



國立中山大學 海洋資源 研究所

碩士論文

愛河之水文研究

Hydrographic Characteristics of the Love River

研究生：蔡致維撰

指導教授：曾若玄

中華民國 93 年 9 月

謝誌

感謝指導教授 曾若玄老師在我修業期間不厭其煩的指導與修正使本文得以完成，在此非常感謝老師這四年來的教導與勉勵。

在論文口試期間，多謝 高志明教授，王玉懷助理教授，及陳冠宇助理教授對本論文多方指正，以及寶貴的意見。

實地採樣期間，特別感謝學長施孟憲，在高雄嚴熱的環境下，多虧他從旁協助，提供許多建議，來修正實驗的內容，降低人為的影響，以較少的變異數，獲得更完善的結果，二人相互扶持下，得以如期取得論文所需的資料。

實驗取樣和論文寫作期間，多謝學長沈勇廷、張育嘉，學姐孫佩君，同學劉鍾霖，學弟陳育村、吳俊達，學妹楊宛華、黃玉華、石蓮滿，以及參與「愛河河川水質改善及生態環境評估委託技術服務案」的諸位師長、同學，由於你們的熱情的支援以及專業的協助，使得學業得以如期完成。

研究期間蒙高雄市工務局下水道工程處提供實測資料以及各截流站的位置和相關資料，謹致謝忱。

最後，感謝我的父母親，不論何時、不問代價的支持，猶如我源源不絕的後援部隊，若非他們的堅持與鼓勵，可能無法完成學業，在此將這個成就獻給他們，以報答他們將近三十年來對我的期許。

摘要

本文在 2001/12/20 至 2003/9/10 一共完成了 27 次愛河流量與水文觀測，觀測地點位於九座橋上，另於 2004/6/16 在七賢橋做一次長約 27 小時的連續觀測。感潮段的水深受到潮汐的影響很大，高雄橋大潮時潮差達 1m，小潮時潮差只有 10cm 左右。此外鹽度變化與水位同相，漲潮時鹽度上升，退潮時鹽度下降，底層鹽度大約 27~33 psu，上層鹽度大約 5~25 psu。表層水溫與氣溫相關，底層水溫卻未與氣溫同時變化，而濁度與潮位反相，漲潮時濁度下降，退潮時濁度上升。將水位、鹽度、濁度作調和分析運算，分潮 K_1 振幅大於 M_2 振幅，代表全日潮影響的大於半日潮的影響，與高雄港潮位的調和分析結果相符合。另於 2004/6/16 在七賢橋，流速出現週期一小時，振幅 20cm/s 的振盪。

下游河段(高雄橋至中都橋)的水深和流量受到潮汐的影響非常明顯，潮汐所帶動的流量約為 ± 30 CMS，淨流量約為 1 ~ 9 CMS，治平橋開閘後，潮流上溯至鼎新橋，流量出現-7~+16CMS 的流量振盪，乾季時上游(鼎新橋至後港橋)的流量很小，約為 0 ~ 0.5 CMS，雨季時流量則增加到約 1 ~ 5 CMS。上游河段從一月起農業迴歸水量漸增，流量約為 1 ~ 2.8 CMS。中游河段(治平橋至龍華橋)在治平截流站關閉時的自然流量(總流量扣除抽水量)約為 0 ~ 5.7 CMS。

愛河上游之水力深度 D 與水力半徑 R 之關係比($R/D=\alpha$)，於流量 Q 小於 2 CMS 以下時， $R/D=\alpha$ 值皆為 0.9-1.0 之間，也就是當流量較小時， α 值趨近於 1；但於流量 2 CMS 以上時， $R/D=\alpha$ 值變動範圍為 0.8~0.9 之間，並且於較大流量時 α 值趨向 0.8 之趨勢。水力深度和流量的關係可以得到流量率定曲線(rating curve)，曲線擬合後得到平均水深隨著流量增加的近似關係，愛河的中游(龍心橋)為 $D=1.811Q^{0.2981}$ 和愛河的上游(後港橋)為 $D=0.2657Q^{0.2555}$ 。流量 Q 與通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 成正比，其中 T 為水面寬度，此符合曼寧公式 $Q=\beta TD^{5/3}$ 之性質，而符合線性關係者有二，鼎新橋 $TD^{5/3}=7.171Q$ 和後港橋的 $TD^{5/3}=0.7435Q$ 。

Abstract

In this study, twenty-seven experiments of transport and hydrographic observations were conducted at 9 bridges along the Love River during the period between 2001/12/20 and 2003/9/10. In each experiment repeated measurements were made at each bridge every two hours for a total period of 12 hours. An additional experiment (the 28th experiment) was conducted at 2004/6/16 in the Chihsien Bridge which consists of continuous measurements of velocity, depth and turbidity with a total length of 27 hours. Our results indicate that the Love River is influenced by the incoming tides from the river mouth up to the Dingxin Bridge. The tidal range is approximately 1m during spring tides (10cm during neap tides) at river mouth. The velocity at the Chihsien Bridge has a high frequency variation with a period of approximately 1 hour and amplitude of 20 cm/s during the 28th experiment. Salinity variations are in phase with tides, while turbidity and tides are out of phase. Harmonic analysis of depth, velocity, salinity and turbidity data all indicate that K_1 is the principal tidal constituent followed by M_2 .

River transport in the lower estuary is mainly comprised of two parts: tide and river discharge. The tidal induced transport is estimated to be ± 30 CMS and net river discharge is about 1~9 CMS. The upper estuary is affected by two transport mechanisms: agricultural runoff and rain precipitation. After analyzing the measurement results, the transport of the upper branches is estimated to be 0~0.5 CMS during dry seasons and 1~5 CMS during rainy seasons. The agricultural transport reaches its maximum value in January with an estimated rate of 1~2.8 CMS.

For the upper branches of Love River, the ratio α between the hydraulic depth D and hydraulic radius R is found to reach a constant value of 0.9~1.0 when the transport Q is less than 2CMS, and α is 0.8~0.9 when Q is greater than 2 CMS. The relationship between Q and the section factor $T^a D^b$, where T is the channel width, is found to be $TD^{5/3}=7.171Q$ (Dingxin Bridge) and $TD^{5/3}=0.744Q$ (Hougang Bridge) based on Manning formula. Finally, the relationship between Q and D is found to be $D=1.811Q^{0.2981}$ (Longxin bridge) and $D=0.266Q^{0.256}$ (Hougang Bridge).

目錄

謝誌-----	I
摘要-----	II
目錄-----	V
圖目錄-----	VII
表目錄-----	X
一、導論-----	1
1-1 前言-----	1
1-2 研究目的-----	4
二、研究區域概況-----	6
2-1 愛河簡介-----	6
2-2 雨量-----	7
2-3 潮汐-----	8
三、水理資料蒐集-----	11
3-1 實驗設計-----	11
3-2 儀器設備-----	19
四、愛河的感潮水理及調和分析-----	20
4-1 水位變化-----	21
4-2 流速特性-----	33

4-3 鹽度 溫度及濁度-----	40
4-3-1 鹽度-----	40
4-3-2 溫度-----	44
4-3-3 濁度-----	44
4-3-4 實驗二十八之鹽度、溫度及濁度-----	45
五、愛河之流量分析-----	49
5-1 影響愛河流量的因素-----	49
5-1-1 潮汐的影響-----	49
5-1-2 雨量的影響-----	50
5-1-3 農業迴歸水的影響-----	51
5-2 上游測站之流量關係式-----	58
5-2-1 水力半徑關係式-----	59
5-2-2 流量 Q 和水面寬度 T 之關係式-----	66
5-2-3 流量 Q 和水力深度 D 之關係式-----	70
5-2-4 流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係式-----	74
六、結論-----	78
參考文獻-----	80

圖目錄

圖 3-1	愛河水文測站和高雄港 10 號碼頭驗潮站的地理位置圖-----	13
圖 3-2	(a)一般的河川流速分布與(b)斷面流速測線之設定-----	13
圖 3-3	2004/6/16 儀器架設和河床的相關位置圖-----	18
圖 4-1-1	各次實驗之高雄橋測站(L1)的流量 水深隨時間變化圖----	22
圖 4-1-2	各次實驗之七賢橋測站(L2)的流量 水深隨時間變化圖----	23
圖 4-1-3	各次實驗之中都橋測站(L3)的流量 水深隨時間變化圖----	24
圖 4-1-4	各次實驗之治平橋測站(L4)的流量 水深隨時間變化圖----	25
圖 4-1-5	各次實驗之治平橋測站(L5)的流量 水深隨時間變化圖----	26
圖 4-1-6	各次實驗之治平橋測站(L6)的流量 水深隨時間變化圖----	27
圖 4-1-7	各次實驗之治平橋測站(L7)的流量 水深隨時間變化圖----	28
圖 4-1-8	實驗十四和十五, 高雄港與愛河水面隨時間變化圖-----	30
圖 4-1-9	實驗二十八, 高雄港潮位與七賢橋水面隨時間變化圖-----	31
圖 4-1-10	實驗二十八中, 七賢橋站水位的連續觀測及調和分析----	32
圖 4-2-1	高雄橋於 2003 / 9 / 5 9:00 退潮時段之斷面流速示意圖----	35
圖 4-2-2	七賢橋於 2003 / 8 / 26 13:00 漲潮時段之斷面流速示意圖--	35
圖 4-2-3	實驗二十八 RCM-9 之流速棍棒圖-----	36
圖 4-2-4	實驗二十八 RCM-9 之平行河道之流速圖-----	36
圖 4-2-5	2004/6/16~17, RCM-9 的流速的調和分析(M_2 、 K_1)-----	39

圖 4-2-6 實驗二十八 RCM-9 的流速的調和分析-----	39
圖 4-3-1 愛河平均鹽度隨測站變化圖-----	40
圖 4-3-2 實驗二十一七賢橋站的鹽度和水深隨時間變化剖面圖-----	41
圖 4-3-3 實驗二十二高雄橋站的鹽度和水深隨時間變化剖面圖-----	42
圖 4-3-4 實驗二十三高雄橋站的鹽度和水深隨時間變化剖面圖-----	42
圖 4-3-5 愛河感潮段各層之水位及鹽度隨時間變化圖-----	43
圖 4-3-6 實驗二十八的水溫 潮位和濁度隨時間變化圖-----	47
圖 4-3-7 實驗二十八的表層鹽度和潮位數值隨時間變化圖-----	48
圖 4-3-8 實驗二十八的表層水溫和潮位數值隨時間變化圖-----	48
圖 5-1-1 高雄橋 (L1) 到中都橋 (L3) 的流量 水深 雨量圖-----	55
圖 5-1-2 治平橋 (L4) 到龍華橋 (L6) 的流量 水深 雨量圖-----	56
圖 5-1-3 鼎新橋 (L7) 到後港橋 (L9) 的流量 水深 雨量圖-----	57
圖 5-2-1 愛河龍心橋站水力半徑及水力深度關係-----	62
圖 5-2-2 愛河龍心橋站流量及 α 值的關係-----	63
圖 5-2-3 愛河龍華橋站水力半徑及水力深度關係-----	63
圖 5-2-4 愛河龍華橋站流量及 α 值的關係-----	63
圖 5-2-5 愛河鼎新橋站水力半徑及水力深度關係-----	64
圖 5-2-6 愛河鼎新橋站流量及 α 值的關係-----	64
圖 5-2-7 愛河菜金橋站水力半徑及水力深度關係-----	64

圖 5-2-8 愛河菜金橋站流量及 α 值的關係-----	65
圖 5-2-9 愛河後港橋站水力半徑及水力深度關係-----	65
圖 5-2-10 愛河後港橋站流量及 α 值的關係-----	65
圖 5-2-11 愛河龍心橋站流量及水面寬度關係-----	68
圖 5-2-12 愛河龍華橋站流量及水面寬度關係-----	68
圖 5-2-13 愛河鼎新橋站流量及水面寬度關係-----	68
圖 5-2-14 愛河菜金橋站流量及水面寬度關係-----	69
圖 5-2-15 愛河後港橋站流量及水面寬度關係-----	69
圖 5-2-17 愛河龍華橋站流量及水力深度關係-----	72
圖 5-2-16 愛河龍心橋站流量及水力深度關係-----	72
圖 5-2-18 愛河鼎新橋站流量及水力深度關係-----	72
圖 5-2-19 愛河菜金橋站流量及水力深度關係-----	73
圖 5-2-20 愛河後港橋站流量及水力深度關係-----	73
圖 5-2-21 愛河龍心橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	76
圖 5-2-22 愛河龍華橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	76
圖 5-2-23 愛河鼎新橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	76
圖 5-2-24 愛河菜金橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	77
圖 5-2-25 愛河後港橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	77
圖 6-1 實驗二十八 RCM-9 測得之瞬時流速與平均水位-----	79

表目錄

表 2-1 高雄港潮位統計表(民國 55 年至 83 年)	10
表 2-2 高雄港潮汐調和常數表	10
表 3-1 本研究的 27 次流量與溫鹽實測日期	14
表 4-1 本研究所用到的分潮名稱及週期	20
表 4-1-1 實驗二十八水位之分潮振幅及相位角	32
表 4-2-1 實驗二十八(L2)RCM-9 潮流之分潮振幅及相位角	38
表 4-3-1 實驗二十八(L2)RCM-9 之分潮振幅及相位角	46
表 4-3-2 實驗二十八(L2)表層溫鹽度之分潮振幅及相位角	46
表 5-1-1 2002 年高雄氣象站的逐日雨量資料	53
表 5-2 各種幾何渠道斷面數值分析表	59
表 5-2-1 愛河水力半徑 R 與水力深度 D 之關係	61
表 5-2-2 愛河流域上游 α -Q 之關係表	61
表 5-2-3 曾文溪水力半徑 R 與水力深度 D 之關係	61
表 5-2-4 曾文溪流域 α -Q 之關係表	62
表 5-2-5 高屏溪水力半徑 R 與水力深度 D 之關係	62
表 5-2-6 高屏溪流域 α -Q 之關係表	62
表 5-2-7 愛河流量 Q 和水面寬度 T 之關係	67
表 5-2-8 曾文溪流量 Q 和水面寬度 T 之關係	67

表 5-2-9 高屏溪流量 Q 和水面寬度 T 之關係-----	67
表 5-2-10 愛河流量 Q 和水力深度 D 之關係-----	71
表 5-2-11 曾文溪流量 Q 和水力深度 D 之關係-----	71
表 5-2-12 高屏溪流量 Q 和水力深度 D 之關係-----	71
表 5-2-13 愛河流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	75
表 5-2-14 曾文溪流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	75
表 5-2-15 高屏溪流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係-----	75

一、導論

1-1 前言

回顧高雄市的都市發展與開發歷史，都與愛河有密不可分的關聯，從早期舊市政府即座落在愛河旁，至今法院依舊在愛河邊，市議會亦在距愛河不遠的中正路上，處處可見愛河流經的區域曾是高雄市的政經精華區。隨著早期都會區在愛河下游的鹽埕區和前金區發展，而後逐漸沿愛河向北發展，包括三民區、鼓山區，一直延續到左營區，因此只要順著愛河河口溯河北上，即可見高雄市百年來都市發展的演進。然而都市的人口增加，帶來大量的污水，在未經任何處理之下直接注入愛河，不僅影響市容觀瞻，且嚴重破壞水生環境與水生資源。因此從民國 68 年起，高雄市政府已興建防潮閘門式截流站阻斷污水流入愛河的方式，來改善愛河水質，在雨、污水下水道尚未完全分離前，高雄市下水道工程處於治平橋、九如橋、鼓山運河、力行路、興隆溝、二號運河、六合路、七賢路、民生路及新樂街等十處下水道出口設置防潮閘式截流設施，以阻絕污染物流入愛河下游。高雄市政府工務局下水道工程處持續推動污水下水道系統的興建，在完成「愛河治平橋至寶珠溝水質改善工程」後，即將開啟治平橋截流站，並將截流設備移置於寶珠溝上游及 K 幹管，使愛河主流成為暢通無阻的自然河道，此後愛河流域的感潮帶將有所改變。

感潮河川下游鹽分入侵段稱之為河口，河口及感潮河段為河川流域及近岸海洋水與物質交換必經之通道，影響河口水理之因素包括淡水流、潮流、密度流、地形流及氣象流等，交互作用，錯綜複雜。必須先著手探討導致河口動力的因素，包括潮波傳遞狀況、重力循環或受兩者間交互作用之影響。有些河口主要受到潮汐控制或重力循環控制，有些河口則受到潮汐及重力循環相互作用之控制影響。在河口區另存在有淡水與海水之交互作用、鹽淡水混合和鹽分入侵等問題，均與河口環流產生密切關係。感潮河川的水理狀況既具有內陸河流的特徵，如淡水流量的洪水期、枯水期等季節之變化，又有海洋的特徵，如潮汐的漲落及大、小潮的變化，海洋和河川的動力因素都存在並且同時發生作用，相互消長，並且受風剪力作用，並會對流場產生顯著之影響。在河口區，由於淡水與海水之交互作用，潮汐波因水深遠小於波長，歸類為淺水波，另存在有河口環流、鹽淡水混合和鹽水入侵等問題，遠較一般河川複雜(Julien , 2002)。

