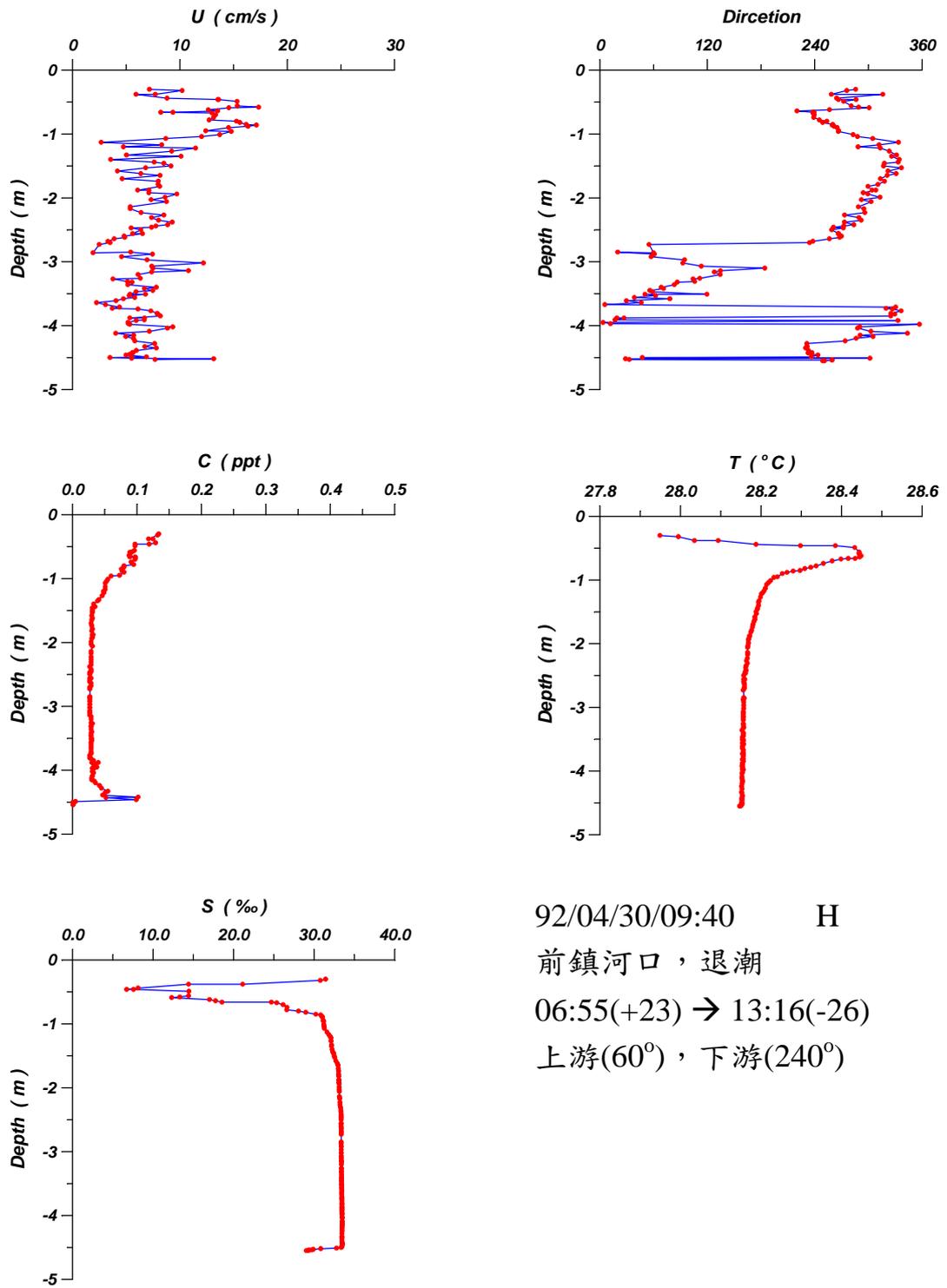
92/06/20/11:05 H
 前鎮河口流強向外，漲潮
 03:05(-1) → 11:39(+44)
 下游(240°)，上游(60°)

圖 3.23 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



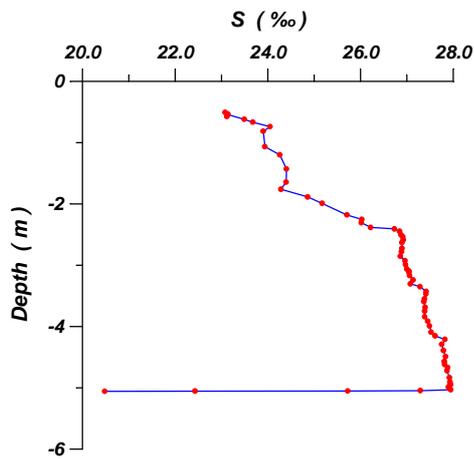
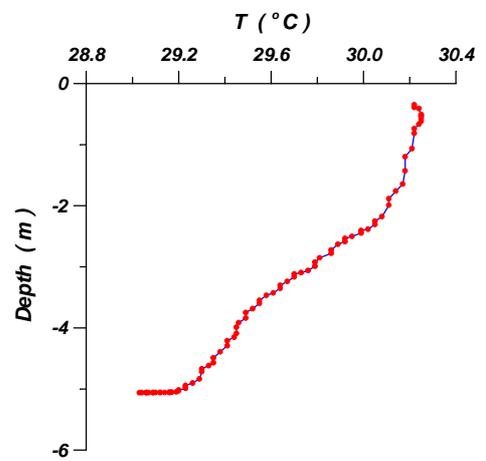
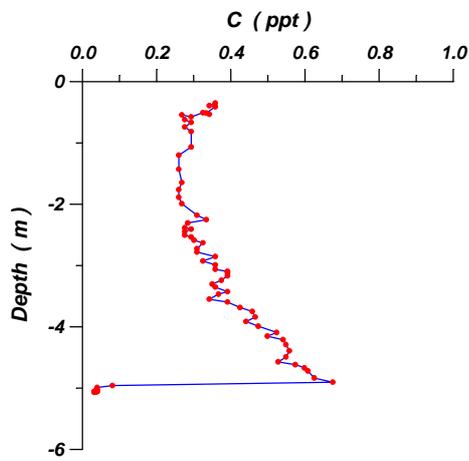
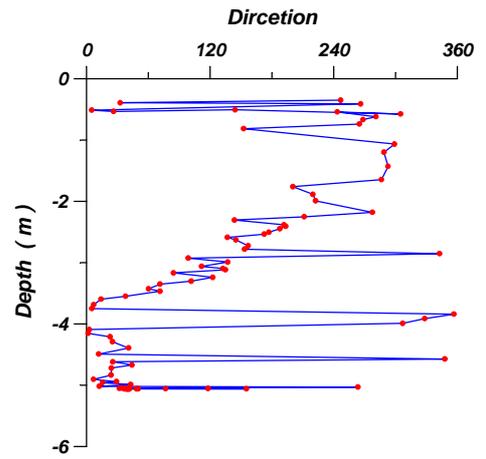
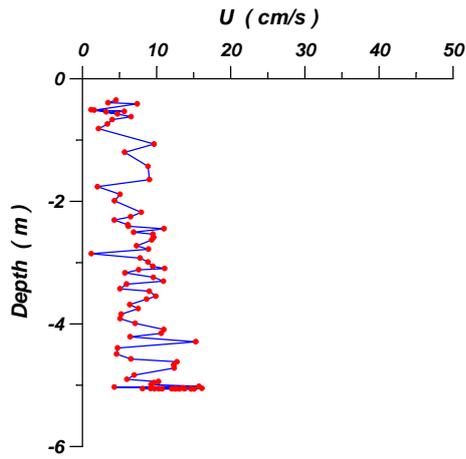
92/04/30/09:20 H
 前鎮河口，退潮
 06:55(+23) → 13:16(-26)
 上游(60°)，下游(240°)

圖 3.24 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



92/04/30/09:40 H
 前鎮河口，退潮
 06:55(+23) \rightarrow 13:16(-26)
 上游(60°)，下游(240°)

圖 3.25 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



92/06/19/14:50 H
 前鎮河口繫船旁，退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 上游(60°)，下游(240°)