潮流是受到外海潮汐作用，使得河水有漲、落潮的現象，當僅有潮汐作用時，感潮段水流形態較為單純，漲潮時水深增加流速減緩，退潮時水深減小且漲潮時進入河川的河水釋出，使得流速增加。河川流是上游的淡水流，有阻止潮波上溯，減小漲潮流速和增大退潮流速的作用，淡水流也受到洪水期、枯水期等季節性流量的變化而有不

同，通常豐水期漲退潮歷時差異較大，枯水期時差異較小。密度流是進入河口區的淡水與鹽水潮流因密度不同而產生水體的相對運動，密度大的海水由底部進入河口區，密度小的淡水在上層流動，由於上層淡水與下層鹽水界面間的摩擦力，形成二層流現象(two-layer flow)，在漲潮期間鹽分上溯，亦增加底層上溯流動作用，退潮時有阻止底層水流且增大表層淡水流動之作用，形成密度環流(density circulation)，或稱重力環流(gravitational circulation)。密度環流會加大底部漲潮流速，減小落潮底部流速，上游河川淡水流量之大小及下游河口的潮汐變動對於密度環流會產生重大影響 (Fischer ,1979)。

早期對河口水理特性作系統的基礎研究(Pritchard ,1954、1956)，發現除了一般所見的潮流進出外，由密度差引起的河口環流是另一重要的水理現象。之後，Haas (1977)陸續發現大潮、小潮週期之變化對鹽分垂直分佈的影響。而 Uncles(2000)提出河口區因海水與淡水間之交互作用，導致鹽分分層現象，又因密度差而產生密度流，並以 Tavy 河口水文特性作印證， 吳(1999)比較屏東四條河川，說明台灣河川多急短，流速快，但枯水期時，水位低造成河口流量太小，使污水不能排出，形成污染。柳等(1998、2000)說明河口的鹽度與水位同相位變化，而流速與水位呈現 90° 的相位差，並以淡水河為實例。在淡水河之河口環流部分，當上游淡水流量高時，下游河口環流減弱，當上

游淡水流量低時，下游河口環流現象增強(許等, 1996、1997)。

自然河川的流速、流量與河川深度、河道寬度、河床糙度、河床坡度等因素有很密切之關係(謝, 2003)。曾文溪水力半徑及水力深度之比值大小，與流量的大小關係相反，即比值越大，流量越小，(王,2003)。為減少水患，人們替河流構築堤防，同時也限制了河流的變遷，因此若能掌握主深槽的穩定特性，便能掌握河道之安定，進而掌握維持河流生態環境之方法。

1-2 研究目的

愛河多年來欠缺現場的水理資料收集及分析，必須先就愛河流水斷面水量、流域內農業迴歸水渠道及水量等項目進行現場調查及分析，本文基本資料之蒐集分析主要針對潮汐與感潮特性作討論，而實際調查工作則主要偏重於斷面流量、水深及溫鹽度分佈等。

愛河因無長時間之連續水流及鹽分之觀測資料，無法判斷河口環流現象之強弱狀況，本文主要針對不同流量，對其河口水理及鹽分入侵所帶來的改變，另外，亦從以往的記錄分析流量的時間變化並求得其感潮情形。最後以愛河流域及河口為對象，觀測並收集各種水文資料，分析各水文站之流量和河道幾何時性之關係、愛河的河口感潮特性以及找出實際的感潮帶位於何處。

自然河川之河道斷面極不規則，因此其流量 Q -水面寬度 T 、流

量 Q -水力深度 D 等之關係非常複雜，不易以簡單之數學式表示，故本文以迴歸方式，並將實測河川資料，如流量 Q 與水面寬度 T 之資料點繪於雙對數座標上藉以求得流量 Q 與水面寬度 T 之相關式。

二、研究區域概況

2-1 愛河簡介

愛河源於高雄縣仁武鄉八卦寮，自東北而西南，經左營、三民、鼓山、鹽埕、前金、苓雅等區，而後注入高雄港第一港口。主流全長 12 公里，流經高雄市區約 10.5 公里。河道寬度從下游出海口的 130 公尺往上游依序遞減到 14 公尺。流域面積 5600 公頃，沿岸居住人口約 72 萬人。

愛河為感潮河川，河水水位受高雄港海水漲退影響而變化，潮汐平均落差為 0.72 公尺，而五年一次的暴雨之水位落差在治平橋可達 1.53 公尺，在高雄橋只有 0.78 公尺，水流極為平緩。出海口的水深為 3.7 公尺，往上游逐漸遞減，建國橋為 3 公尺，治平橋為 2.1 公尺，至民族路的寶珠溝為 0.7 公尺。因受高雄港海水潮汐的影響，愛河下游為海水，中、上游為淡水，感潮河段可達民族路的寶珠溝。

愛河主流的橋樑計有 21 座，平均每 500 公尺就有一座橋，最接近出海口的橋是港區鐵路專用橋。最接近源頭的橋是高雄榮民總醫院後側的後港橋。

自八卦寮而下，現今可尋得的愛河支流及圳道有六，分別是愛河榮總支線、文藻語專的 D 支線、鼎新橋的 H 幹線、明誠路的 K 幹線、三民一號公園的寶珠溝、七賢國中前的二號運河。

愛河流域涵蓋高雄市面積的 40%，是高雄市最重要的洩洪道。

1979 市政府開始執行愛河整治計畫，採雨水、污水分流制，並在治平橋、九如橋、鼓山運河、力行路、興隆溝、二號運河、七賢路、六合路、民生路、新樂街、大義路等十一處雨水下水道出口設置防潮閘門截流設施，高雄市地形平緩，其中平原區佔全市 95%之面積，高度約介於 15 公尺之間，除壽山（海拔 356 公尺）與半屏山（220 公尺）突起於市區之西緣，以及鳳山丘陵隆起於東北隅外，其餘地勢均甚平緩。一般而言，除濱海地區外，高雄市四周之地勢較高，向愛河主支流做輻射狀傾斜降低。愛河在此種天然條件下，很自然的成為市區最主要之排水大動脈，通常發源於平野之河川並無固定豐沛之水源，幾乎沒有基流量，由此可知，晴天時愛河的水源，主要為農業迴歸水、工廠廢水及家庭污水。

2-2 雨量

高雄地區降雨型態受東北季風與地理因素之影響，四季變化不定。高雄地區歷年之平均降雨天數為 100 天，佔全年四分之一強，全年總降雨量約為 1,750mm。雨季主要集中於每年 6 月至 10 月下旬，在此期間由於西南季風盛行，雨量特多，且因氣候炎熱而大氣對流作用旺盛，易生雷雨，尤其在 9 月間颱風頻仍，故時常帶來大量豪雨。根據中央氣象局的統計資料顯示，每年 6 月至 10 月間之降雨日數約

70 天，佔全年降雨日數之 70%，而此期間之平均降雨量則為 1,550mm，更佔了全年降雨量之 89%。而每年 11 月至翌年 5 月，因東北季風盛行，雨量較少，則屬於乾季。

2-3 潮汐

愛河下游主流於接納支流大港溪(今二號運河)後，即沿著主流，流經七賢橋、中正橋、高雄橋後在苓雅寮注入高雄港，因此愛河為感潮河川，河水水位受到高雄港海水漲退潮影響而變化，在此便將過去文獻中有關高雄港之潮汐資料予以整理分析。

高雄港區現在之長期觀測驗潮站有兩處，其一設置於蓬萊商港區 10 號碼頭愛河出海口附近，離一港口距離不遠，紀錄較為完整無中斷，另一站設於二港口內港第 10 船渠內，離二港口距離較近，資料完整性較差，因此一般皆是以一港口之潮位站資料為依據。對於高雄港之潮汐特性作過分析研究的計有高雄海專、成功大學水工試驗所、港灣技術研究所等單位。

港灣技術研究所曾分析民國 55 年至 83 年間之高雄港潮位記錄，經由統計分析得到各種代表性潮位如表 2-1 所示，結果顯示高雄港二十九年間之平均潮差約為 0.67 公尺，最大潮差則為 0.92 公尺。水位會隨著季節不同而有明顯的起伏，在夏、秋兩季水位較高，而冬季則明顯較低，其原因為夏、秋兩季受熱帶性低氣壓的影響致水位抬升，

而冬季期間有大陸性冷氣團之高壓籠罩，致水位降低。最高潮位發生於夏季朔望日附近，潮位為 2.6 公尺，最低潮位發生於冬季朔望日，水位幾近於零，平均潮位約為 0.75 公尺。

表 2-2 為高雄港潮位資料經調和分析後所得之主要分潮 O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 的振幅及相位角，若依一般潮型之分類，以主要全日潮與半日潮之振幅和來劃分，

$$F = \frac{K_1\text{潮之振幅} + O_1\text{潮之振幅}}{M_2\text{潮之振幅} + S_2\text{潮之振幅}}$$

當 $F < 0.25$ ，半日潮型

$0.25 < F < 1.5$ ，混合潮型(偏半日潮)

$1.5 < F < 3.0$ ，混合潮型(偏全日潮)

$F > 3.0$ ，全日潮型

由表 2-2 中各分潮之振幅值可以計算得到高雄港之 F 值為 1.53，此結果顯示高雄港之潮汐型態屬於以全日潮較具優勢之混合潮型。成功大學水工試驗所與高雄海專亦作過高雄港的潮汐分析，所獲得的結果與上述結果均類似。

感潮特性的監測是以溫鹽度作為判斷的依據，依序在各個測站以採水器採集各測線上不同深度的水樣，紀錄其溫度和鹽度，根據鹽度隨著出海口距離的變化便可得知愛河及其支流感潮段的特性。

表 2-1 高雄港潮位統計表(民國 55 年至 83 年)

項目	潮位(公分)
最高高潮位(H.H.W.L.)	260
平均高潮位(M.H.W.L.)	111
平均潮位(M.W.L.)	75
平均低潮位(M.L.W.L.)	45
最低低潮位(L.L.W.L.)	-8

註：潮位係依高雄港務局之水準系統，水準零點高程-47 公分

資料來源：港灣技術研究所

表 2-2 高雄港潮汐調和常數表

分潮名稱	角速度(度/小時)	振幅(公分)	相位角(度)
O ₁	13.9430356	18.80	281.99
K ₁	15.0410686	19.21	346.94
M ₂	28.9841042	17.76	199.79
S ₂	30.0000000	7.03	354.34

資料來源:高雄海專

三、資料蒐集

3-1 實驗設計

本文於 2001 年 12 月 20 日至 2004 年 6 月 16 日共完成 28 次水文採樣，分為兩部分，前 27 次為流量觀測實驗，第 28 次做長時間連續的觀測。

第一階段的 27 次觀測實驗，利用愛河全段的九個橋樑作為測站，圖 3-1 為愛河沿線的九個流量測站(簡稱為 L1~L9)和 10 號碼頭驗潮站的地理位置圖，測量其水位、流速、水溫和鹽度。本文中是使用電磁式流速儀來量測流速及流向，水深的測定是以標定長度的繩索加上重錘為之。利用愛河全段的各個橋樑作為測站，在其上方將流速儀垂直放入水中，再依照測站之水深條件分別以一點法或兩點法量測流速、流向。採用河川斷面流速測定法，如圖 3-2(b)所示，以水深測線將該斷面分成若干面積 A_1 、 A_2 、.....、 A_n ，個別測其水深，再於通過這些區分橫斷面重心之鉛直線上，以流速儀測定各流速測線之平均流速 V_1 、 V_2 、.....、 V_n ，則河川流量為

$$Q = A_1V_1 + A_2V_2 + \dots + A_nV_n$$

水路斷面一般的流速垂直分佈如圖 3-2(a)所示，由於邊界摩擦力的阻礙使得河面和河底處流速變小，當斷面水深較小時便採用一點法測流，如治平橋、龍華橋、鼎新橋、菜金橋和後港橋，亦即取水面下 60 % 水深位置處之流速為平均流速，當斷面水深較大時便採用兩點法

測流，如高雄橋、七賢橋、中都橋和龍心橋，亦即取水面下水深之 20 %與 80 %兩點位置之平均流速作為該測線之平均流速(連，2000、林，2003、Chow 1969)。另外也根據河道寬度來決定流速測線的數目，在河道最寬的下游河段如高雄橋，每次斷面水量測量包含了四條流速測線與九條水深測線，每條流速測線包含上下兩點流速($V_{0.2}$ 和 $V_{0.8}$)。七賢橋，每次斷面水量測量包含了三條流速測線與七條水深測線與兩點法測流。流量監測工作為每兩小時重複乙次，連續進行 12 小時，這樣便可量測流速、流向和流量隨著高雄港漲退潮的變化，每兩個月內對各測站至少測三次斷面流量，選擇每月大小潮的日期進行觀測，從最下游的高雄橋至最上游的後港橋共包含九處流水斷面的測站。

第一階段共完成了二十七次流量觀測實驗，每次實驗時間前後約為五天左右，表 3-1 為本研究期間所完成的二十七次流量觀測的實驗日期。治平橋位於截流站上游，觀測期間只有 2002 年 7 月至 11 月閘門是開啟的情況，也就是實驗十一至十五愛河主流河道為全程貫通的狀態，此時才能看出愛河的感潮段至何處，河口的流場亦受淡水入侵，而有所變化。為了繪出鹽度和流速剖面的細部變化，在實驗二十一至二十七於治平截流站下游的高雄橋站(L1)和七賢橋站(L2)，增加 0.5 水深的測點，中都橋站(L3)則因新工程在橋上加裝鋼板及夜間光線照明設備，無法採水，所以並沒有溫鹽度的量測。