圖 3.26 測點 H 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測

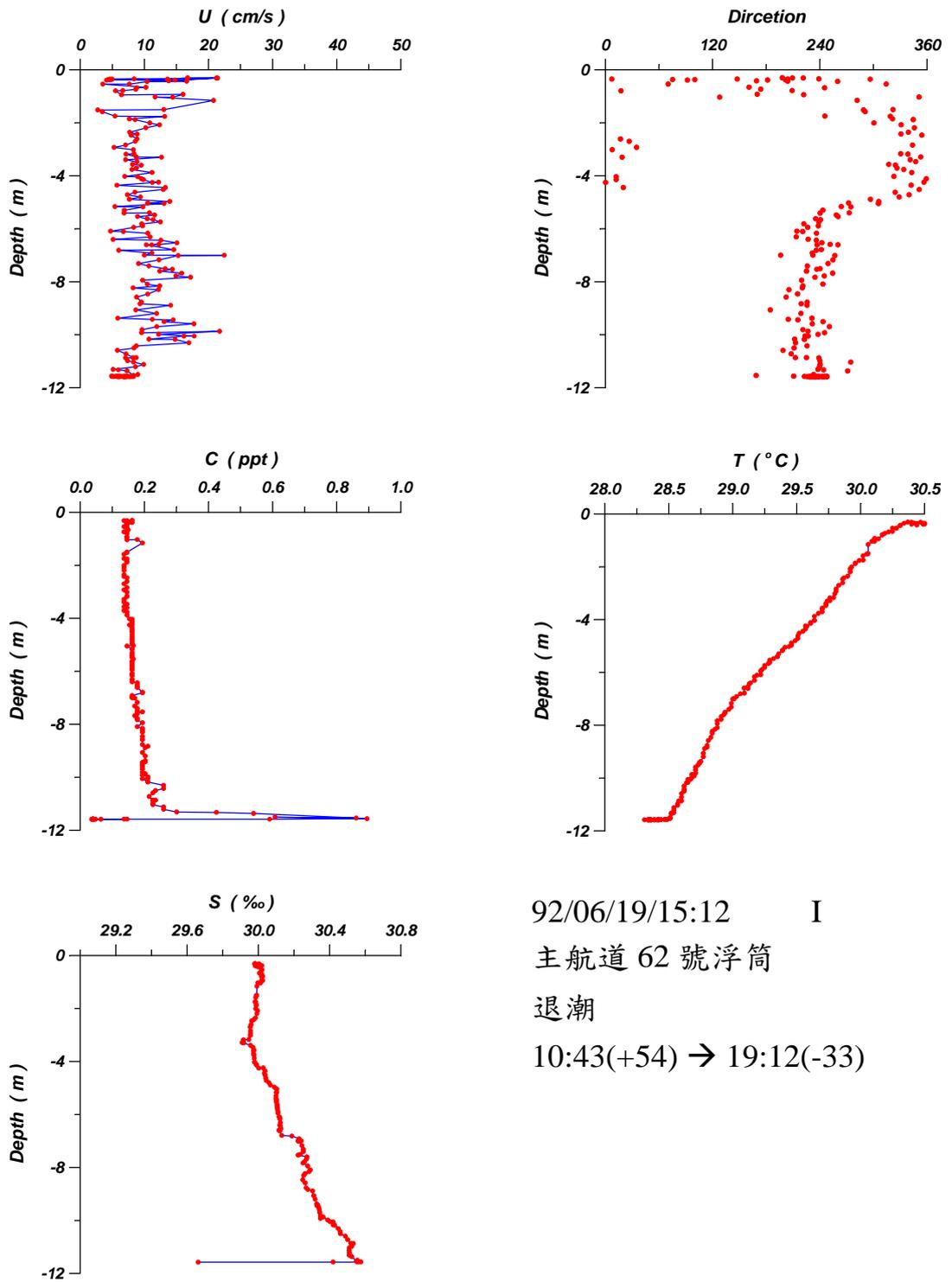
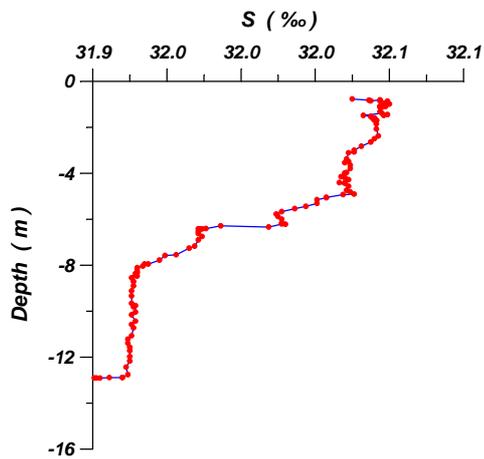
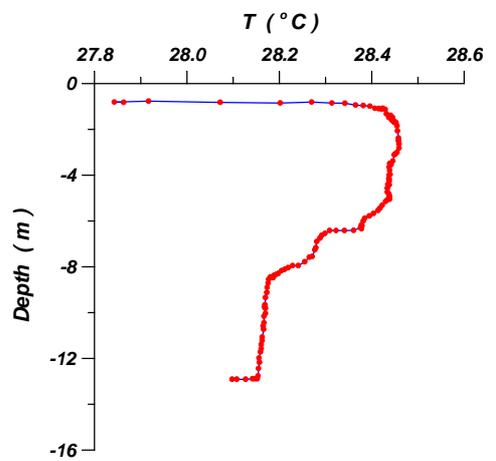
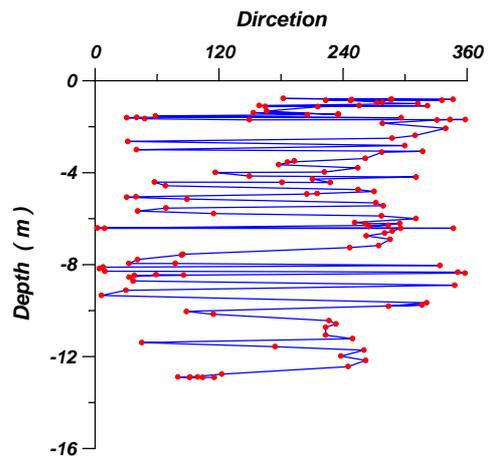
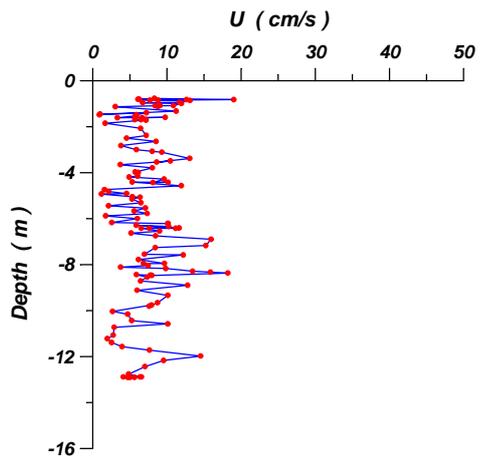


圖 3.27 測點 I 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



92/05/09/11:20 J
 二港口 6 號燈浮筒
 5/8/20:18(-36) →
 5/9/12:23(+36)
 漲潮，漲流向西

圖 3.28 測點 J 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測

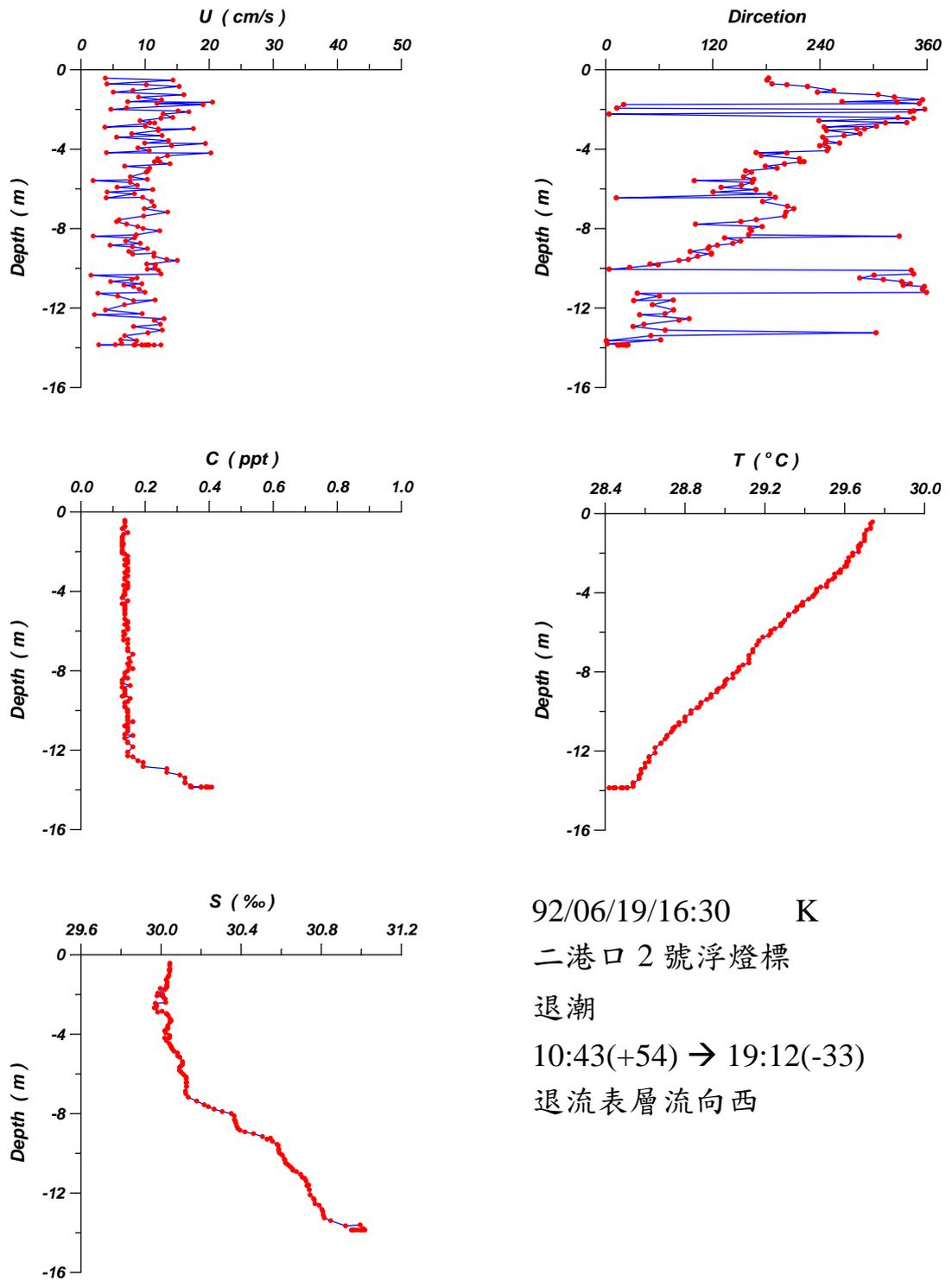


圖 3.29 測點 K 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測

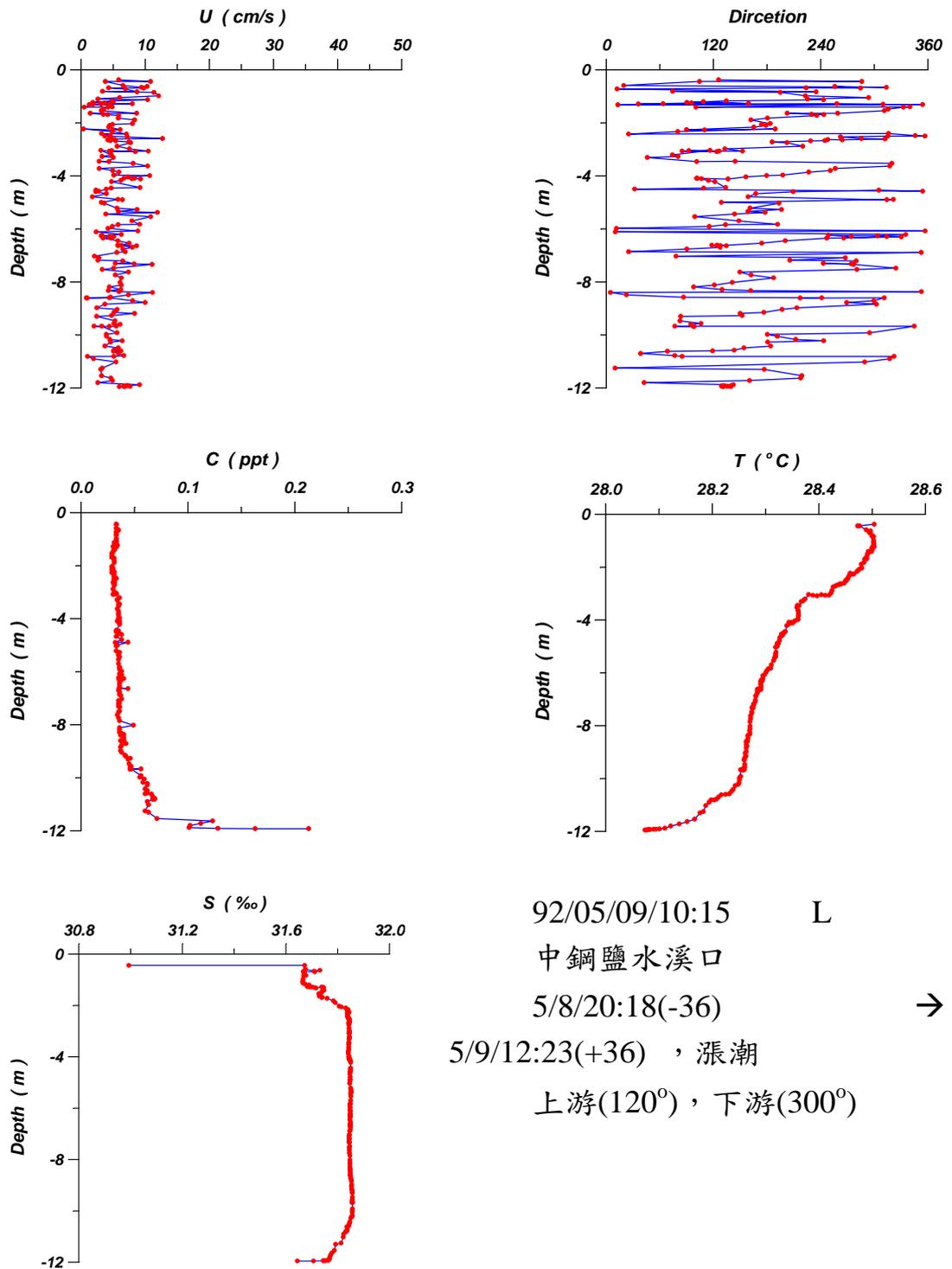
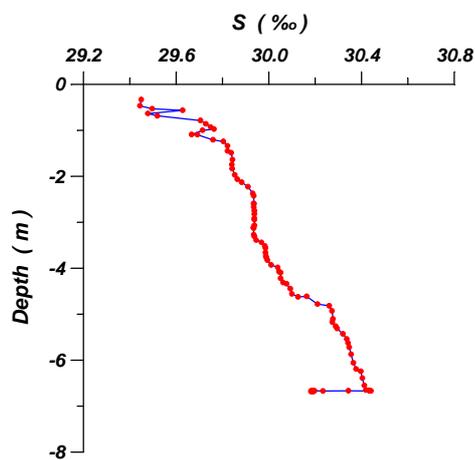
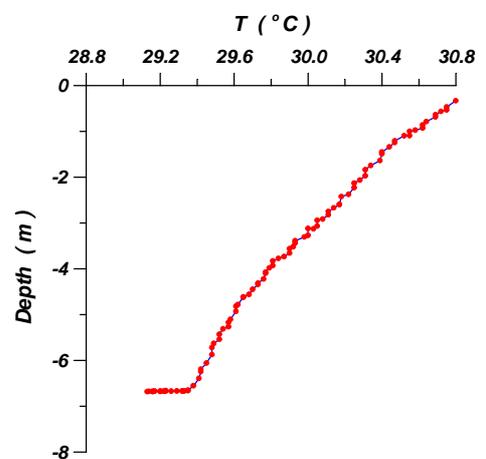
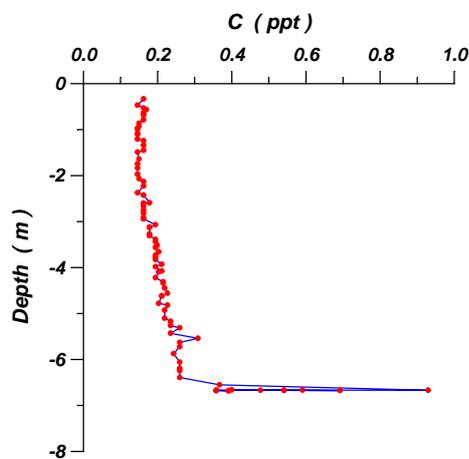
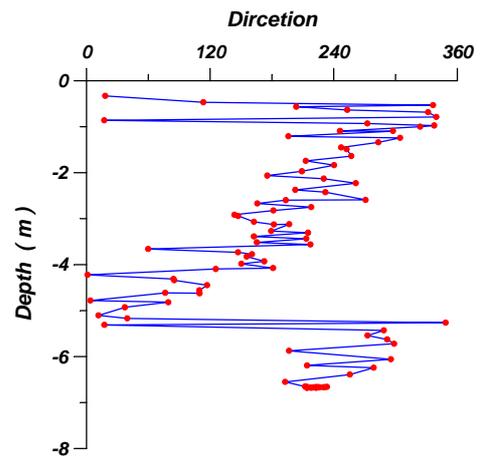
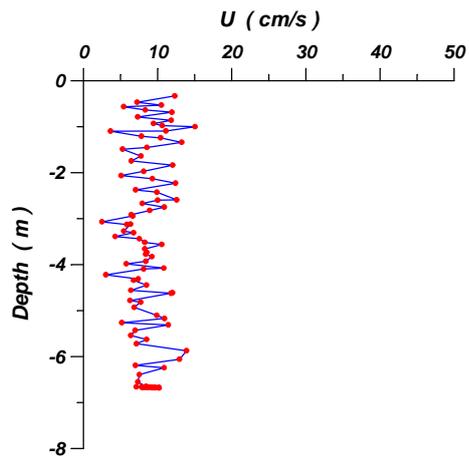


圖 3.30 測點 L 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測



92/06/19/16:05 L
 中鋼鹽水溪口
 退潮
 10:43(+54) → 19:12(-33)
 上游(135°), 下游(315°)

圖 3.31 測點 L 之剖面流、濁度、溫度與鹽度觀測

3.2 前鎮河河口之長時間現場觀測

前鎮河為高雄港主要入流河川之一，過去因污染嚴重而有「黑龍江」之稱，近年來高雄市政府陸續辦理河川整治、污水截流及底泥清疏等工程，水質已獲得改善。不過為瞭解前鎮河之實際輸沙情形，本研究於 92 年 10 月 2 日至 11 月 5 日期間在前鎮河河口之 H 測站，將流速計、水位計、濁度計及鹽溫計等儀器安裝於水道中央之水泥柱上，以進行長時間觀測作業。

3.2.1 現場觀測作業說明

前鎮河進入高雄港區之河口處有一攔污浮索，可隨時攔截水面垃圾，用以安裝攔污浮索的水泥柱則位於水道中央。本研究將相關觀測儀器安裝於該水泥柱之底床附近，水泥柱附近水深約 4.5 米。濁度計及鹽溫計安裝於離底約一米位置，流速計及水位計則安裝於離底約二米位置。照片 3.2 為安裝儀器用之水泥柱，照片 3.3 則為現場使用之觀測儀器收回後之情形。