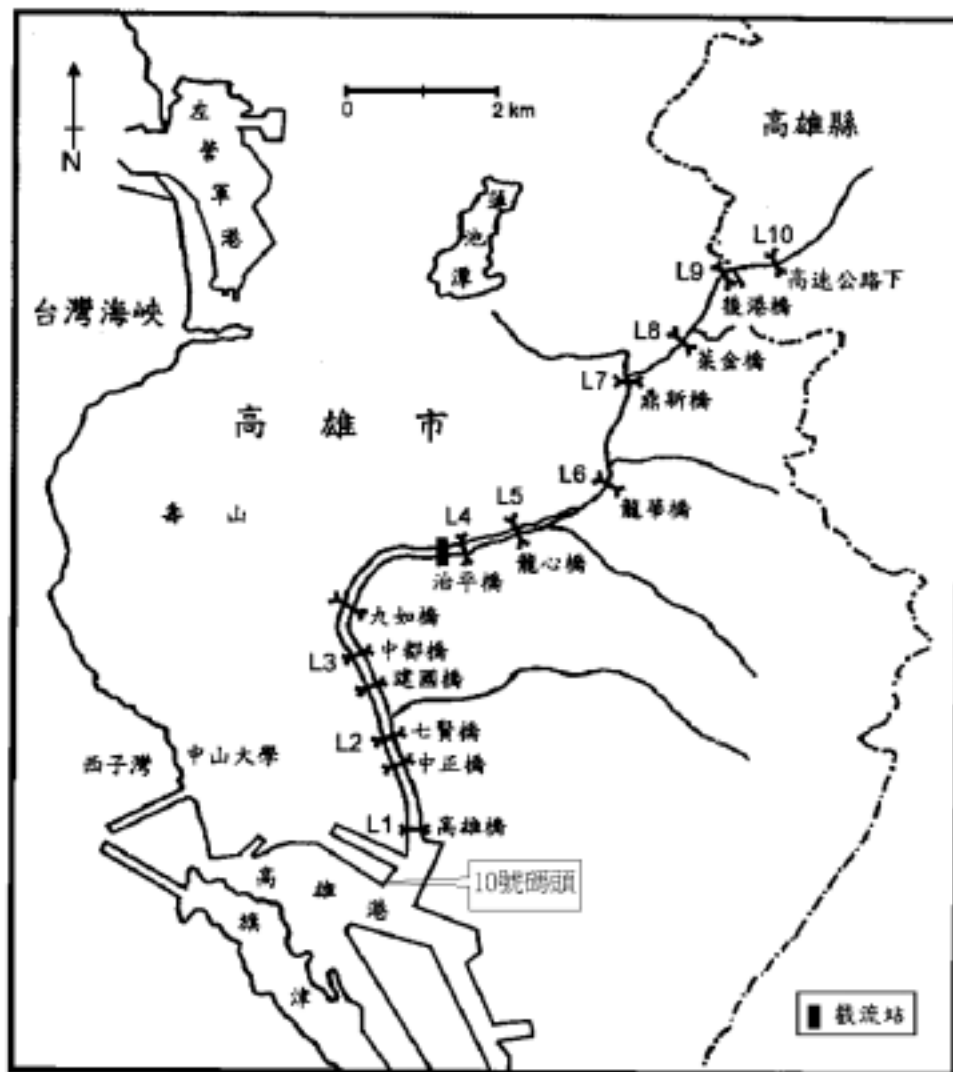


圖 3-1 愛河水文測站和高雄港 10 號碼頭驗潮站的地理位置圖

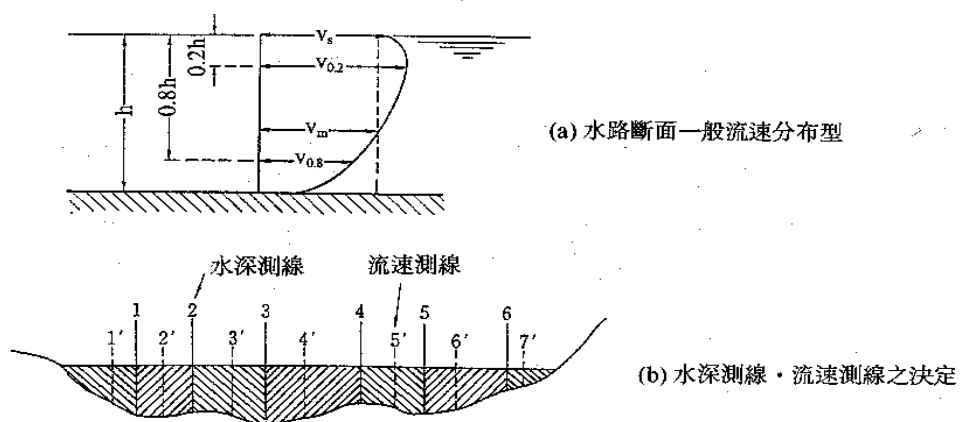


圖 3-2 (a)一般的河川流速分布與(b)斷面流速測線之設定

表 3-1 本研究的 27 次流量與溫鹽實測日期, 括號內為對應的陰曆日

期, N/A 表示無觀測, T/S 表示有溫鹽觀測

測站 實測 日期	高雄橋 L1	七賢橋 L2	中都橋 L3	治平橋 L4	龍心橋 L5	龍華橋 L6	鼎新橋 L7	菜金橋 L8	後港橋 L9
EX1	2001 12/20	2001 12/25	2002 1/3	2002 1/3	2001 12/28 (11/14)	2001 12/28	2001 12/27	2001 12/27	2001 12/27
EX2	2002 1/10	2002 1/11	2002 1/12	2002 1/12	2002 1/14 (12/2)	2002 1/14	2002 1/15	2002 1/15	2002 1/15
EX3	2002 2/1	2002 2/2 (12/21)	2002 2/4	2002 2/4	2002 2/5	2002 2/5	2002 2/6	2002 2/6	2002 2/6
EX4	2002 2/25	2002 2/26 (1/15)	2002 2/28	2002 2/28	2002 3/1	2002 3/1	2002 3/4	2002 3/4	2002 3/4
EX5	2002 3/13	2002 3/14 (2/1)	2002 3/15	2002 3/15	2002 3/18	2002 3/18	2002 3/19	2002 3/19	2002 3/19
EX6	2002 4/2	2002 4/3	2002 4/4 (2/22)	2002 4/4	2002 4/8	2002 4/8	2002 4/9	2002 4/9	2002 4/9

表 3-1(續)

測站 實測 日期	高雄橋 L1	七賢橋 L2	中都橋 L3	治平橋 L4	龍心橋 L5	龍華橋 L6	鼎新橋 L7	菜金橋 L8	後港橋 L9
EX7	2002 04/25 T/S	2002 04/26 (03/14) T/S	2002 04/27	2002 04/27	2002 04/29	2002 04/29	2002 04/30	2002 04/30	2002 04/30
EX8	2002 05/14 (04/03) T/S	2002 05/15 T/S	2002 05/16 T/S	2002 05/16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EX9	2002 05/27 (04/16)	2002 05/28	2002 05/29	2002 05/29	2002 05/24	2002 05/24	2002 05/30	2002 05/30	2002 05/30
EX10	2002 N/A	2002 N/A	N/A	N/A	2002 07/15 (06/06)	2002 07/15	2002 07/16	2002 07/16	2002 07/16
EX11	2002 08/08 T/S	2002 08/09 (07/01) T/S	N/A	N/A	2002 08/13 T/S	2002 08/13 T/S	2002 08/12	2002 08/12	2002 08/12
EX12	2002 N/A	2002 N/A	2002 09/11 T/S	2002 09/11 T/S	2002 09/10 T/S	2002 09/10 T/S	2002 09/09 (08/03)	2002 09/09	2002 09/09
EX13	2002 10/07 (09/02) T/S	2002 10/08 T/S	N/A	2002 10/09 T/S	2002 10/04 T/S	2002 10/04 T/S	2002 10/03	2002 10/03	2002 10/03

表 3-1(續)

測站 實測日期	高雄橋 L1	七賢橋 L2	中都橋 L3	治平橋 L4	龍心橋 L5	龍華橋 L6	鼎新橋 L7	菜金橋 L8	後港橋 L9
EX14	2002 10/21 (09/16) T/S	2002 10/22 T/S	N/A	2002 10/23 T/S	2002 10/24 T/S	2002 10/24 T/S	2002 10/25 T/S	2002 10/25 T/S	2002 10/25 T/S
EX15	2002 11/04 T/S	2002 11/05 (10/01) T/S	2002 11/06 T/S	2002 11/06 T/S	2002 11/07 T/S	2002 11/07 T/S	2002 11/08 T/S	2002 11/08 T/S	2002 11/08 T/S
EX16	2002 12/02	2002 12/03	2002 12/04 (11/01)	2002 12/04	2002 12/05	2002 12/05	2002 12/06	2002 12/06	2002 12/06
EX17	2003 01/08 T/S	2003 01/09 (12/07) T/S	2003 01/10 T/S	2003 01/10 T/S	2003 01/13 T/S	2003 01/13 T/S	2003 01/15	2003 01/15	N/A
EX18	2003 02/12	2003 02/13 T/S	2003 02/14 (01/14) T/S	2003 02/14 T/S	2003 02/17 T/S	2003 02/17 T/S	2003 02/18	2003 02/18	2003 02/18
EX19	2003 03/19 T/S	2003 03/20 T/S	2003 03/21 T/S	2003 03/21 T/S	2003 03/24 (02/22) T/S	2003 03/24 T/S	2003 03/25	2003 03/25	2003 03/25
EX20	2003 04/22 T/S	2003 04/21 T/S	2003 04/18 T/S	2003 04/18 T/S	2003 04/17 T/S	2003 04/17 T/S	2003 04/16 (03/15)	2003 04/16	2003 04/16

表 3-1(續)

測站 實測 日期	高雄橋 L1	七賢橋 L2	中都橋 L3	治平橋 L4	龍心橋 L5	龍華橋 L6	鼎新橋 L7	菜金橋 L8	後港橋 L9
EX21	2003 5/15 (4/15) T/S	2003 5/16 T/S	2003 5/19 T/S	2003 5/19 T/S	2003 5/20 T/S	2003 5/20 T/S	2003 5/12	2003 5/12	2003 5/12
EX22	2003 6/17 T/S	2003 6/16 (5/17) T/S	2003 6/11 T/S	2003 6/11 T/S	2003 6/10 T/S	2003 6/10 T/S	2003 6/9	2003 6/9	2003 6/9
EX23	2003 7/11 T/S	2003 7/9 T/S	2003 7/8	2003 7/8 T/S	2003 7/4 T/S	2003 7/4 T/S	2003 7/1 (6/2)	2003 7/1	2003 7/1
EX24	2003 7/25 T/S	2003 7/24 T/S	2003 7/23	2003 7/23 T/S	2003 7/22	2003 7/22	2003 7/21 (6/22)	2003 7/21	2003 7/21
EX25	2003 8/8 T/S	2003 8/11 (7/14) T/S	2003 8/7	2003 8/7 T/S	2003 8/6 T/S	2003 8/6 T/S	2003 8/5	2003 8/5	2003 8/5
EX26	2003 8/27 (7/30) T/S	2003 8/26 T/S	2003 8/25	2003 8/25 T/S	2003 8/22 T/S	2003 8/22 T/S	2003 8/21	2003 8/21	2003 8/21
EX27	2003 9/5 T/S	2003 9/8 T/S	2003 9/9	2003 9/9 T/S	2003 9/10 (8/14) T/S	2003 9/10 T/S	2003 9/4	2003 9/4	2003 9/4

實驗二十八為了加上長時間連續的觀測，因此在二〇〇四年六月十六日清晨六點半至十七日九點半，於七賢橋利用 PT 及 RCM-9 作定點的時間序列記錄，架設方式如圖 3-3，使用 RCM-9 觀測水位、流速、溫度以及濁度，取樣時間間隔為一分鐘，並利用 PT 的水位資料做比對，取樣間隔為一秒鐘，同時每隔一小時在整個斷面做 EM 的流速測量，比較流速和水位的資料。因為時間和儀器上的失誤，並沒有做整個水層的採水，但亦有測量表層的水溫及鹽度，並與底層 RCM-9 取得的溫度和鹽度之資料做對照。

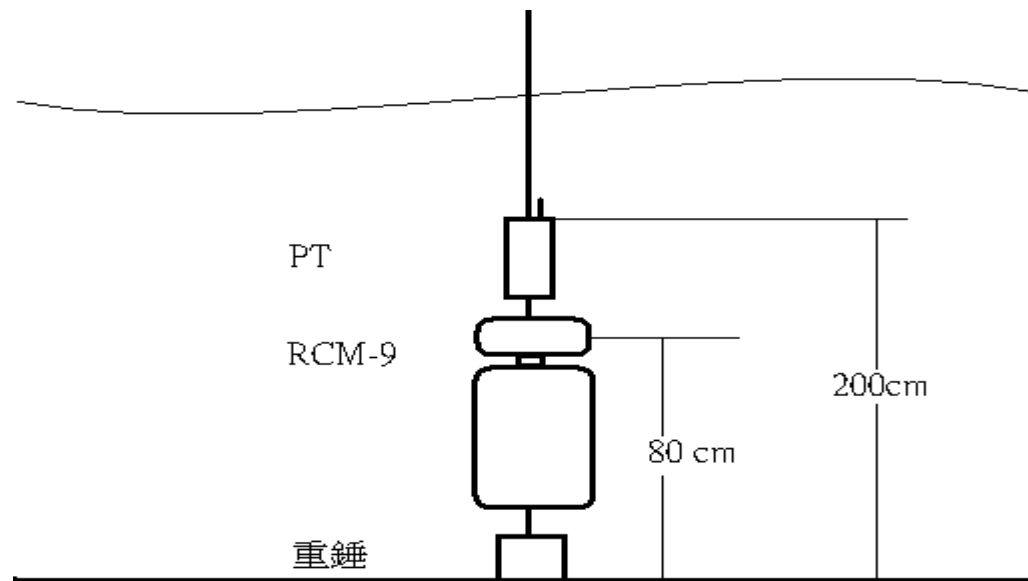


圖 3-3 2004/6/16 儀器架設和河床的相關位置圖

3-2 儀器設備

本文在作愛河斷面流量的調查工作時，會同時測量流速、流向、水深及溫鹽度等物理量，而使用的儀器有下列幾種：

- (1) ALEC 電磁式流速儀(Electro-Magnetic Current Meter，簡稱為 EM，ALEC Electronics 公司出品，ACM210-D)，用以測量定點的流速和流向，其基本原理利用法拉第電磁感應定律(Faraday's Electromagnetic Induction Law)，將水分子視為帶電粒子，當水分子通過感應器線圈時會使線圈的磁通量發生變化並在線圈上產生感應電動勢，由其大小知道水流的狀況。
- (2) Recording Unit RCM-9(Aanderaa Instruments 公司出品)，其上裝有杜卜勒流速計(Doppler Current Sensor 3920)、壓力計(Pressure Sensor 3815A)、溫度計(Temperature Sensor 3621)和濁度計(Turbidity Sensor 3612B)，可以測量定點的流速流向、水深、水溫和濁度，杜卜勒流速計其基本原理為利用聲學的杜卜勒效應，當音鼓的聲波打中水中的懸浮粒子，反射回儀器，取得之間的相對運動，進而求出水流的速度和流向。
- (3) 自記式溫深儀，簡稱 PT，其上有壓力計，可以探測定點的水深。
- (4) 溫鹽計(WTW 公司出品，Cond 315i)，可測量定點的水溫和鹽度。
- (5) 採水瓶，採集定點水深之水體。

四、愛河的感潮水理及調和分析

將潮汐所引起的變化利用一組三角函數加以描述，函數中的每一個對時間調和成份稱為一個分潮，每一分潮代表一個假想天體的引潮力對觀測地點水位所產生的一種簡諧運動，各分潮有其相應的角速率、週期及振幅，實際的潮汐現象可以視為是由許多分潮所組成的複合運動。理論上潮位由數個分潮所組成，一般根據實際觀測的潮汐資料，將潮汐分解為許多簡諧振動的分潮，分別計算各分潮調和常數(相位角和振幅)，此方法稱潮汐調和分析(harmonic analysis of tide)。由 N 個分潮所合成的潮位可的一般表達式為

$$\eta_r = \sum_{i=1}^N \eta_i = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \cos\left(\frac{2\pi}{T_i} t + \delta_i\right)$$

其中， a_i 、 δ_i 分別為振幅及相位角，亦稱為各個分潮的調和常數，它反映該地區的地理特徵及水文氣象對潮汐的影響，表 4-1 列舉本文所用到的 2 項主要分潮和 2 項淺水分潮。

表 4-1 本研究所用到的分潮名稱及週期

分潮符號	分潮名稱	週期(hr)
半日分潮		
M_2	太陰主要半日分潮	12.42
全日分潮		
K_1	太陰-太陽赤緯全日分潮	23.93
淺水分潮		
M_4	太陰淺水 1/4 日分潮	6.21
M_6	太陰淺水 1/6 日分潮	4.14

將河口各測站的資料先概分為三類，第一項為水位變化，感潮測站因潮汐所造成的水位的漲退潮變化，第二項為流速特性，河口段可觀測潮汐對潮流的影響，上游段作為流量關係式的基礎，第三項為溫度、鹽度及濁度。

4-1 水位變化

水位變化可分為兩部分來討論，河口及下游的測站主要受到潮汐的影響，漲潮時潮水上溯，在感潮河段中各斷面水位上昇，退潮時則下降，而潮汐漲落影響最遠點之間稱為潮區界，水位變化於高雄橋站(L1)大潮約為 111cm(實驗九)，小潮只有 26cm(實驗十七) 如圖 4-1-1，七賢橋站(L2)大潮為 108cm(實驗十一)，小潮只有 16cm(實驗二十四) 如圖 4-1-2，中都橋站(L3)大潮為 113cm(實驗二十一)，小潮只有 11cm(實驗二十三) 如圖 4-1-3，而實驗十一至實驗十五，治平截流站打開，使潮汐上溯至鼎新橋，潮區界約在支流 H 幹線與主流交會處，受潮汐與淡水流量雙重影響，治平橋站(L4)潮差約為 29cm 至 41cm，如圖 4-1-4，龍心橋站(L5)的潮差約為 17cm 至 60cm，如圖 4-1-5，龍華橋站(L6)的潮差約為 8cm 至 68cm，如圖 4-1-6，鼎新橋站(L7)大潮的潮差約為 16cm 至 94cm，如圖 4-1-7。而第二部分上游測站主要受自然河道的淡水流作用，於第五章與流量等水理性質作分析。