作業時感覺前鎮河的河水仍然相當污濁且有臭味，但為取得重要現場相關數據，還是得讓潛水人員下水安裝儀器、採取底泥及測量底泥厚度。



照片 3.3 前鎮河河口安裝儀器進行現場觀測作業用之水泥柱



照片 3.4 安裝於前鎮河河口水泥柱上之現場觀測用儀器

3.2.2 觀測結果分析與討論

由各剖面流觀測站之短期觀測結果，顯示高雄港區各主要入水口在潮流攜帶及河川排水作用下都有可能將懸浮質輸入港區內，然後在港區之靜穩環境中慢慢沉降淤積於港內底床上。當高雄海域海上風浪大時，近岸碎波作用將激起大量懸浮沙粒，並藉由沿岸流攜帶及港內外潮水交換作用，經由一港口及二港口將懸浮質輸入港域內。較大顆粒可能在港口處即逐漸沉降底床上，只有較微細顆粒會隨流漂移深入港區後再緩慢沉降。另外由北至南有四條主要河川或運河將都市污水排入港區內，本研究進行短期剖面觀測時或許是剛好天氣晴朗及河川截流效果，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。

圖 3.32 為前鎮河長期觀測站之水位歷時變化，顯示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 3.33 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，大週期變化約 18 天，小週期變化則與潮汐週期相當。大週期之懸浮質濃度變化原因尚不清楚，第一次高懸浮質濃度發生於 10 月 11 日小潮時，第二次高濃度則因記錄時間不夠長無法判定，是否與潮汐之大小潮有關尚有待繼續觀察。對照圖 3.34 與圖 3.35，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 3.36 與圖 3.37 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 3.38 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 3.39 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，如表 3.2，顯示在 10 月 13 日當日曾發生豪大雨，使降雨量突然增加為

48mm，而且由表 3.3 及表 3.4 之逐時雨量資料也顯示該次降雨集中於於 10 月 13 日 22:00 至 10 月 14 日 01:00 之間，也因此為高雄地區帶來相當災害。此等瞬間大量降水於圖 3.40 之前鎮河流速資料中顯示出底流突增現象，另外圖 3.33 之懸浮質濃度也有出現大量減少的情形。

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，同時也可能與每月之大小潮有關。底床上 1 米處液泥濃度觀測得 40ppt 以上，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。