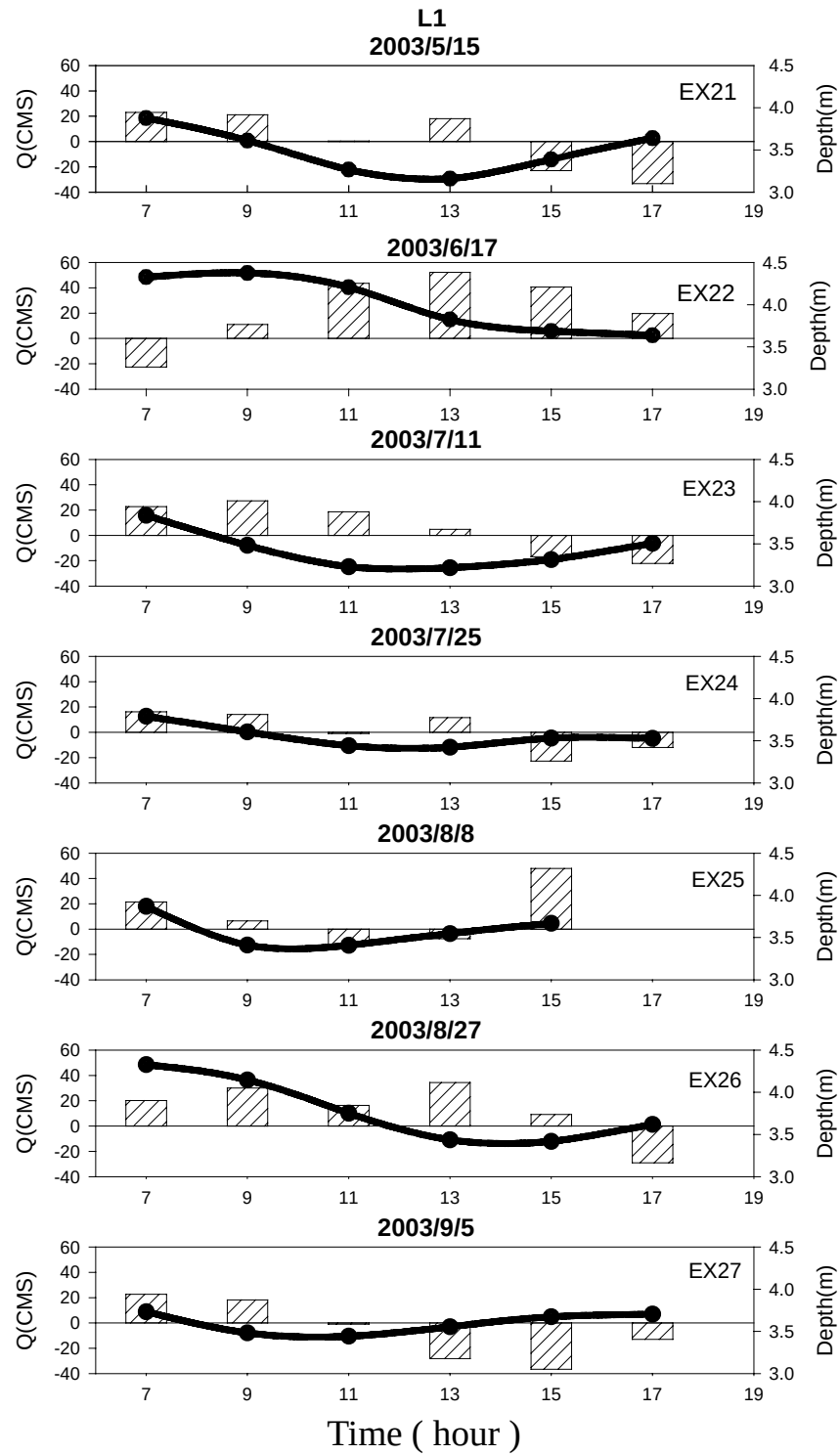


圖 4-1-1 各次實驗之高雄橋測站(L1)的流量、水深隨時間變化圖，
流量為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

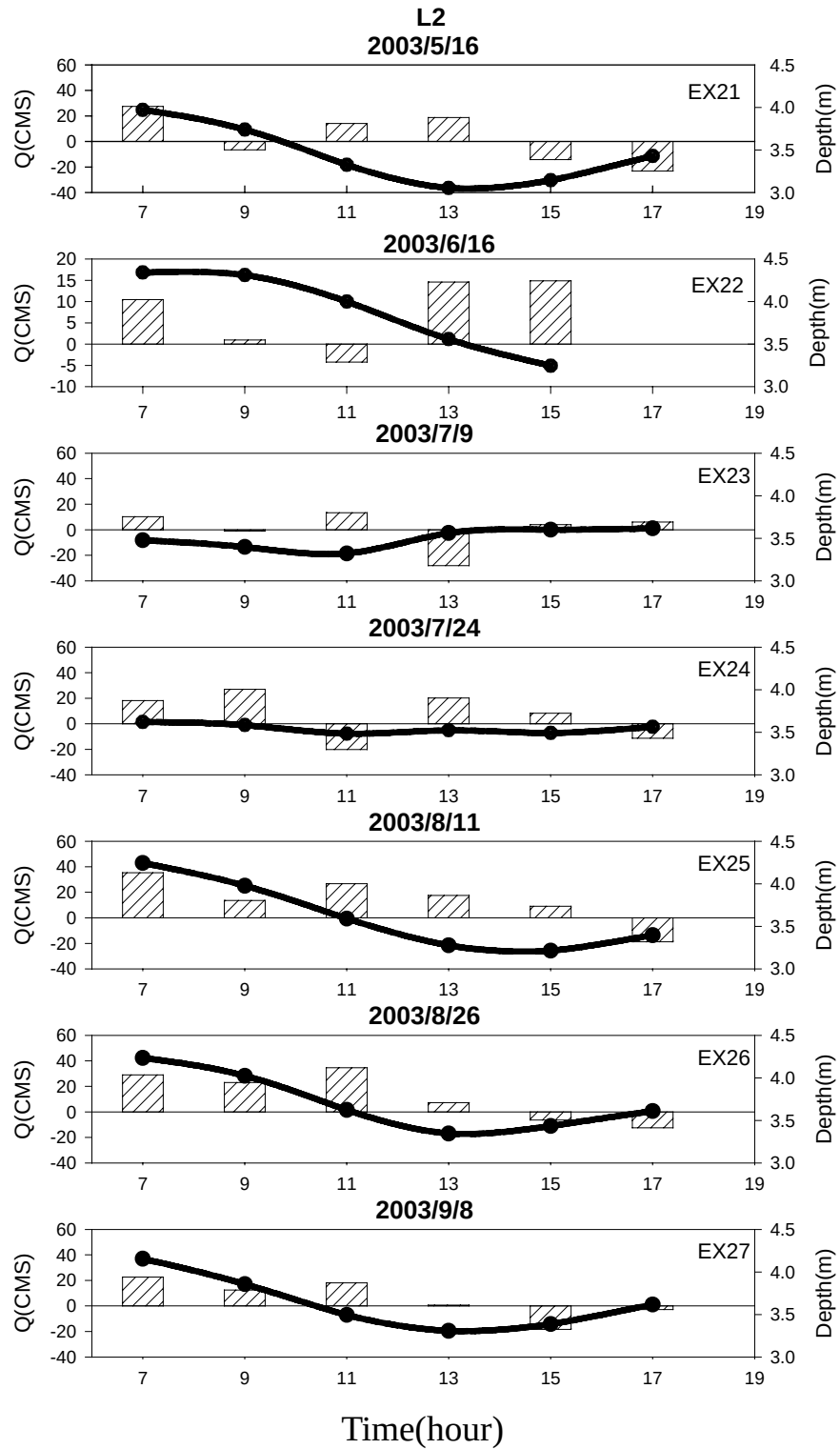


圖 4-1-2 各次實驗之七賢橋測站(L2)的流量、水深隨時間變化圖

為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

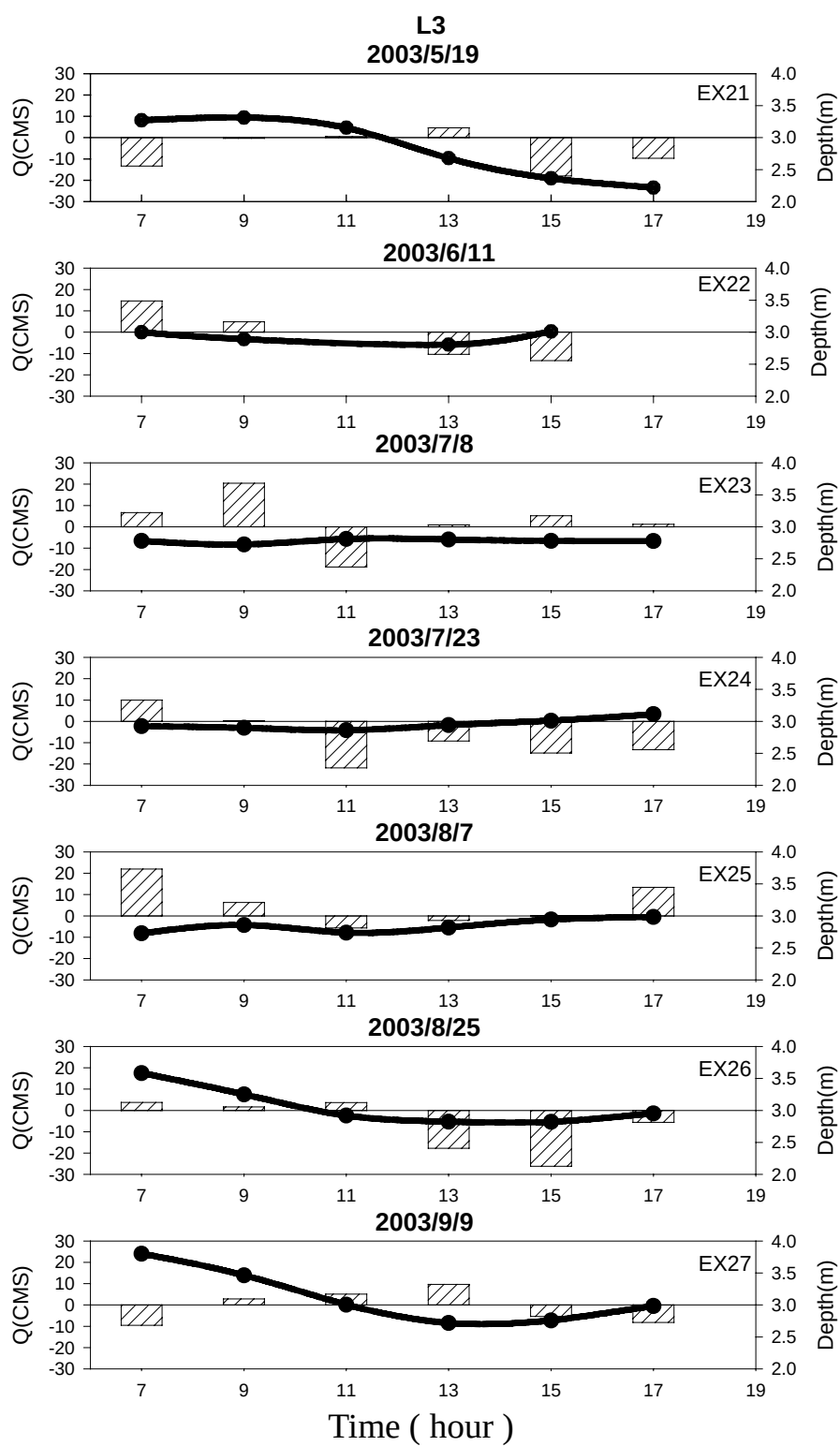


圖 4-1-3 各次實驗之中都橋測站(L3)的流量、水深隨時間變化圖，
流量為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

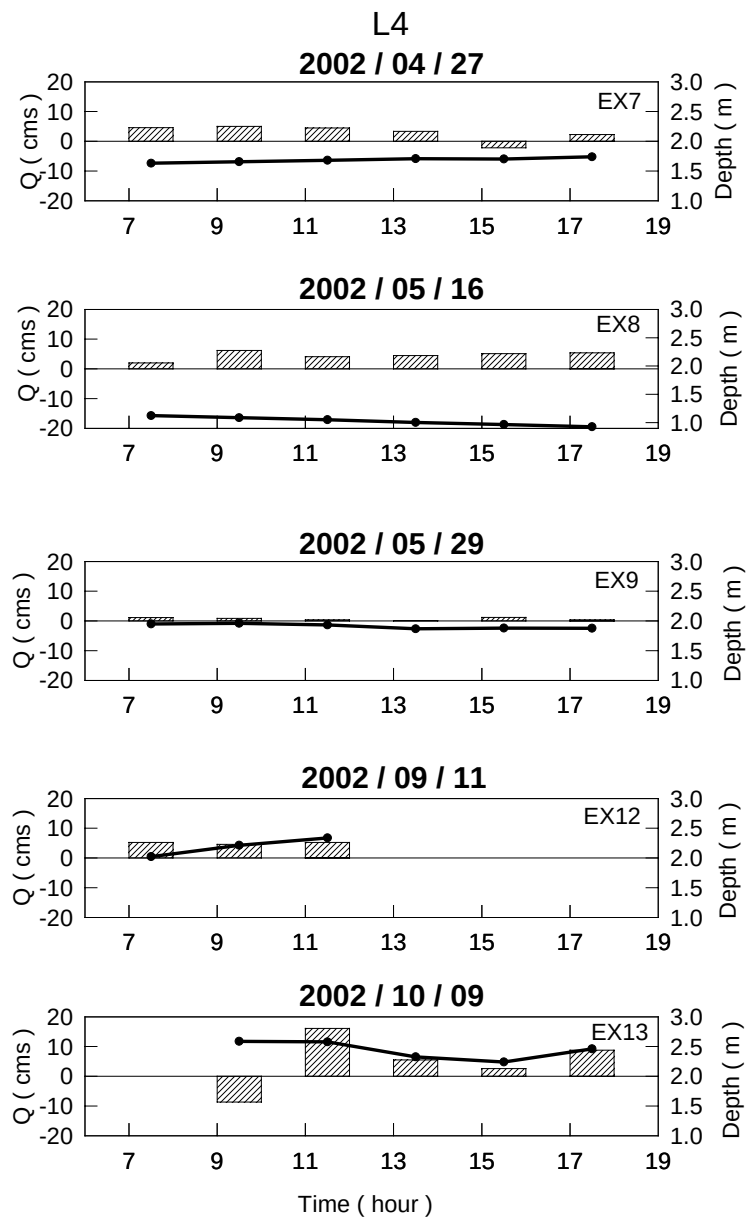


圖 4-1-4 各次實驗之治平橋測站(L4)的流量、水深隨時間變化圖，
流量為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

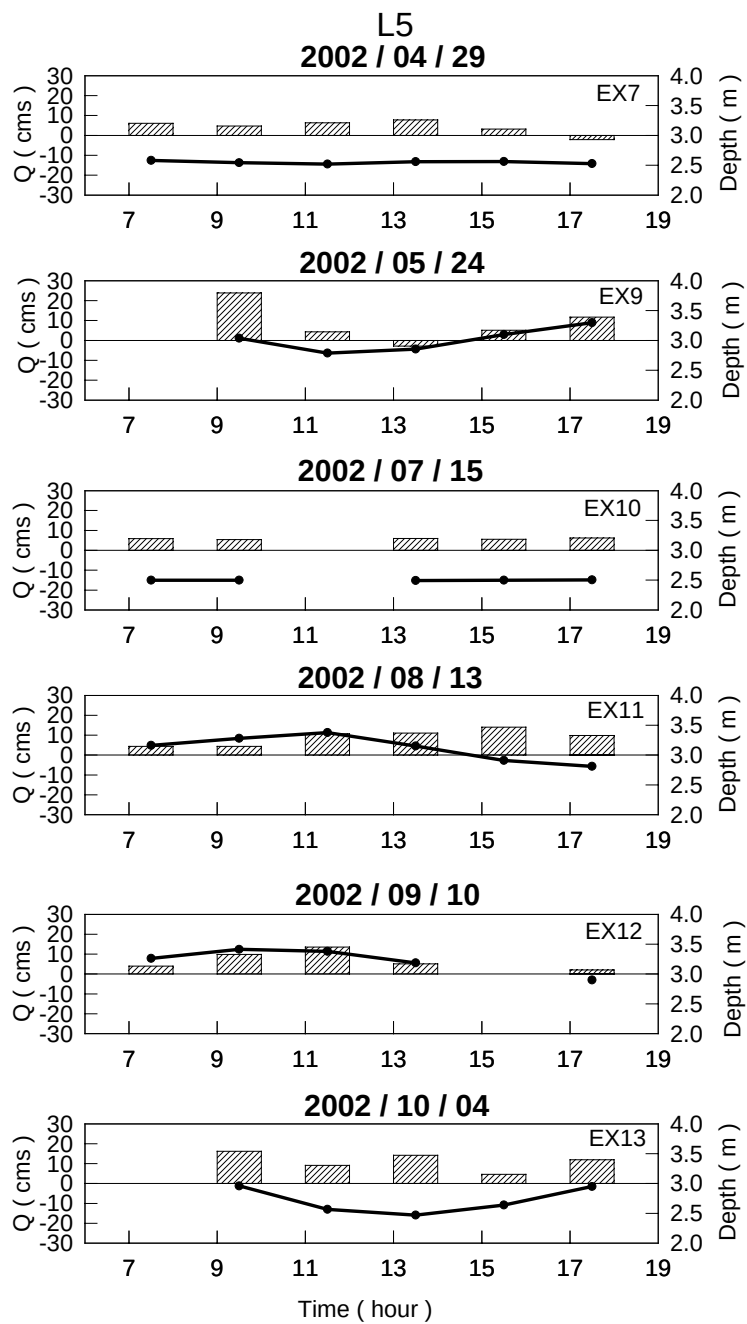


圖 4-1-5 各次實驗之龍心橋測站(L5)的流量、水深隨時間變化圖，
流量為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