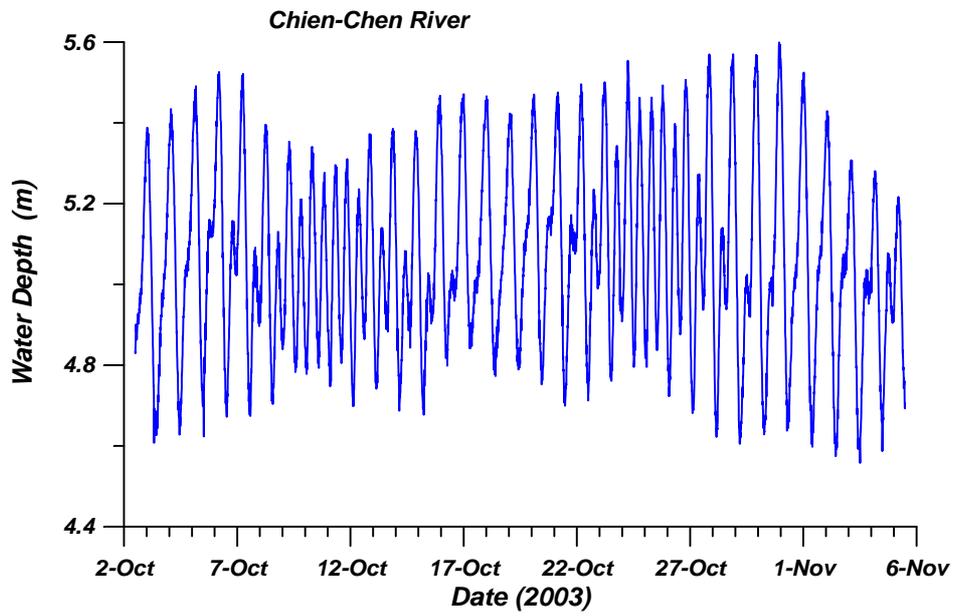


圖 3.32 前鎮河測站之水位歷時變化

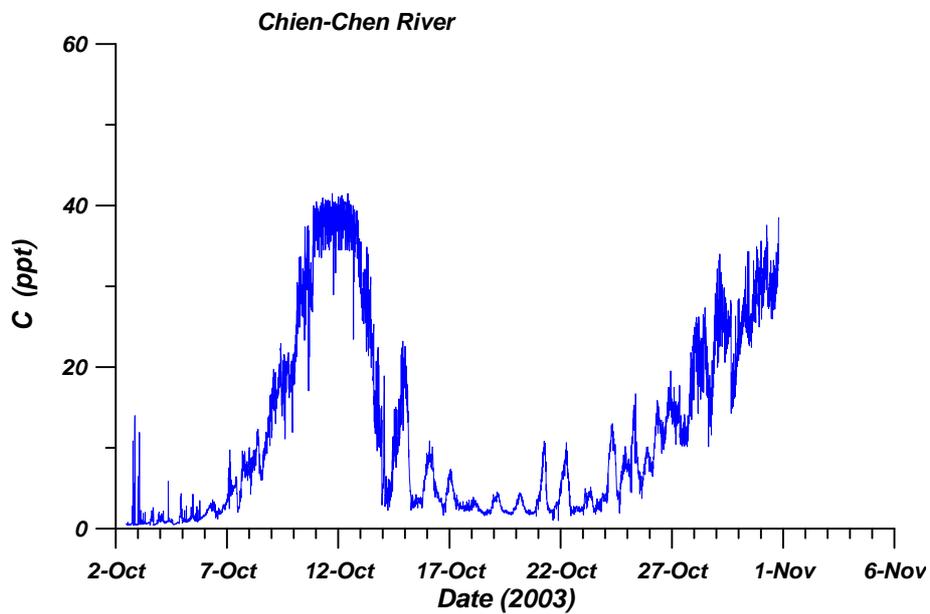


圖 3.33 前鎮河測站之懸浮質濃度歷時變化

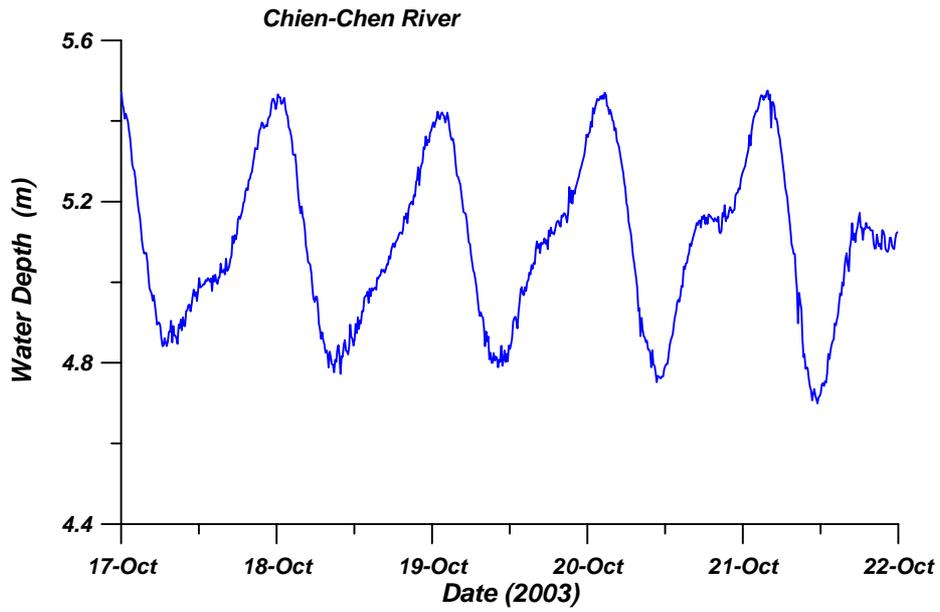


圖 3.34 前鎮河測站之潮位歷時變化

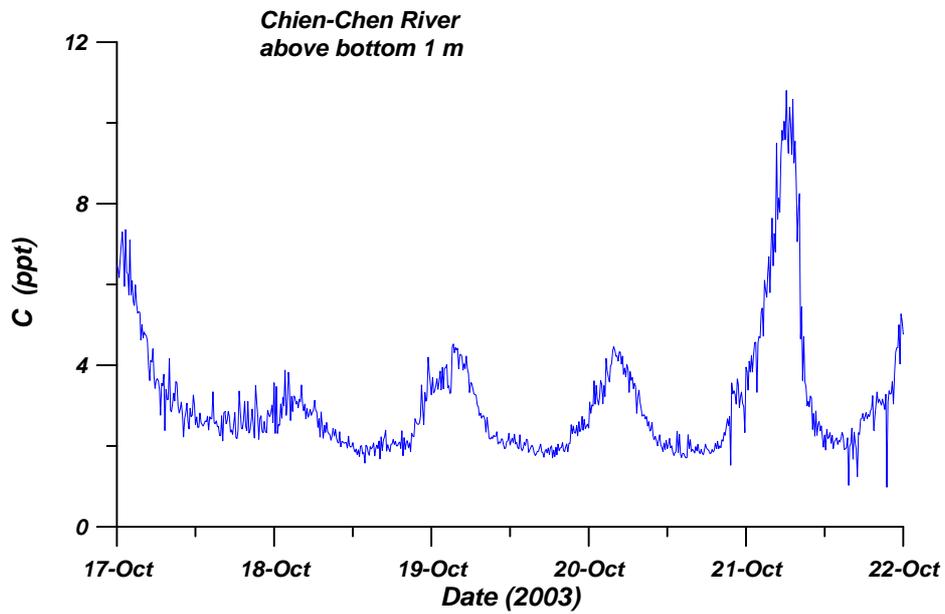


圖 3.35 前鎮河測站底床附近之懸浮質濃度變化

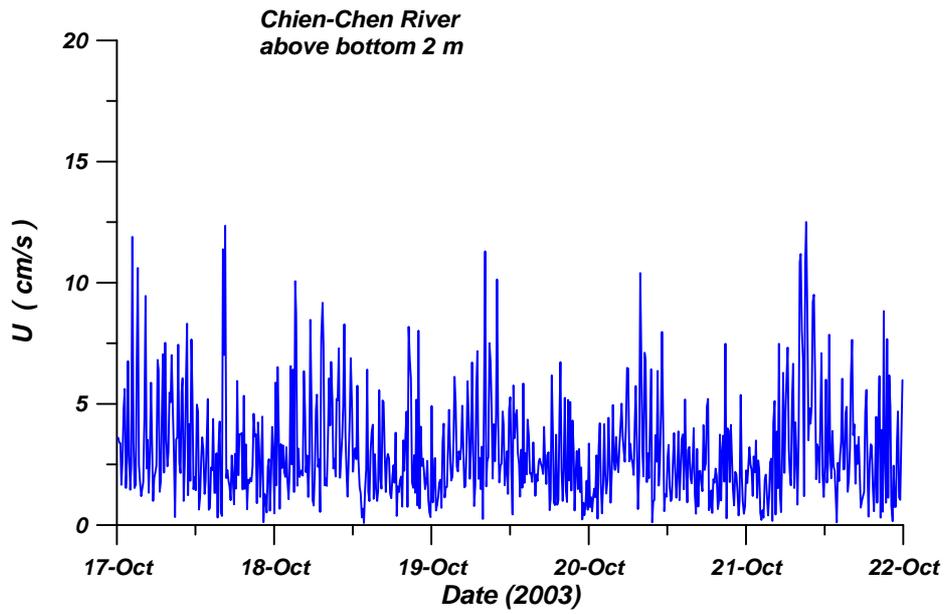


圖 3.36 前鎮河測站底床上 2 米處流速歷時變化

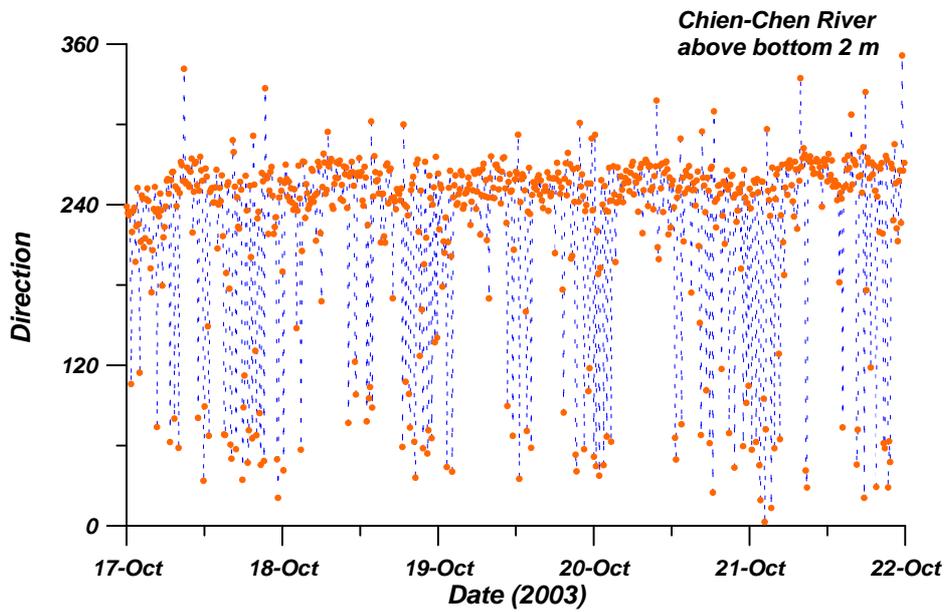


圖 3.37 前鎮河測站底床上 2 米處流向歷時變化

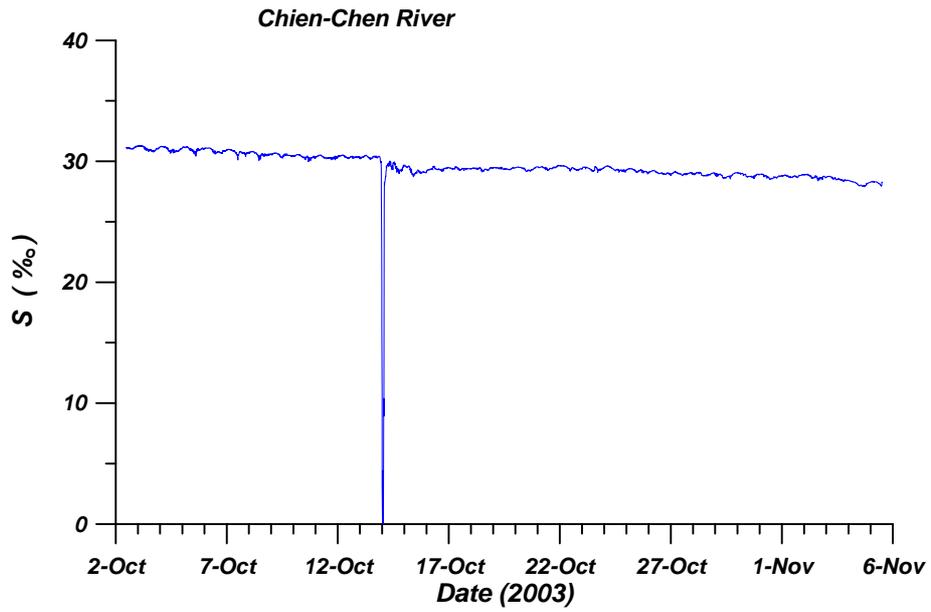


圖 3.38 前鎮河測站之鹽度歷時變化

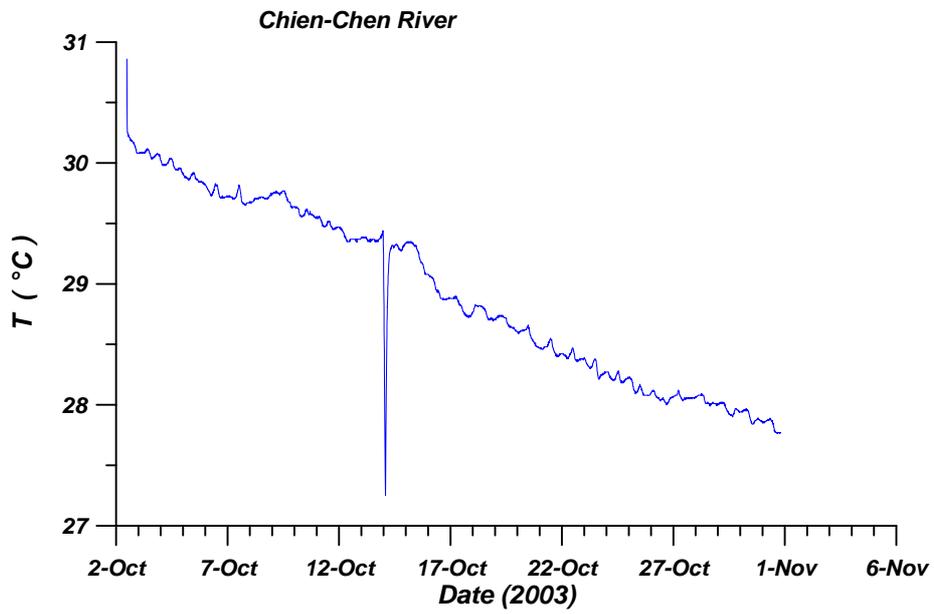


圖 3.39 前鎮河測站之水溫歷時變化

表 3.2 民國 92 年高雄氣象站逐日雨量資料

本資料僅供參考		單位: 毫米											
月份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	
日期													
1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	1.0	-	1.5	16.5	-	46.5	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	11.0	13.5	T	1.5	-	
4	-	-	0.5	10.0	-	-	-	180.0	T	T	-	-	
5	-	-	-	-	2.0	-	T	13.5	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	5.5	-	13.0	3.0	1.5	-	-	
7	8.0	-17.5	1.0	-	266.0	-	-	-	6.5	-	-	-	
8	-3.0	-34.5	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	-	-	-14.5	-	9.0	-	-	-	4.5	3.5	-	-	
10	-	-	-	-	-	67.0	-	-	30.0	-	-	-	
11	-	-	-	-	-	10.5	-	0.5	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	50.5	-	4.5	-	1.0	-	-	
13	-	-	-	-	-	19.0	-	T	21.0	48.0	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	T	-	15.5	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	3.5	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	20.5	-	19.5	-	-	1.0	-	
17	-	-	-	-	3.0	5.5	-	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	8.5	1.0	-	-	-	-	-	-	
19	-	-	-	-	-	10.0	-	51.0	-	-	-	-	
20	-	-	T	-	-	18.5	-	30.5	-	-	-	-	
21	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.5	-	-	-	
22	24.0	-	-	-	-	-	T	-	0.5	-	6.5	-	
23	-	-	-	-	-	-	T	-	8.0	-	T	-	
24	-	-	T	-	-	-	-	T	T	-	T	-	
25	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	
26	-	-	-	-	-	47.5	-	-	-	-	-	-	
27	-	-	-	-	-	2.5	23.0	-	62.5	-	-	-	
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	-	-	-	-	-	-	-	13.0	-	-	-	-	
30	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-	-	-	-	
31	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	
總和值	32.0	3.0	18.0	60.0	13.5	536.5	23.0	345.5	169.5	69.5	48.0		