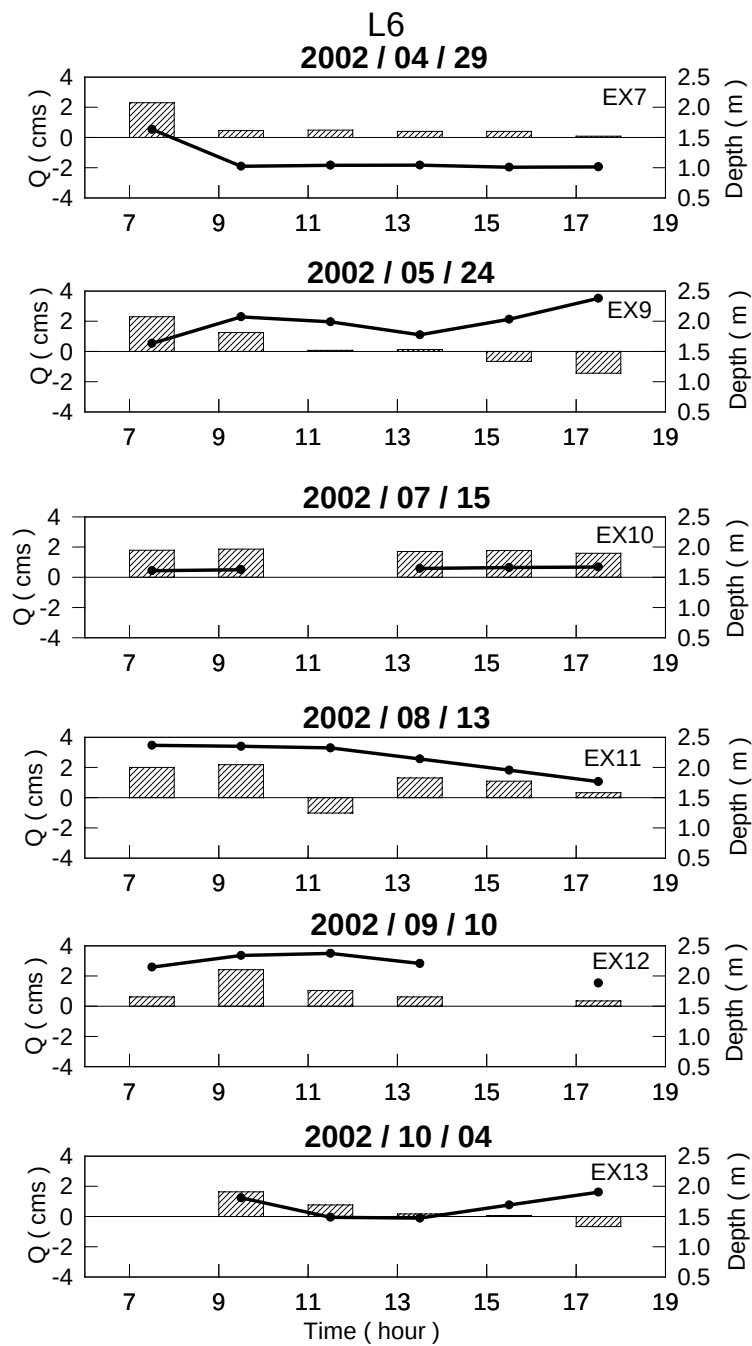


圖 4-1-6 各次實驗之龍華橋測站(L6)的流量、水深隨時間變化圖，
流量為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

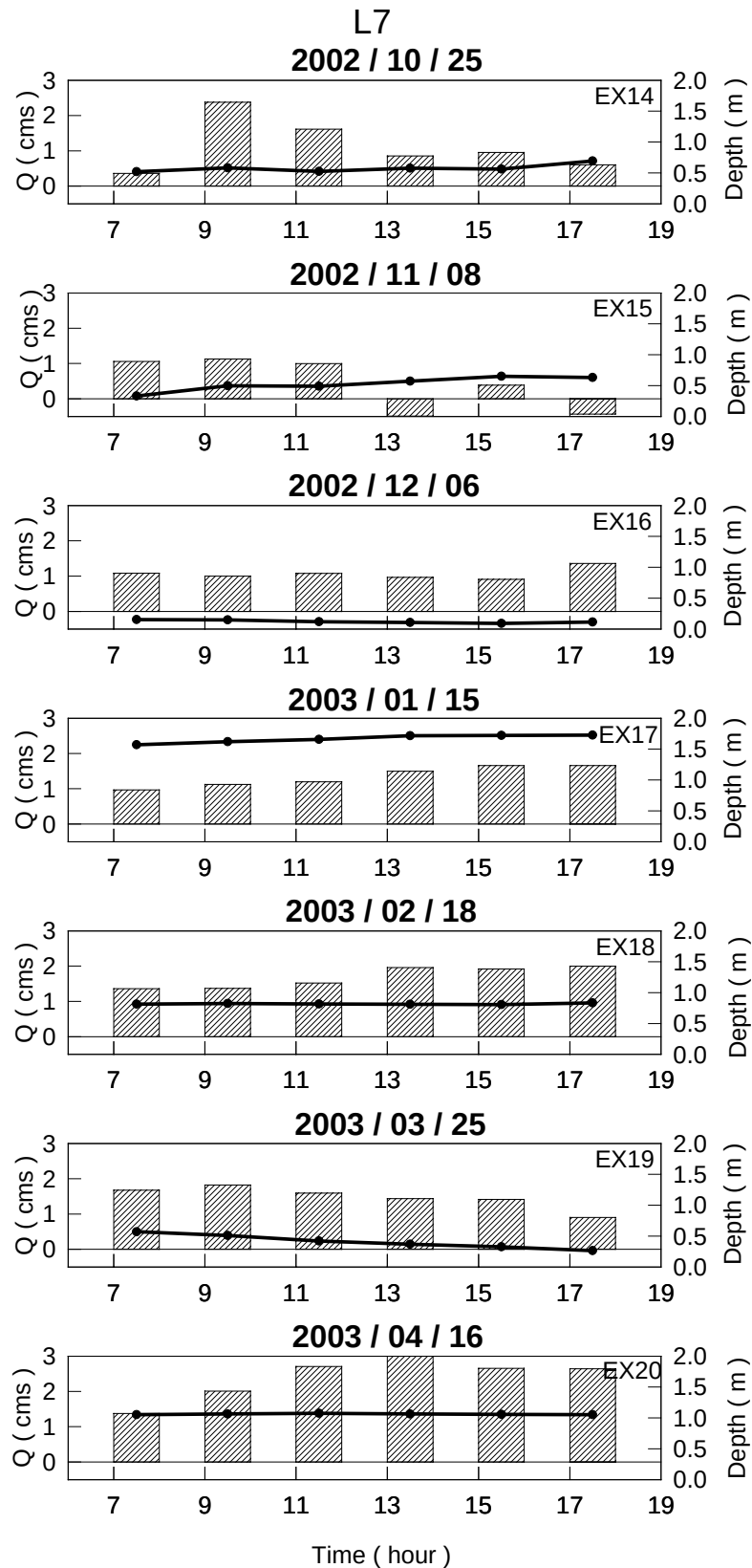


圖 4-1-7 各次實驗之鼎新橋測站(L7)的流量、水深隨時間變化圖，
流量為正值時表示流往下游，負值時表示流往上游

在圖 4-1-8 中顯示高雄港的潮汐變化上溯至鼎新橋站(L7)，於治平截流站開啟時，潮汐的水位變化直達鼎新橋。圖 4-1-9 為實驗二十八期間，高雄港 10 號碼頭的潮位與七賢橋測站(L2)水面高程隨時間的變化圖，因為實驗十一至實驗十五期間治平橋截流站為開啟狀態，潮區界可以一直上溯到鼎新橋；其餘實驗期間治平橋截流站則為關閉狀態，因此感潮段僅達中都橋，由水深的測量結果可用來瞭解愛河的潮汐變化以及它和高雄港潮位之間的先後延遲關係。基本而言，愛河的潮位和高雄港 10 號碼頭的潮位相關性非常密切，而愛河的潮時則比 10 號碼頭要落後約 5~20 分鐘。

高雄橋站(L1)、七賢橋站(L2)和中都橋站(L3)在所有實驗期間，三個測站之水位皆受到潮汐干擾，在圖 4-1-8 中，可以看出與高雄港的潮位變化習習相關。治平橋站(L4)、龍心橋站(L5)、龍華橋站(L6)和鼎新橋站(L7)，此四個水文測站受到治平截流站的影響，當閘門打開時(實驗十一至十五)，水位變化除了自然河川的流量，還會隨潮汐而上下波動。若閘門未開，同時截流站進行抽水，則測站的流量受抽水影響而變大。

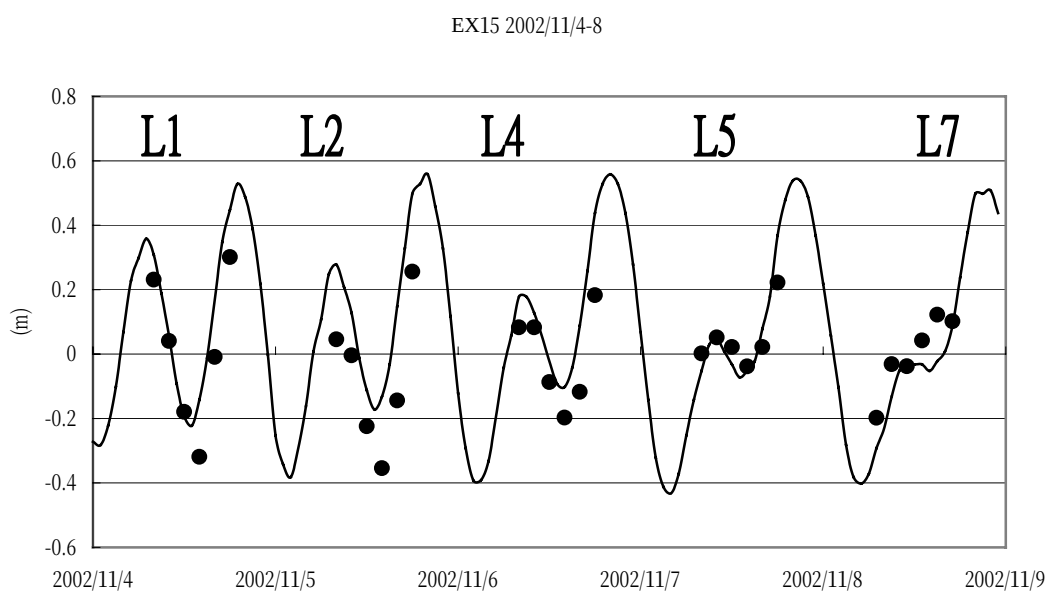
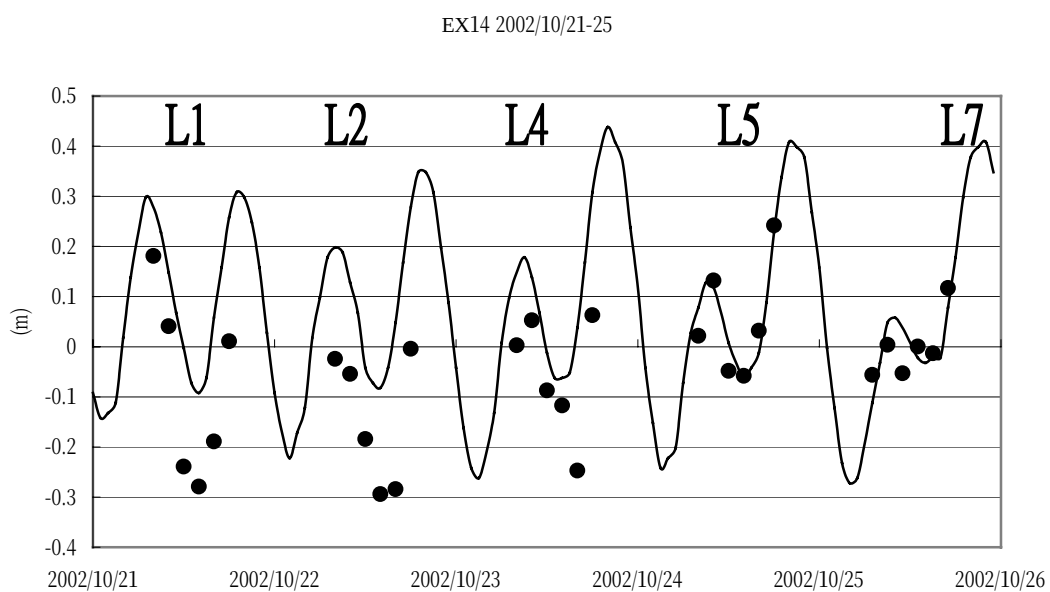


圖 4-1-8 實驗十四和十五期間，高雄港 10 號碼頭潮位(實線)與愛河測站(L1~L7)水面高程(圓點)隨時間變化圖

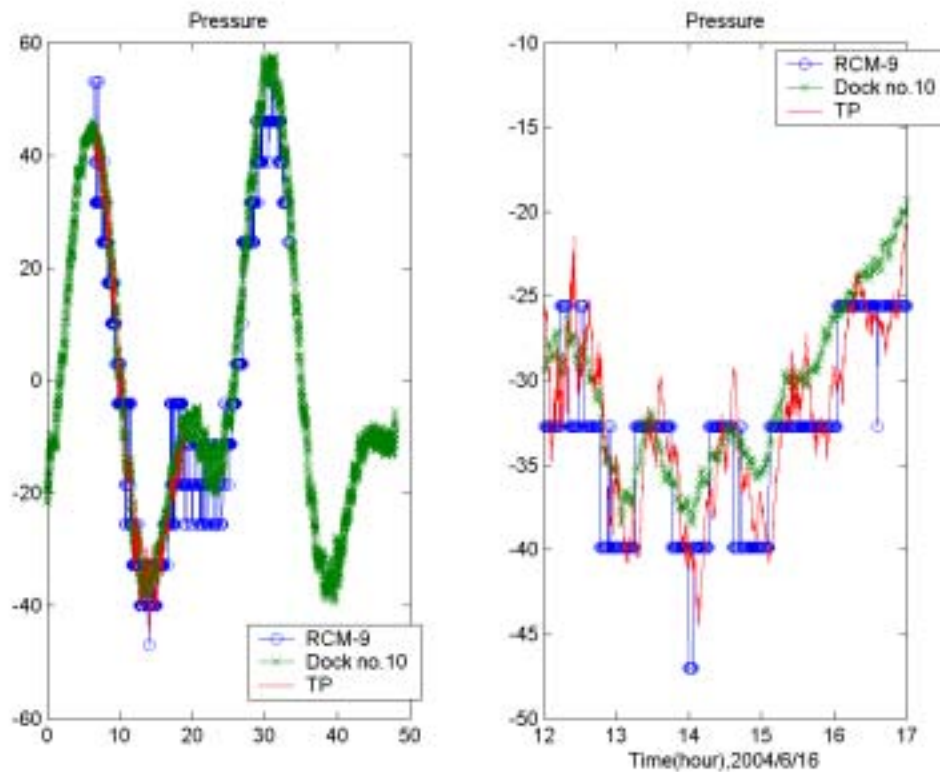


圖 4-1-9 實驗二十八期間，高雄港 10 號碼頭潮位(星線)與
七賢橋(L2)水面高程(圓點：RCM-9，實線：PT)
隨時間變化圖

實驗二十八中，於 2003 年 6 月 16 日至 17 日，連續紀錄水位二十七小時，使用分潮 M_2 和分潮 K_1 作潮汐調和分析運算，其表達式為

$$\eta_r = \sum_{i=1}^N \eta_i = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \cos\left(\frac{2\pi}{T_i} t + \delta_i\right),$$

分潮 M_2 的週期為 12.42 小時，分潮 K_1 的週期為 23.93 小時，求出各分潮調和常數(相位角和振幅)，列於表 4-1-1，並將其繪製成圖 4-1-10。由表中顯示分潮 K_1 的振幅 34.5cm 大於分潮 M_2 的振幅 21cm，與高雄港(表 2-2)的分析相符合。

表 4-1-1 實驗二十八水位之分潮振幅及相位角

儀器名稱	RCM-9	EM	PT
連續測量時間(hr)	27 (2003/6/16,6:30~ 2003/6/17,9:30)	13 (2003/6/16,7:00~ 2003/6/16,20:00)	12 (2003/6/16,6:30~ 2003/6/16,18:30)
平均項 a_0 (m)	3.6413	3.6008	3.5971
分潮 M_2 振幅(m)	0.21046	-0.26703	0.31215
M_2 相位角(經度)	1.2642	-0.41147	2.3102
分潮 K_1 振幅(m)	-0.34525	N/A	N/A
K_1 相位角(經度)	-9.8442	N/A	N/A
誤差 E	0.074232	0.29	0.16345