註 1: - 表示沒雨量或 0
 註 2: T 表雨跡

表 3.3 民國 92 年 10 月 13 日高雄氣象站逐時雨量資料

民國 92 年 10 月 13 日 高雄氣象站 觀測資料						
觀測時間	相對濕度 (%)	氣溫 (°C)	測站氣壓 (hPa)	風向(16方位)	風速(m/s)	降水量(mm)
0100	91	25.8	1011.9	南南東	2.3	0
0200	90	25.8	1011.6	南	2.7	0
0300	90	25.9	1011.1	南南東	1.7	0
0400	89	25.7	1011.3	靜風	0.2	0
0500	88	26	1011.7	靜風	0	0
0600	90	26	1012.3	東北	0.7	0
0700	87	26.3	1012.6	東北	1.5	0
0800	83	27	1013.1	東北東	0.8	0
0900	80	28	1013.1	靜風	0	0
1000	71	29.5	1012.8	南南西	0.5	0
1100	69	30.1	1012.5	西	2.2	0
1200	70	30.3	1011.9	西	3.2	0
1300	72	30.3	1011.1	西	2.4	0
1400	71	30.7	1010.2	西	2.9	0
1500	69	30.6	1009.8	西北西	3.1	0
1600	71	29.3	1010	西	2.7	0
1700	75	28.8	1010.5	西北西	2.4	0
1800	75	28.4	1011.1	西北	2.4	0
1900	75	28.3	1011.5	西北西	2.6	0
2000	78	28.1	1012.3	西	1.4	0
2100	86	26.1	1013.1	北北東	2.5	1
2200	90	25.1	1013.3	北	2.6	12
2300	93	24.2	1013.4	東北東	2	24.5
2400	94	24.4	1013.1	南	0.4	10.5
當日最高溫度						
31.2						
當日最低溫度						
24						
註一：降水量若為-9.8，表示為雨跡(雨量<0.1mm)。						
註二：氣溫、相對濕度、風速若為-99.5，降水量若為-999.5，皆表示為故障。						
註三：本頁僅供參考。						

表 3.4 民國 92 年 10 月 14 日高雄氣象站逐時雨量資料

民國 92 年 10 月 14 日 高雄氣象站 觀測資料						
觀測時間	相對濕度 (%)	氣溫 (°C)	測站氣壓 (hPa)	風向(16方位)	風速(m/s)	降水量(mm)
0100	94	25	1012.9	西	0.5	0
0200	95	25	1012.6	南南西	0.5	0
0300	94	25.1	1012.3	西南	0.7	0
0400	92	25.3	1011.5	西北	0.4	0
0500	93	25	1011.9	北北東	1.7	0
0600	94	25	1012.6	北北東	1.1	0
0700	94	24.9	1013.3	東	1.6	0
0800	91	25.8	1013.8	東	1.5	0
0900	87	26.5	1014.3	靜風	0.1	0
1000	91	25	1014.2	南	1.6	14.5
1100	92	25.3	1013.5	東南東	0.4	1
1200	87	26.5	1012.8	南南西	0.9	9.8
1300	82	29	1012.2	西	1.8	0
1400	78	28.3	1011.8	西北西	2.7	0
1500	77	28.1	1011.8	西北	2.8	0
1600	75	28.4	1012	西北	2.1	0
1700	74	28.1	1012.7	西北	2.3	0
1800	82	27	1013.3	東北東	2.3	0
1900	85	26.1	1013.6	東北東	3.2	0
2000	87	25.2	1014.3	東北	2.9	0
2100	87	25.2	1014.5	東北	1.6	0
2200	82	25.7	1014.5	北北東	1.8	0
2300	81	26	1014.4	北北西	0.9	0
2400	83	25.4	1014.1	北	1.8	0
當日最高溫度						
29.9						
當日最低溫度						
24.3						
註一：降水量若為-9.8，表示為雨跡(雨量<0.1mm)。						
註二：氣溫、相對濕度、風速若為-99.5，降水量若為-999.5，皆表示為故障。						
註三：本頁僅供參考。						

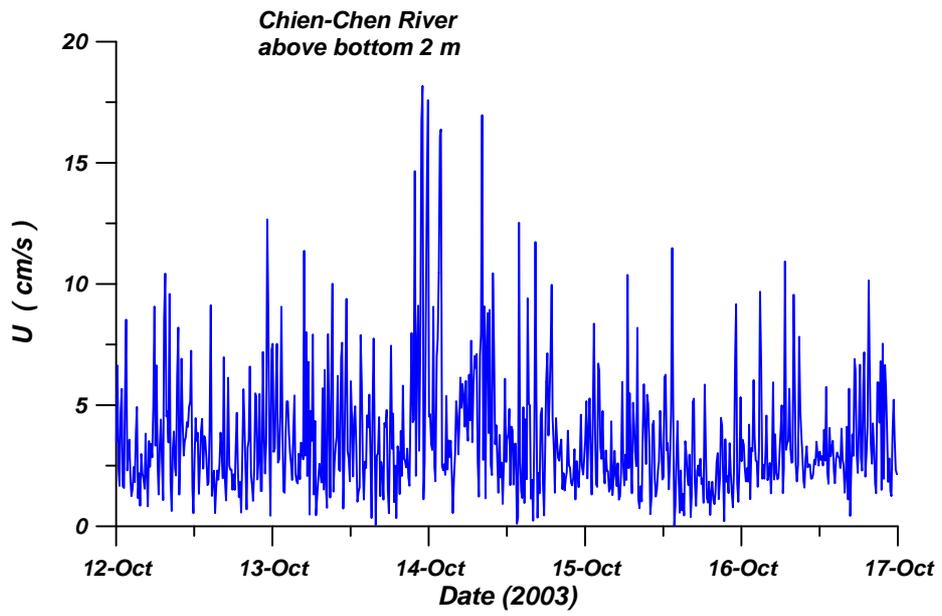


圖 3.40 前鎮河測站底床上 2 米處流速歷時變化

第四章 底質取樣與底泥現場調查

高雄港區幅員遼闊，水域面積 1,270 公頃，港池內承受多方面的漂沙與污染物淤積，其來源包括仁愛河、第五船渠、前鎮河、鹽水溪的污水排放及一、二港口的懸浮輸沙等。使港池內持續累積數量龐大的淤泥，為維持港內行船安全，每年必須花費龐大預算作不定期疏浚。為瞭解港區淤泥之特性與分佈狀況，本調查研究擬在港區內分散選擇 50 個觀測點，進行淤泥厚度之探測並採樣作相關粒徑分析。

4.1 高雄港區內底質測站及淤泥厚度

港域底床之淤泥結構大致上可以分為四個部份，最上層為水層 (water column)，含有少量懸浮質；其次為薄層液泥層 (fluid-like mud)，為懸浮質絮凝沉澱過程；其下層則為軟泥層 (soft mud)，密度向下快速增加形成斜密層 (Lutocline)；最底層部份為硬泥層 (stiff mud)，形成後不易移動。河川上游攜帶之懸浮質常會在河口地區因鹽水絮凝作用形成液泥層及軟泥層並不斷隨潮流沖刷入海。為瞭解港區內底泥之分佈狀況，本研究以潛水方式用一頭為 5 公分見方平板長 3 米之鋼條直接插入探測海底軟泥層厚度。照片 4.1 及 4.2 即為使用之平頭探棒及探測作業情形，以潛水作業方式逐點進行淤泥厚度量測及取樣，雖然進度緩慢而辛苦卻可以保有精確性。圖 4.1 及 4.2 為港區底泥測站位置及底泥厚度示意圖，表 4.1 則為港區各底泥測站位置及底質狀況說明。

在以方頭探棒量測底泥厚度之前，本研究曾嚐試利用 1 米長 2 吋直徑之壓克力管作底泥鑽探取樣作業，如照片 4.3 及 4.4。但因底泥被鑽探取樣到船上後，會因船隻振動及靜置結果加速浮泥沉降而改變其結構，最後不得不放棄此種探勘底泥之作業方式。



照片 4.1 量測軟泥層厚度用之方頭探棒



照片 4.2 潛水人員探測完成後以米尺量取探棒之測泥厚度

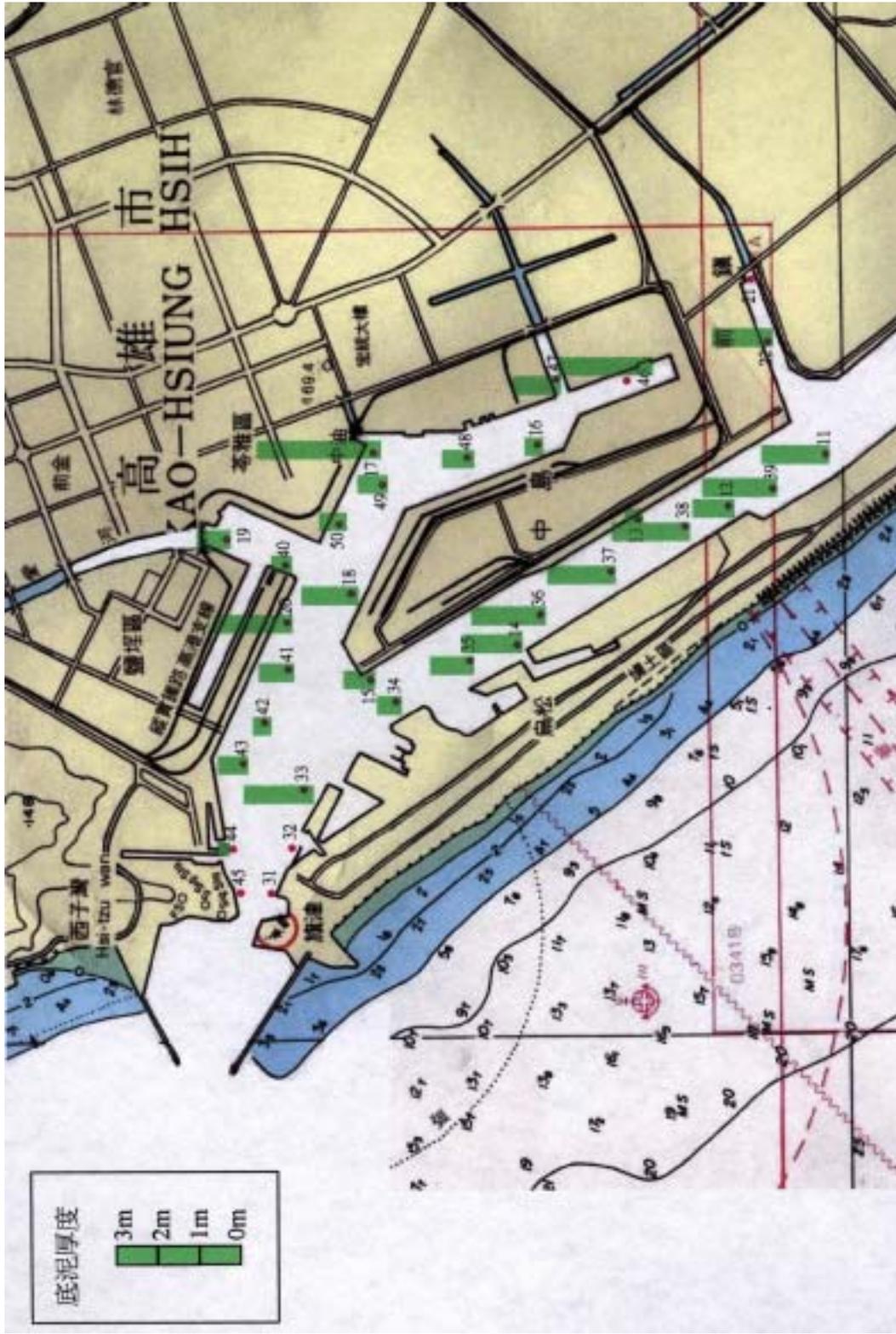


圖 4.1 高雄港池底泥測站位置及軟泥層厚度(a)



圖 4.2 高雄港池底泥測站位置及軟泥層厚度(b)

表 4.1 港區各底泥測站位置及底質狀況說明

測 點	位置說明	底質狀況說明	採樣時間
1	N 22°33.075' E 120°19.326' 二港口出口處	水深 14.6m 底泥厚度 190cm	92 年 10 月 2 日 13:13
2	N 22°32.426' E 120°19.876'	水深 12.0m 底泥厚度 72cm	92 年 10 月 2 日 13:27
3	N 22°32.878' E 120°20.161' 中船碼頭外	水深 12.0m 底泥厚度 180cm	92 年 10 月 2 日 13:40
4	N 22°32.206' E 120°19.671'	水深 18.0m 底泥厚度 17cm	92 年 10 月 2 日 13:56
5	N 22°33.679' E 120°19.731'	水深 14.8m 底泥厚度 170cm	92 年 10 月 2 日 14:10
6	N 22°33.424' E 120°19.292'	水深 15.6m 底泥厚度 10cm	92 年 10 月 2 日 14:33
7	N 22°33.587' E 120°18.873'	水深 15.8m 底泥厚度 36cm	92 年 10 月 2 日 14:52
8	N 22°33.984' E 120°18.787' 前鎮漁港口南側	水深 13.0m 底泥厚度 56cm	92 年 10 月 2 日 15:12
9	N 22°34.229' E 120°18.834' 前鎮漁港內	水深 8.0m 底泥厚度 59cm	92 年 10 月 2 日 15:27
10	N 22°34.453' E 120°18.126'	水深 9.0m	92 年 10 月 2 日 15:40

	中洲漁港外	底泥厚度 119cm	日 15:46
11	N 22°34.933' E 120°17.720' 前鎮河口對岸	水深 9.0m 底泥厚度 165cm	92年10月2日 16:04
12	N 22°35.195' E 120°17.533' 前鎮河口北側	水深 7.6m 底泥厚度 98cm	92年10月3日 08:55
13	N 22°35.602' E 120°17.461' 東岸散裝貨碼頭前	水深 12.8m 底泥厚度 36cm	92年10月3日 09:09
14	N 22°35.959' E 120°17.048' 主航道西側	水深 7.5m 底泥厚度 145cm	92年10月3日 09:25
15	N 22°36.522' E 120°16.933' 主航道口東岸	水深 12.0m 底泥厚度 74cm	92年10月3日 09:40
16	N 22°35.937' E 120°17.774' 第五船渠口對岸	水深 13.5m 底泥厚度 34cm	92年10月3日 10:01
17	N 22°36.498' E 120°17.754' 東岸近中油高雄營業處	水深 6.0m 底泥厚度 > 300cm	92年10月3日 10:19
18	N 22°36.576' E 120°17.282' 近愛河口西岸	水深 12.0m 底泥厚度 145cm	92年10月3日 10:36
19	N 22°37.109' E 120°17.414' 愛河海上皇宮旁	水深 8.7m 底泥厚度 81cm	92年10月3日 10:52
20	N 22°36.875' E 120°17.100' 愛河入海口北側	水深 12.0m 底泥厚度 195cm	92年10月3日 11:05

21	如圖位於前鎮運河入海口處，河道狹窄水流湍急	表層水流湍急 底泥稀少	92年11月5日 12:18
22	如圖位於前鎮運河出口較寬河道中央	底泥鬆軟 厚度 144cm	92年11月5日 12:40
23	如圖位於前鎮運河出口南側，航道東岸中油化儲中心與貨櫃碼頭之間	底泥表層稍硬似含有砂礫成份，下層則為軟泥 厚度 117cm	92年11月5日 13:20
24	如圖位於中油化儲中心前，航道中央繫船浮筒附近	底質為鬆軟泥底 厚度 216cm	92年11月5日 14:00
25	如圖位於中洲漁港口南側，航道中央	底質稍硬，似乎為砂質泥底 底泥厚度 30cm	92年11月5日 14:20
26	如圖位於前鎮漁港口南，近西岸航道	底質稍硬 底泥厚度 30cm	92年11月5日 14:39
27	如圖位於長榮貨櫃碼頭旁，近二港口出口處	底質硬 無底泥	92年11月5日
28	如圖位於二港口出口南側，2號浮燈標附近	底質似黏土團 底泥厚度 86cm	92年11月5日
29	如圖位於二港口出口南側，4號浮燈標附近	底質似黏土團 底泥厚度 148cm	92年11月5日 15:30
30	如圖位於二港口出口南側，6號浮燈標附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 117cm	92年11月5日 15:55

31	如圖位於一港口出口南側，檢查哨碼頭旁	底質多貝殼碎片及砂土，無淤泥	92年11月6日
32	如圖位於旗津加油碼頭旁	底質多貝殼碎片及砂，無淤泥	92年11月6日
33	如圖位於 VIVA 浮動船塢外側	水深，底質淤泥厚度 169cm	92年11月6日
34	如圖位於主航道 44 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 57cm	92年11月6日
35	如圖位於主航道軍用碼頭南側繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 110cm	92年11月6日
36	如圖位於主航道 50 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 180cm	92年11月6日 11:40
37	如圖位於主航道 53 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 170cm	92年11月6日 11:55
38	如圖位於主航道 55 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 190cm	92年11月6日
39	如圖位於主航道西岸，前鎮河口北側	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 181cm	92年11月6日
40	如圖位於愛河口，第三船渠外	底質稍硬，似乎含有砂及小石 底泥厚度 44cm	92年11月6日
41	如圖位於航道 25 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥	92年11月6日