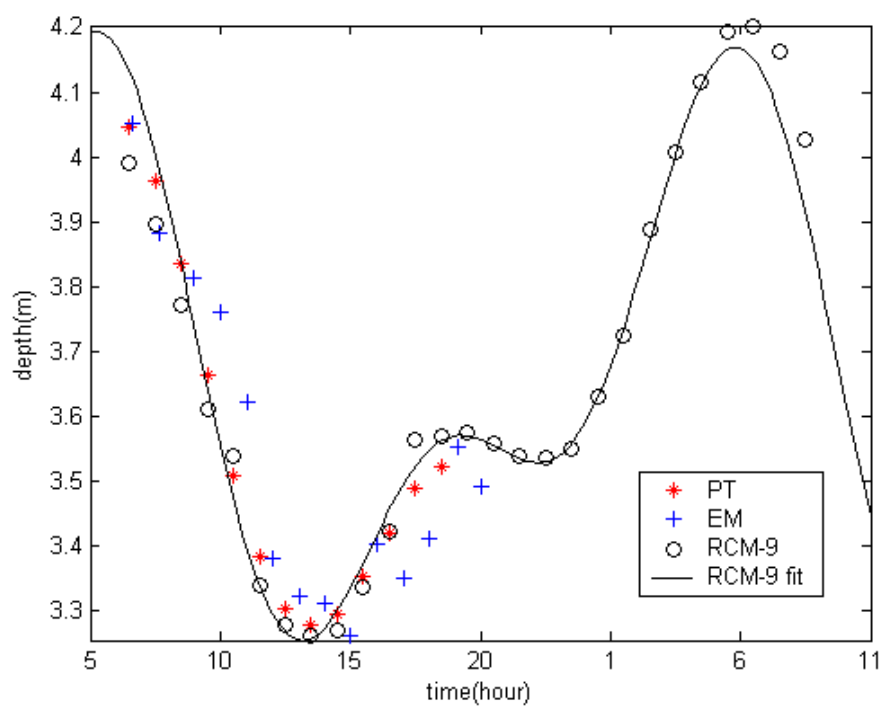


圖 4-1-10 實驗二十八中，七賢橋站(L2)水位的連續觀測及調和分析

4-2 流速特性

本文所有實驗量測所得之流速、流向會隨著漲退潮而改變方向，因此首先將流速轉個角度，只取與斷面相垂直，且與河道平行的分量，往下游的流向定為正，往上游的流向定為負，平均流速是由一點法(即 $V_{0.6}$)或是兩點法(即 $V_{0.2}$ 和 $V_{0.8}$ 的平均值)計算所得，面積則是由水深與寬度，經梯形面積法計算所得，該斷面的總流量是由各小面積的流量累積所得，也是會有正負之分。

(1)河口段測站

前三個測站（高雄橋、七賢橋及中都橋），因受到潮汐及排出淡水量之影響，整個斷面的流向並不完全一致。但是在退潮時整個斷面流向較為一致，如圖 4-2-1 所示，且流速經過角度轉換之後，所推算出的流量均為正值，即流往下游。漲潮時段則整個斷面流向較不一致，如圖 4-2-2 所示，以七賢橋為例，漲潮初期表層與底層會出現流向相反的現象，且其潮汐的影響力較明顯，且容易發生漲潮海水開始進入的同時，上游之退潮水以及淡水還正在往下游排放，因此常有上下層或左右兩邊流向相反的情況發生。而七賢橋也容易受到表層流速較快且流往下游的水所影響，觀測到之流速大部分均符合距底床 0.8 倍水深處的流速最大且受到底床摩擦力的影響往底層減小，但也有許多情況會出現下層流速大於上層流速的情況。

(2)治平截流站以上測站

由圖 4-1-5~4-1-7 中可以發現二十七次實驗中從治平橋站(L5)之後的測站，其流量及斷面積均呈現往上游遞減的現象，而流速則由治平橋站(L5)上游遞增。其流速皆朝下游流動，大小受河道坡度、河床糙度、雨量和農業迴歸水的影響。於第五章討論流量關係式，亦是分析流速 $V=Q/A$ 與濕周 P 、水力半徑 R 和水力深度 D 等水理性質的相關性，因此在第五章論述之。

實驗二十八中，於 2004 年 6 月 16 日至 17 日，RCM-9 連續紀錄流速流向長達二十七小時，每分鐘紀錄一筆資料，圖 4-2-3 為流速棍棒圖，並計算其平行河道流速之分量，圖 4-2-4 為平行河道之流速分量圖。

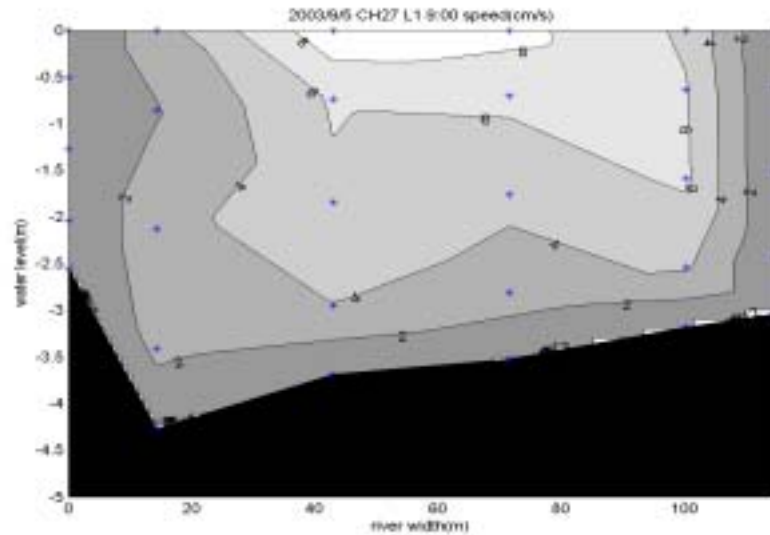


圖 4-2-1 高雄橋於 2003 / 9 / 5 9:00 退潮時段之斷面流速、流向示意圖，正值(淡灰色)代表流往下游，負值(深灰色)代表流往上游

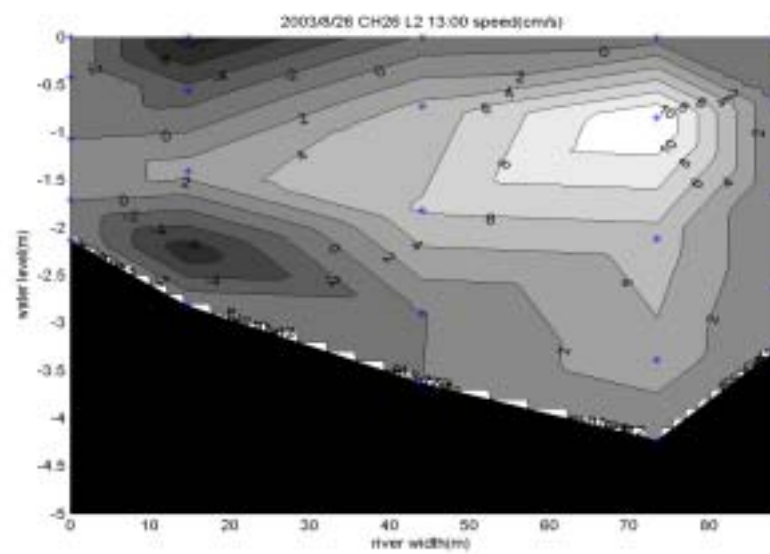


圖 4-2-2 七賢橋於 2003 / 8 / 26 13:00 漲潮時段之斷面流速、流向示意圖，正值(淡灰色)代表流往下游，負值(深灰色)代表流往上游

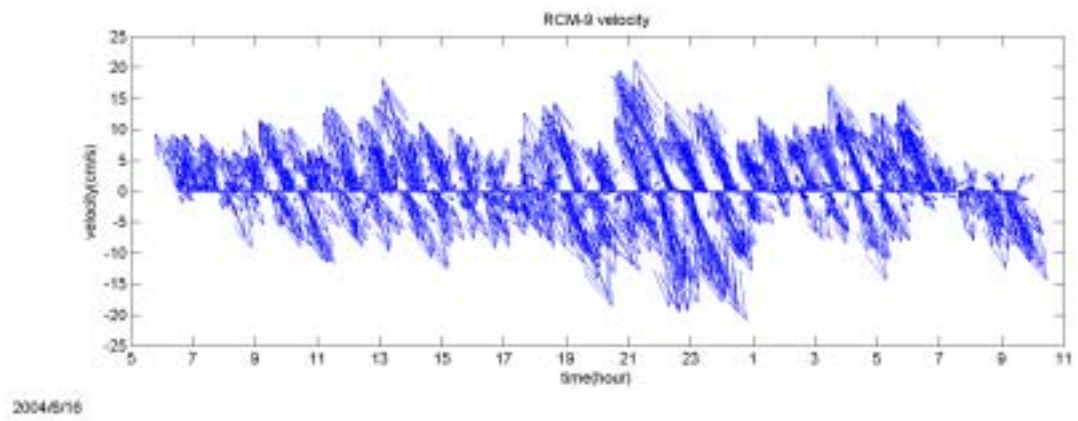


圖 4-2-3 實驗二十八 RCM-9 之流速棍棒圖

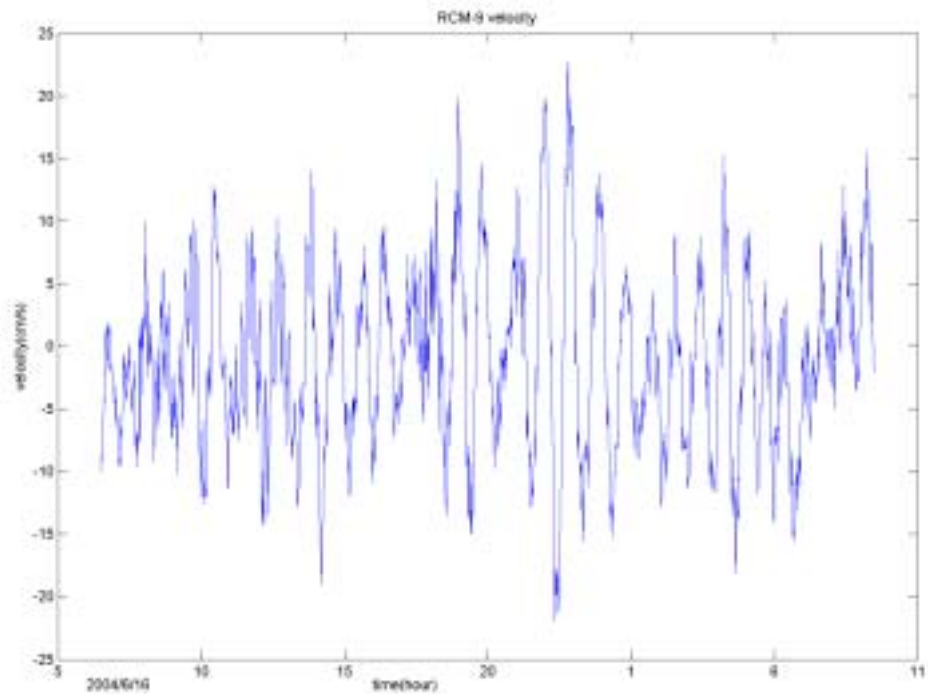


圖 4-2-4 實驗二十八 RCM-9 之平行河道之流速圖

於圖 4-2-4 可看出平均流速出現一個一小時左右的振盪，且實驗二十八期間，治平截流站閘門未開，推測是因為河道狹長，斷面積為扁長的形狀，河床將淺水波的效應放大所致。為了方便計算及分析，因此將流速作一小時的平均，並作調和分析運算，以分潮 M_2 和分潮 K_1 作第一次調和分析，繪製成圖 4-2-5，其相合性低；於是再加上兩個淺水波分潮 M_4 和 M_6 作第二次調和分析，求出各分潮調和常數(相位角和振幅)，列於表 4-2-1，分潮 M_4 的週期為 6.21 小時，分潮 M_6 的週期為 4.14 小時，並將其繪製成圖 4-2-6。

由表 4-2-1 中看出，徑流速值為-0.98，推測因治平截流站未開，流速只受潮汐影響，而實驗二十八期間，有一持續漲潮由 2004/6/16 下午 1:00 至 2004/6/17 上午 6:00，使調和分析後的平均徑流速流向上游，分潮 M_2 調和常數和分潮 K_1 調和常數相似，不過加入分潮 M_4 和 M_6 的分析結果，其誤差指數降低 20%，顯示淺水波分潮的重要性，不過誤差指數 71.268，表示應有其他分潮量，但此次實驗二十八時間不夠長，不能做其他的分潮項目。

表 4-2-1 實驗二十八(L2)RCM-9 潮流之分潮振幅及相位角

分潮項目	M_2 、 K_1	M_2 、 K_1 、 M_4 、 M_6
平均項 a_0 (cm/s)	-0.9446	-0.98422
分潮 M_2 振幅(cm/s)	1.0728	0.98404
分潮 M_2 相位角(徑度)	2.44	2.4477
分潮 K_1 振幅(cm/s)	1.3621	1.4273
分潮 K_1 相位角(徑度)	3.0812	3.11
分潮 M_4 振幅(cm/s)	N/A	0.92
分潮 M_4 相位角(徑度)	N/A	0.68937
分潮 M_6 振幅(cm/s)	N/A	-0.89239
分潮 M_6 相位角(徑度)	N/A	0.01179
誤差 E	91.811	71.268

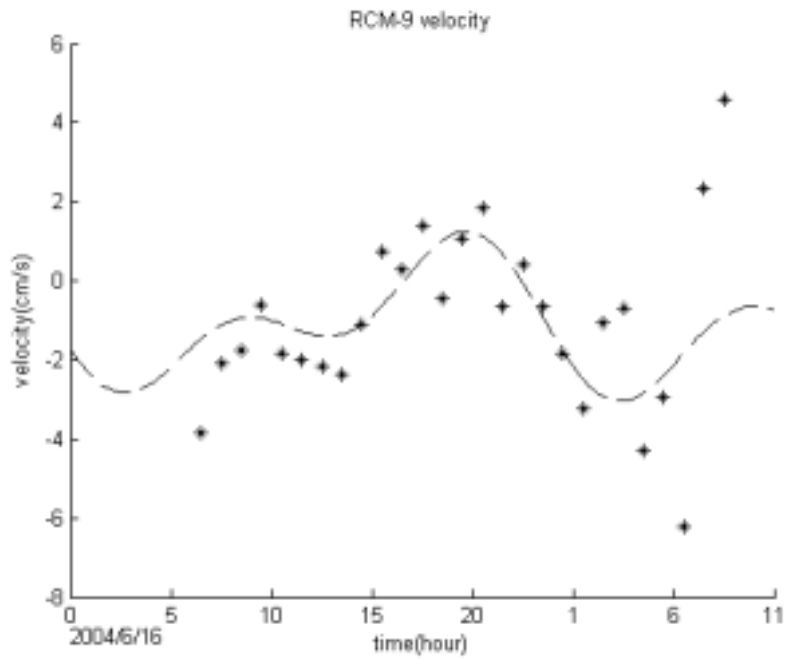


圖 4-2-5 2004/6/16~17 實驗二十八中, RCM-9 的流速的調
和分析, 分潮包含 M2、K1

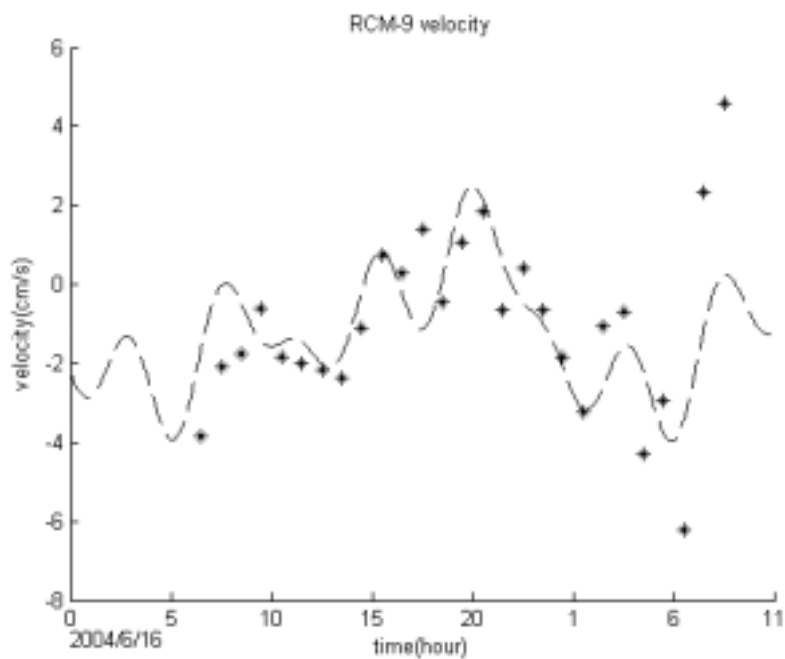


圖 4-2-6 2004/6/16~17 實驗二十八中, RCM-9 的流速的調
和分析, 分潮包含 M2、K1、M4、M6

4-3 鹽度、溫度及濁度

4-3-1 鹽度

從鹽度結果顯示當治平截流站開啟時愛河的感潮段到達龍華橋和鼎新橋之間，圖 4-3-1 為實驗十五(治平截流站開啟)和實驗二十(治平截流站關閉)的平均鹽度隨測站分佈圖，從鹽度結果顯示當治平截流站開啟時愛河的感潮段到達龍華橋和鼎新橋之間，表層水的鹽度均小於底層水的鹽度，鼎新橋上游的河段則屬於淡水域，完全不受潮汐之影響。當治平截流站關閉時愛河的感潮段則僅能到達截流站前端。