		底泥厚度 80cm	
42	如圖位於航道 23 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 34cm	92 年 11 月 6 日
43	如圖位於航道 21 號繫船浮筒附近	底質較硬有黏土質感 底泥厚度 70cm	92 年 11 月 6 日 13:57
44	如圖位於鼓山舊漁會碼頭旁	底質較硬有黏土質感 底泥厚度 24cm	92 年 11 月 6 日
45	如圖位於一港口出口北側，檢查哨碼頭旁	底質多貝殼碎片及砂土，無淤泥	92 年 11 月 6 日 14:25
46	如圖位於東航道底	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 228cm	92 年 11 月 7 日 09:22
47	如圖位於第五船渠內	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 115cm	92 年 11 月 7 日 09:40
48	如圖位於東航道 33 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 81cm	92 年 11 月 6 日 09:54
49	如圖位於東航道 31 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 71cm	92 年 11 月 6 日 10:20
50	如圖位於東航道愛河口南側 31 號繫船浮筒附近	底質為鬆軟淤泥 底泥厚度 68cm	92 年 11 月 6 日 10:45
51	前鎮漁港口外右側碼頭	底多碎石 無底泥	92 年 8 月 7 日 13:40

21a	如圖位於前鎮運河出水口處，河道中央水泥柱旁	底泥厚度 43cm	92年8月8日 11:20
21b	如圖位於前鎮運河出水口處，河道中央水泥柱旁	水深 5.27m 底泥厚度 42cm	92年10月2日 11:40
52	如圖位於主航道 51 號繫船浮筒附近	水深 10.9m 底泥厚度 116cm	92年10月2日 12:15
53	前鎮河口進入航道處南岸邊	水深 9.8m 底泥厚度 40cm	92年8月7日 12:30
54	前鎮河上游中山四路旁之河道內	只取樣未測底泥厚度	92年8月7日 18:46
55	鹽水溪上游山明路與利昌街交界處河道	只取樣未測底泥厚度	92年8月7日 17:30



照片 4.3 潛水人員以壓克力管鑽採底泥情形(a)



照片 4.4 潛水人員以壓克力管鑽採底泥情形(b)

4.2 高雄港區內底質探測分析結果及討論

本計畫第一年度之底質取樣與底泥探測作業皆已如期完成，但所採樣本卻因計畫案相關儀器購置之行政程序作業緩慢耗時，以至於未能適時進行粒徑分析試驗。然而由底泥厚度分佈及底質採樣時對底質成份的判斷仍可大致瞭解部份情況，說明如下：

1. 港池內之淤泥疏浚作業為不定期且不定點實施，致使港池內淤泥層厚度呈現不均勻分佈。
2. 使用較頻繁之船席與航道，其淤泥層因時常疏浚作業而較淺。
3. 航道中央之繫船浮筒及浮標燈下方，可能怕受疏浚機械損害其錨碇結構，而成為疏浚死角，因此有較厚之淤泥層，泥厚約 2 米。
4. 部份港域如中島右側之航道底區域及苓雅區中油營業處近岸為航道死角，平時極少有大船駛入，可能因此少有疏浚作業，以致累積相當厚度淤泥，最厚處達 3 米以上。
5. 靠近一港口之 31、32 及 45 號測站探測結果，皆為沙質底床，沒有淤泥層，可見該區域受一港口外漂沙輸入影響較大。
6. 前鎮漁港口右側碼頭前因新近施工拋石也沒有明顯淤泥層。
7. 前鎮河河口內受潮流及降雨影響，其淤泥層厚度常會改變。

第五章 高雄港外海波浪與海流觀測分析

5.1 觀測方法

高雄港觀測站使用挪威 NORTEK 公司的 AWCP 即時傳送剖面流場與波浪監測系統, 2000 年 12 月中旬經會勘後選定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, 海底電纜沿著污水排放管鋪設如圖 5.1, 擬進行長期觀測。2001 年 6 月 23 日奇比颱風經過形成之外圍環流影響以致海底電纜遭受到外力拉扯受損後, 暫時以自記方式量測, 2002 年 6 月 20 日重新更換海底電纜以達成即時監測之功能; 但在 12 月中旬受到雙拖網漁船刮斷又暫時以自記方式量測中; 2003 年 6 月本中心在十號碼頭原站安裝一具壓力式潮位儀及風速風向即時傳送監測系統, 至今都在正常運轉中且資料完整。另高雄港務局測量隊於十號碼頭與二港口各有一座潮位站, 並負責維修及提供本所資料, 至今狀況良好。

(1) 波浪的量測

本系統現場安裝於海中之超音波式感應器是固定在海底床上處, 訊號經海底電纜傳回岸上接收儀, 感應器是本系統應有兩個分離的波高量測模式: 一個是對平靜的波浪時, 當資料由傳統式的壓力感應器量測時將會因儀器佈放的深度而受很大的影響。此時, 表面高度必須用一個聲波式的高度感應器(垂直式的探頭)量測波高。取樣頻率都設定為 2Hz, 每小時取樣 2048 筆資料, 亦即波高精度在每 0.5 秒間隔內分別量測所得速度 U、V、W 向量與壓力量, 量測取得之資料再作整合而得到波高、波向的資料。

(2) 水位的量測

壓力感應器所測得之壓力訊號可轉換為水位訊號, 取樣頻率亦設定為每小時觀測 10 分鐘之平均水位值。

(3)海流的量測

本系統海流測量模式可以依照使用在不同的水深即自海床上之儀器到水表面來設定量測的間距，高雄港觀測站水深 19 公尺，間距設定為 1 公尺；每小時連續量測 600 秒，再將總和平均代表其數樣每一間距層之海流流速、流向等資料，記錄在感應器內，每隔三個月左右收回儀器，資料下載後經處理分析後儲存在電腦中。

(4)溫度的量測

內建於感應器上，操作環境在-4 ~40 間其精度 0.1 ；全部之原始資料先儲存於水中感應儀器之記錄器中，每隔三個月左右收回儀器，資料下載後經處理分析後儲存在電腦內。待本中心接收站取得之原始波浪記錄，經利用程式轉換可做波高、波向的統計分析與波譜分析，可供各港務局之船舶交通管理系統 VTMS 連線做即傳送與學術單位進一步分析研究參考。

5.2 高雄港基本資料分析與特性

如圖 5.2~圖 5.14 為 2002 年 11 月~2003 年 12 月間在高雄中洲污水處理廠附近本中心觀測站所蒐集到之波浪、海流、水溫、水位、風速及風向之原始記錄資料，資料表示為上、中、下層之海流流速、流向逐時變化圖；由圖中顯示，此觀測站之流速、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，並有複合潮流產生。

圖 5.15~圖 5.26 為 2002 年 11 月~2003 年 11 月間高雄港外海測站各月份之波浪統計分佈玫瑰圖；圖 5.27~圖 5.38 為 2002 年 11 月~2003 年 11 月間高雄港外海測站各月份之海流統計分佈玫瑰圖；圖 5.39~圖 5.45 則為 2003 年 6 月~2003 年 12 月間高雄港外海測站各月份之風統計分佈玫瑰圖。另外表 5.1~表 5.10 分別為波浪、流及風之統計分析表，

根據以上資料分析，夏季季風在高雄地區以西南風為主，風速較冬季季風弱，在颱風未到達前，本地區海域所產生的波浪，以來自菲律賓海域及南海或西太平洋風場中傳播而來的湧浪為主，且颱風來襲時及颱風經過後，所引進之西南氣流會造成風浪，故夏季季風波浪之波高比冬季季風波浪稍高，波高大部份小於 1.5m，週期亦都在 9 秒以下。



圖 5.1 高雄港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖

第六章 結 論

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第一年之相關資料蒐集，現場勘察與初步觀測、取樣工作。以下總結本計畫年度工作成果及結論：

1. 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一、二港口流入港內淤積而成。
2. 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，分別為水層(WATER COLUMN)、液泥層(FLUID MUD LAYER)、軟泥層(SOFT MUD LATER)及硬泥層(STIFF MUD LAYER)等。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)。
3. 底泥之形成一般來自河川之細粒懸浮顆粒在入海口處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)。
4. 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。
5. 根據前鎮河測站離底 1 米處之懸浮質濃度觀測結果，顯示底床附近

懸浮質濃度有週期性變化趨勢，大週期變化約 18 天，小週期變化則與潮汐週期相當。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。

6. 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，同時也可能與每月之大小潮有關。前鎮河底床附近流速不大，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，成為港池淤泥主要來源之一。
7. 為瞭解港區淤泥之特性與分佈狀況，本調查研究在港區內分散選擇 50 個觀測點，進行淤泥厚度之探測並採樣作相關粒徑分析，探測結果發現港池內之淤泥層厚度因航道之不定期疏浚作業而呈現不均勻分佈現象。另外在靠近一港口之 31、32 及 45 號測站取樣分析結果，皆為沙質底床，沒有淤泥層，可見該區域受一港口外漂沙輸入影響較大。
8. 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之流速、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，並有複合潮流產生。
9. 夏季季風在高雄地區以西南風為主，風速較冬季季風弱，在颱風未到達前，本地區海域所產生的波浪，以來自菲律賓海域及南海或西太平洋風場中傳播而來的湧浪為主，且颱風來襲時及颱風經過後，所引進之西南氣流會造成風浪，故夏季季風波浪之波高比冬季季風波浪稍高，波高大部份小於 1.5m，週期亦都在 9 秒以下。

參考文獻

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. 陳秋姣(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。