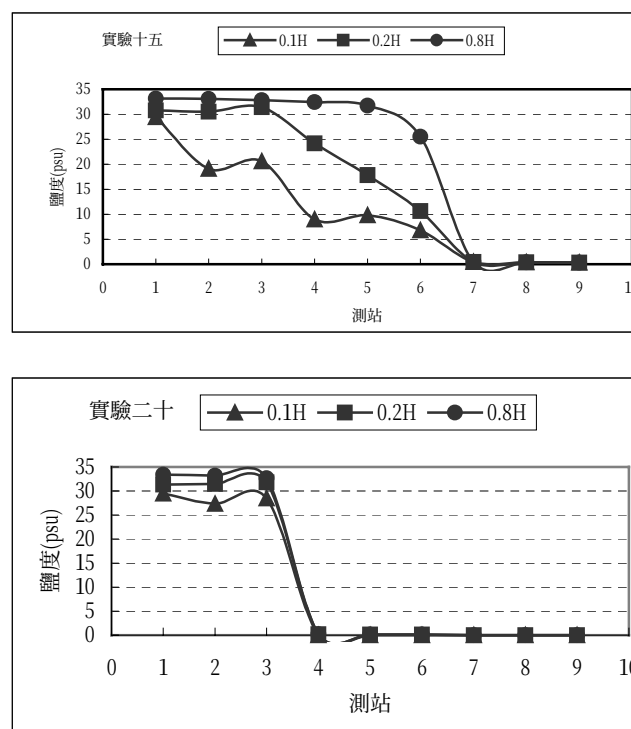


圖 4-3-1 愛河平均鹽度隨測站變化圖，0.1H 代表表層，0.2H 代表 20%水深，0.8H 代表 80%水深，實驗十五為治平截流站開啟，實驗二十為治平截流站關閉

在二十七次實驗中的實驗二十一至實驗二十七高雄橋站(L1)和七賢橋站(L2)另增測 50%水深的測點，用以繪製鹽度剖面圖，如圖 4-3-2 至 4-3-4。鹽度的分佈呈現分層現象，下層的鹽度大於上層的鹽度，當大潮期間，河床上等高處之鹽度，漲潮時持續上升，退潮時則下降，如圖 4-3-2、4-3-3，而小潮期間鹽度變化相同，但上下層鹽度的差距較小，代表小潮時的水層混合較為均勻，如圖 4-3-4。將各層的鹽度和當時的水位變化，同時作 M_2 分潮的調和分析，如圖 4-3-5，顯示水位與鹽度的變化相位一樣，當水位最大時會產生最大的鹽度。

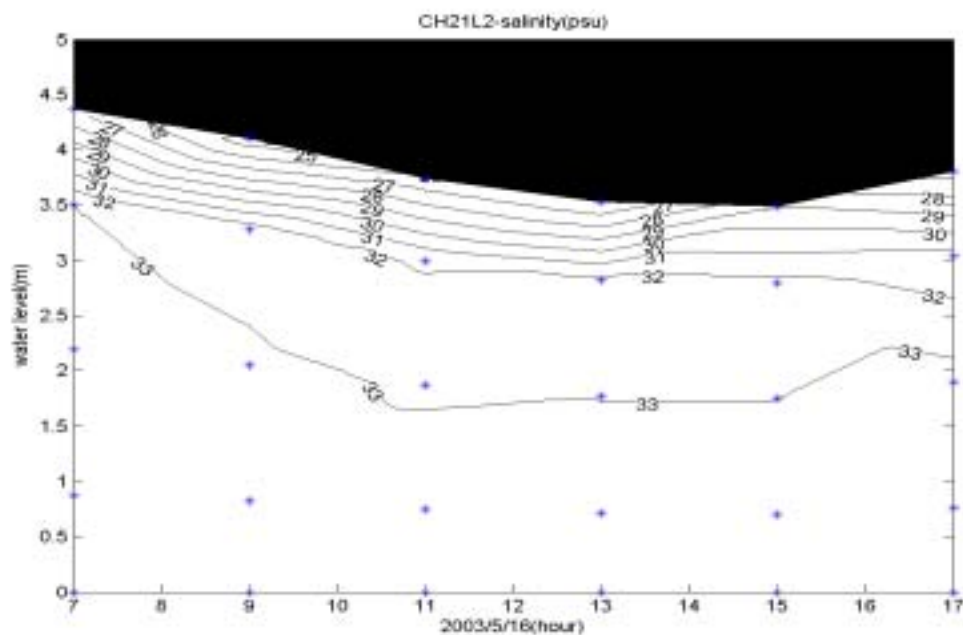


圖 4-3-2 實驗二十一，七賢橋站的鹽度和水深隨時間變化剖面圖

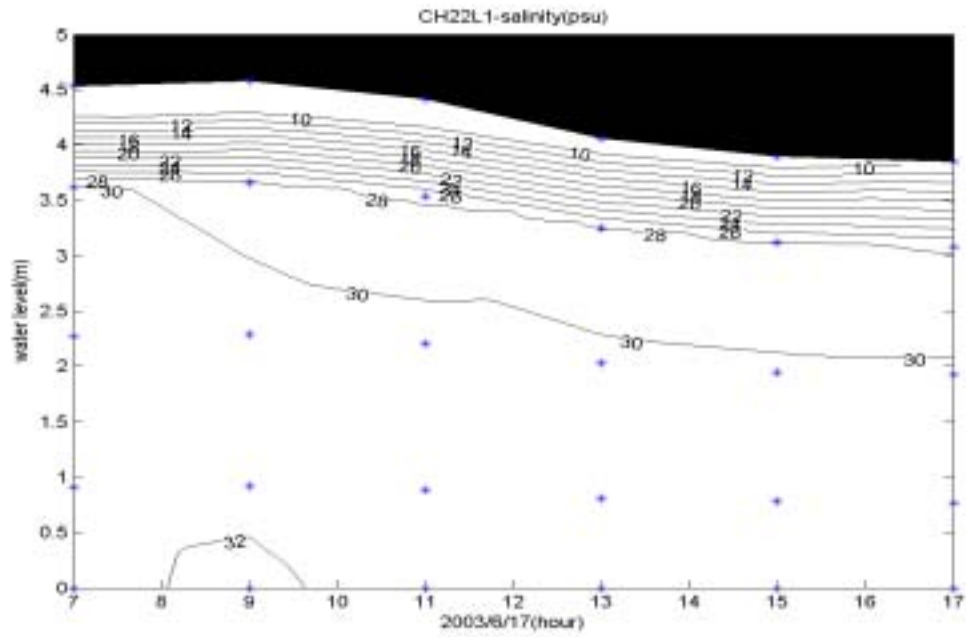


圖 4-3-3 實驗二十二，高雄橋站的鹽度和水深隨時間變化剖面圖

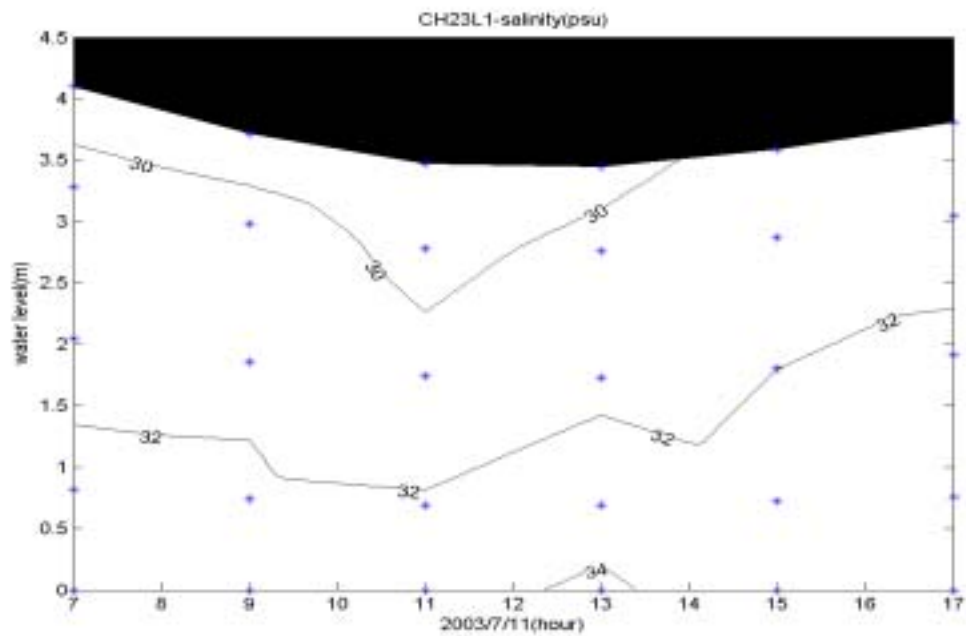


圖 4-3-4 實驗二十三，高雄橋站的鹽度和水深隨時間變化剖面圖

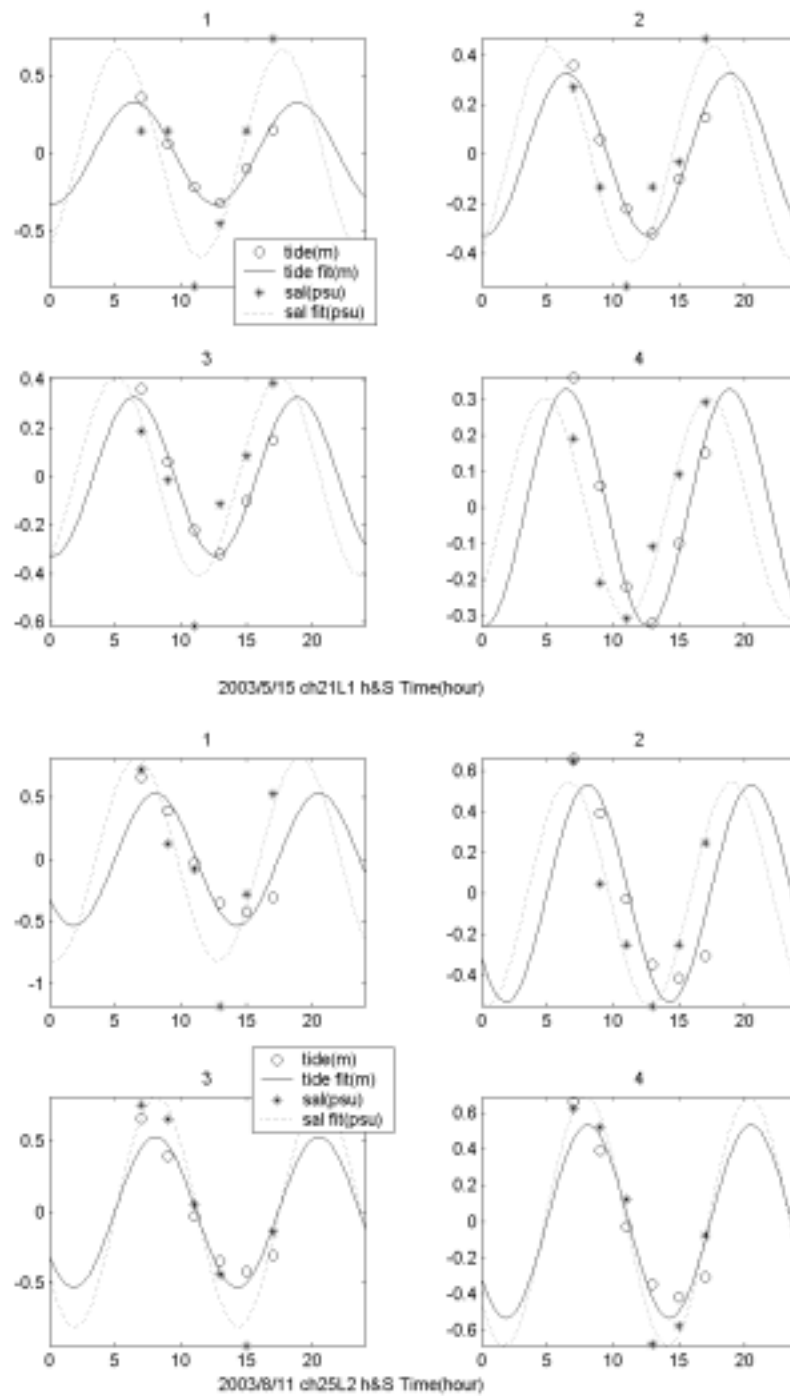


圖 4-3-5 愛河感潮段各層之水位及鹽度隨時間變化圖

(1：表層，2：20%水深，3：50%水深，4：
80%水深)

4-3-2 溫度

前二十七次實驗中，溫度的變化，由早上至下午，持續上升，下層的水溫大都小於上層的水溫，第二十八次實驗的連續觀測，平均水溫為攝氏 29.99 度，由上午八點持續上升至下午十一點左右，如圖 4-3-6，夜間室溫降低，但底層溫度不降反升，推測下午漲潮，使上層水變厚，不易散熱，於是持續累積熱量至晚上十一點左右，此時瞬時流速出現最大值，持續維持在 20cm/s 左右，底層流速變大產生對流，將熱量帶到水面散失，因此實驗後半段的水溫，持續下降至早上九點實驗結束。

4-3-3 濁度

第二十八次實驗中，RCM-9 測量河床上 80cm 高的濁度變化，平均濁度為 6.191 NTU，如圖 4-3-6。漲潮時持續下降，退潮時濁度則上升，流速持續平行河道的來回振盪，平均流速只有 0.9446cm/s，接近停滯，造成懸浮顆粒停滯原地，溶質的量不變。而圖中顯示濁度與潮位呈反相，推測因實驗期間下午漲潮時，將乾淨的海水帶入，水位上升，使水層變厚，即溶劑增加，則懸浮顆粒濃度下降，因此濁度變小；反之，退潮時，水位下降，則溶劑變少，濁度變大。

4-3-4 實驗二十八之鹽度、溫度及濁度

實驗二十八 RCM-9 所測量的四個水文資料，將資料平均成一小時一筆，去除短波(內波、風波)的影響，實驗期間，治平截流站閘門未開，所以平均之後，只留下潮汐為主要參數，以分潮 M_2 和分潮 K_1 作調和分析運算，求出各分潮調和常數(相位角和振幅)，列於表

4-3-1，由表中顯示各分潮的調和常數，所有的 K_1 振幅皆大於 M_2 振幅，代表實驗二十八期間，全日潮影響的大於半日潮的影響，與表 2-2 高雄港的調和分析結果相符合，並於圖 4-3-7 中顯示扣除平均項之後的各項測量值隨時間的變化，可與潮位、潮流，互相作比較。而水表層的溫鹽採樣，資料平均約一小時一筆，以分潮 M_2 和分潮 K_1 作調和分析運算，求出各分潮調和常數(相位角和振幅)，列於表

4-3-2，由表中顯示各分潮的調和常數，並於圖 4-3-7、4-3-8 中顯示扣除平均項之後的表層鹽度和表層溫度隨時間的變化，並與潮位互相作比較。顯示水表層鹽度與水位變化呈現同相位，而表層水溫分析結果 K_1 振幅皆小於 M_2 振幅，與其餘各測量值結果不同，所以表層水溫變化主要成因非潮汐造成的，在傍晚和夜間時氣溫下降時，水溫亦下降，推測表層水溫主要受氣溫影響而變化。

表 4-3-1 實驗二十八(L2)RCM-9 之分潮振幅及相位角

測量項目	水溫(°C)	水位(m)	濁度(NTU)
平均項 a_0	29.99	3.6413	6.191
分潮 M_2 振幅	-0.033446	0.21046	-0.33691
分潮 M_2 相位角	2.54	1.2642	0.63261
分潮 K_1 振幅	-0.28343	-0.34525	1.6221
分潮 K_1 相位角	-17.246	-9.8442	2.3749
誤差 E	0.21534	0.074232	8.8146

表 4-3-2 實驗二十八(L2)溫鹽度計所測得之表層溫鹽度分潮振幅及
相位角

測量項目	平均項 a_0	分潮 M_2 振幅	分潮 M_2 相位角	分潮 K_1 振幅	分潮 K_1 相位角	誤差 E
水溫(°C)	30.847	-0.28421	-4.2319	1.7656	-3.7166	4.8648
鹽度 (psu)	31.651	-0.27643	-1.214	1.3277	-7.4875	3.649

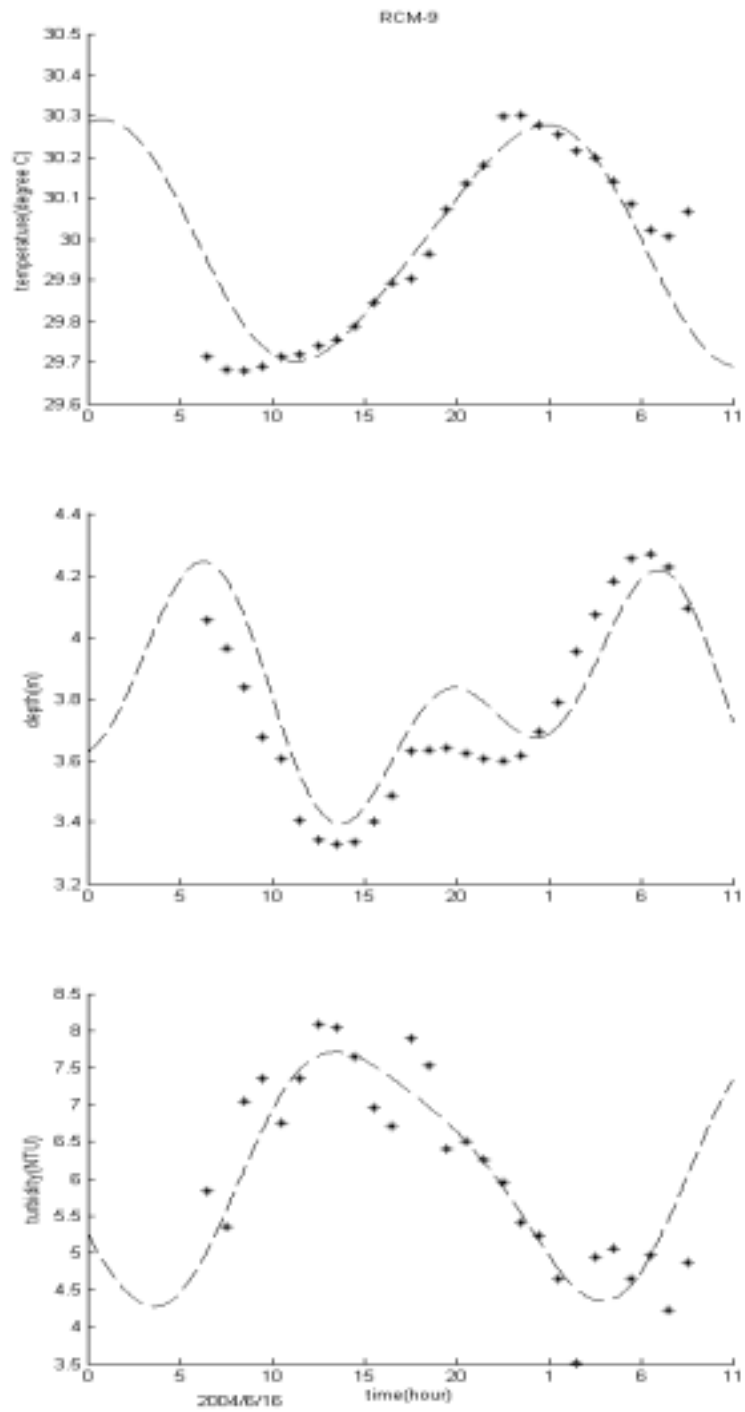


圖 4-3-6 實驗二十八的水溫、潮位和濁度數值隨時間變化
圖，實線為調和分析(M_2 和 K_1)之預報結果

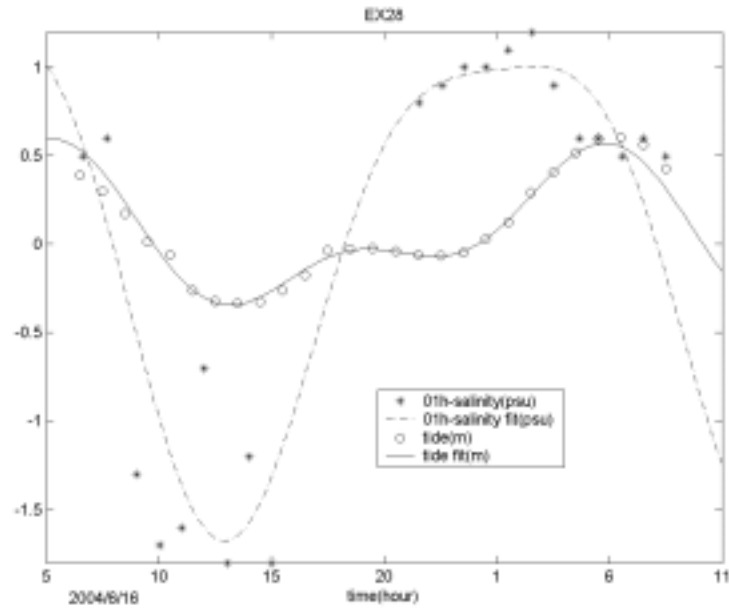


圖 4-3-7 實驗二十八的表層鹽度和潮位數值(扣除平均項)隨時間變化圖，虛線為表層鹽度調和分析之預報結果

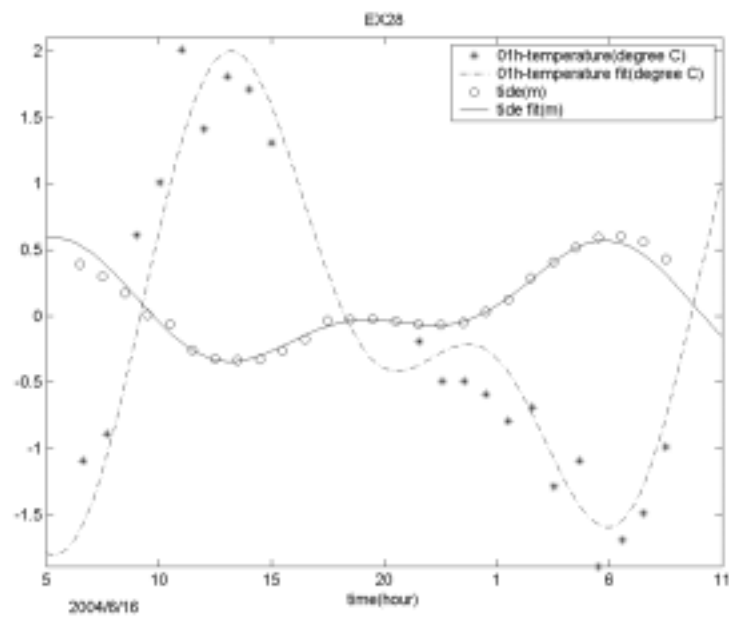


圖 4-3-8 實驗二十八的表層水溫和潮位數值(扣除平均項)隨時間變化圖，虛線為表層水溫調和分析之預報結果

五、愛河之流量分析

5-1 影響愛河流量的因素

當治平截流站關閉時，通常會啟動抽水站將污水送到中洲污水處理廠，這會影響到治平橋和龍心橋的流量測量值。前二十七次流量觀測實驗，大約橫跨了二十一個月的期間（自 2001 年 12 月到 2003 年 9 月），流量的變化受到了幾個因素的影響，如降雨量、農業迴歸水量、治平截流站的開或關，以及抽水量等，以下便分項討論之：

5-1-1 潮汐的影響

圖 5-1-1 至 5-1-3 顯示各個測站的平均流量及平均水位，二十七次實驗的水位及流量作平均值，以求得部分濾潮的功用，將測治平截流站以上各站(L4~L7)，平時流量除了自然河川流量(約 0~4CMS)，亦受抽水站的抽水量影響(約增加 0.9~2.7CMS)，在實驗十一至實驗十五期間，治平截流站開閘，潮汐影響上溯至鼎新橋，則測站治平橋(L4)至鼎新橋(L7)的流量值，除了會隨潮流變化外，亦出現向上游流動的情況，如龍華橋(L6)在實驗十四(2002/10/24)，平均流量即為 -2.353CMS，表示當天實驗期間，徑流量的方向朝上游的潮流量大於朝下游的河川淡水量。

當治平橋（L4）的水位由於大雨或是其他因素（如污水排放量增加）而提高到超過某一標準時，治平截流站的閘門便會打開，使污水

宣洩到下游，此時漲潮時海水也會抵達鼎新橋（L7）。在閘門關閉時，治平截流站的抽水設備也常會打開，將污水送到中洲污水處理廠。抽水馬達一共有三台，每台的抽水量為 0.9 CMS，三台全開時的抽水量為 2.7 CMS，抽水馬達啟動時會使得治平橋（L4）和龍心橋（L5）的流量觀測值也隨之變大。將 L4 和 L5 在閘門關閉時的測得流量扣除抽水量，應該便是愛河在此河段的自然流量，L4 的自然流量為 0~5.64 CMS，最大值出現於 2003 年 6 月，L5 的自然流量為 0~5.7 CMS，最大值出現於 2002 年 5 月。當閘門開啟時，L4、L5、L6 的流量受到潮汐影響增加到 ± 20 CMS，比起自然流量值要高出甚多。

5-1-2 雨量的影響

表 5-1-2 為 2002 年和 2003 年高雄氣象站的逐日雨量資料，從五月中旬進入梅雨季節，一直到九月西南氣流減弱，這段時期正好是高雄的雨季，其間又以颱風帶來的雨量最多。圖 5-1-1 是高雄橋（L1）、七賢橋（L2）和中都橋（L3）的結果，圖 5-1-2 是治平橋（L4）、龍心橋（L5）和龍華橋（L6）的結果，圖 5-1-3 是鼎新橋（L7）、菜金橋（L8）和後港橋（L9）每次實驗的平均水深和平均流量相對於逐日雨量的柱狀圖。由圖 5-1-3 可知愛河上游的 L9 測站在乾季時的流量很小（最小值為 2002 年 12 月的 0.02 CMS），最大流量（1.25 CMS）則出現於 2002 年 7 月。L8 測站的最小流量（0.13 CMS）出現於 2002

年 12 月，最大流量（2.54 CMS）亦出現於 2002 年 7 月。L7 測站的最小流量（0.44 CMS）出現於 2002 年 4 月和 2002 年 11 月，最大流量（5.33 CMS）出現於 2002 年 7 月，因此雨季時愛河上游的流量增加了約 1~5 CMS。

5-1-3 農業迴歸水的影響

由圖 5-1-3 中，L9 測站的流量第二峰值（1.02 CMS）出現於 2002 年 3 月，當時並無降雨量，因此此一增加的水量應該是農業迴歸水的結果。L8 測站的流量第二峰值（1.54 CMS）出現於 2003 年 2 月，L7 測站的流量第二峰值（3.19 CMS）出現於 2003 年 2 月，因此在冬末初春時農業迴歸水使得愛河上游的流量增加了約 1~2.8 CMS。

觀測後港橋（L9）之流量變化，可以發現其流量在實驗二以後明顯增加，直到實驗四增加約 3 倍，達到 1.019 cms，因此可以發現上游之農業灌溉水在春季即 2 月、3 月大量排放，造成後港橋流量增加，而在冬季即 12 月、1 月最少，3 月、4 月其次。菜金橋（L8）之流量可能是受到通過榮總之 D 支線匯入之上游農業灌溉水的影響，其流量在實驗二、實驗三及實驗六三次均比其他三次大約一倍，但其流量均不大，且其河床兩旁淤積嚴重。而菜金橋往下游的測站則受農業灌溉水的影響比較小，反而以污水排放量為影響流量的主要因素，其中鼎新橋（L7）流量主要受到其上游之 H 幹線污水排放量的影響，當

目測到 H 幹線的雨水箱涵流量增加時，鼎新橋的流量也會隨之增加。龍華橋（L6）在實驗三時，流量比其他五次實驗大約 4 倍，達到 4.665 cms，可能是因為明誠路上之 K 幹線的污水排放有關。因為寶珠溝截流站尚未完工，所以龍心橋（L5）仍然會受到寶珠溝污水排放量的影響，但其流量在此六次實驗中並未有明顯的變化，可能與寶珠溝污水排放較穩定有關。治平橋（L4）前三次的流量比後三次多約一倍，可能與治平截流站是否抽水有關。

表 5-1-1 2002 年高雄氣象站的逐日雨量資料

月份 日期	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
1						38.5		14.5				
2						7.5		43.0	6.5			
3								0.5				
4						40.5		65.5				
5						0.5		11.0				
6							0.5	120.5				
7						1.0	1.0	1.0				
8							18.0	4.5				
9							12.5		31.5			
10						36.5	4.0		3.5			
11						2.0	27.0	2.0	0.5			
12		7.0					23.0		29.5			1.5
13							1.0		21.0			
14									10.5			
15					0.5		6.0		10.0			
16					2.5		23.0					
17					66.5		15.5					
18								0.5	9.0			
19					0.2							27.0
20					24.5			13.5				8.5
21					1.0							
22					55.0			2.0	13.0			
23					35.5							
24												
25	28.5								4.0			
26			3.5									13.0
27	0.5		0.5									8.5
28												0.5
29					5.0		1.3					
30			1.5		8.0		0.5	8.5				
31			0.5		33.0		1.5	6.5				
總和值	29.0	7.0	6.0	0.0	231.7	126.5	134.8	293.5	139.0	0.0	0.0	70.0

表 5-1-2 (續) 2003 年高雄氣象站的逐日雨量資料

月份 日期	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
1									3.0			
2						1.0		1.5	16.5			
3								11.0	13.5			
4			0.5	10.0				180.0				
5					2.0			13.5				
6						5.5		13.0	3.0			
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			
10						67.0			30.0			
11						10.5		0.5				
12						50.5		4.5				
13						19.0			21.0			
14												
15								3.5				
16						20.5		19.5				
17					3.0	5.5						
18					8.5	1.0						
19						10.0		51.0				
20						18.5		30.5				
21								1.0	0.5			
22	24.0								0.5			
23												
24												
25						1.5						
26						47.5						
27						2.5	23.0					
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				

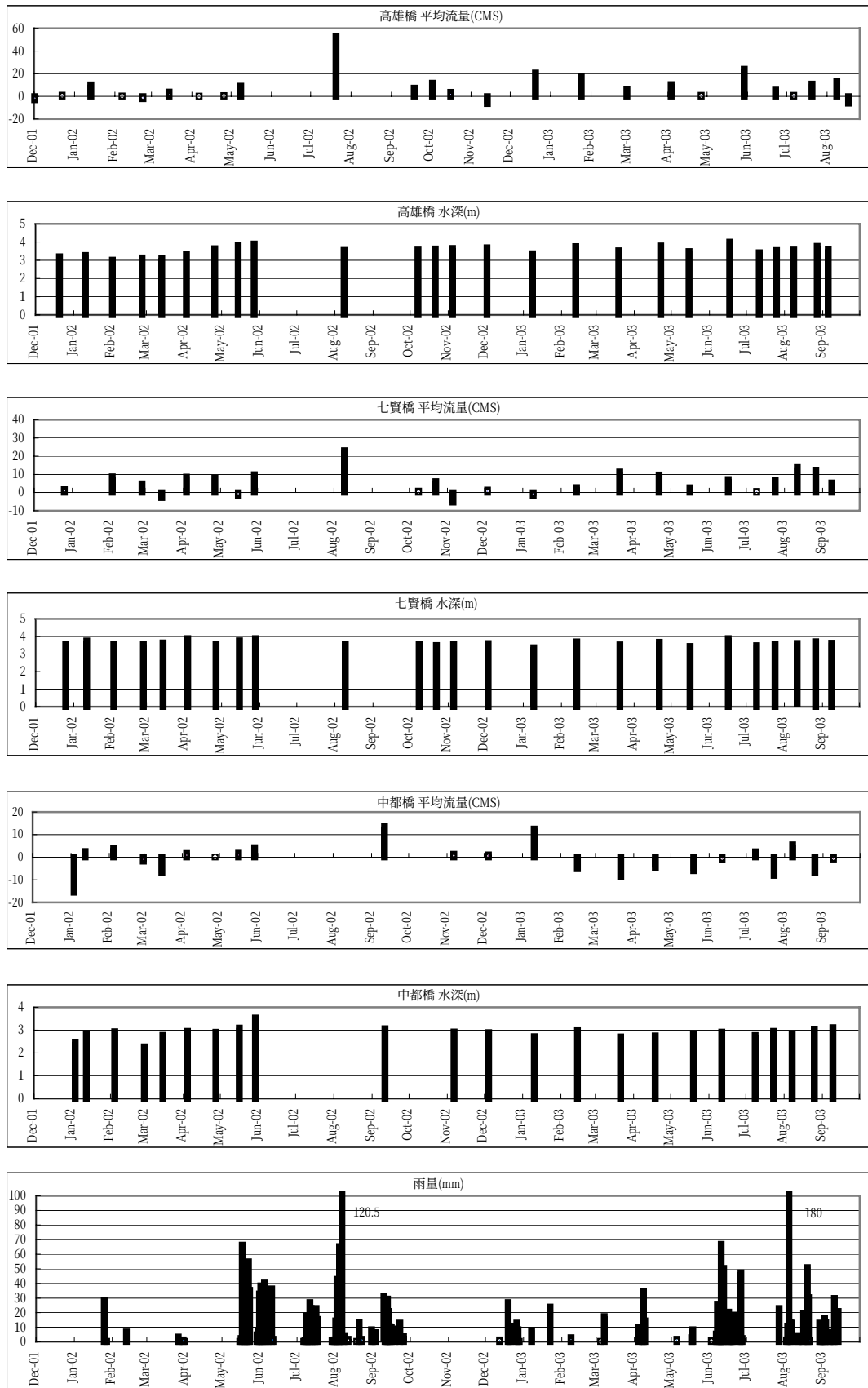


圖 5-1-1 高雄橋 (L1) 到中都橋 (L3) 的流量、水深、雨量圖

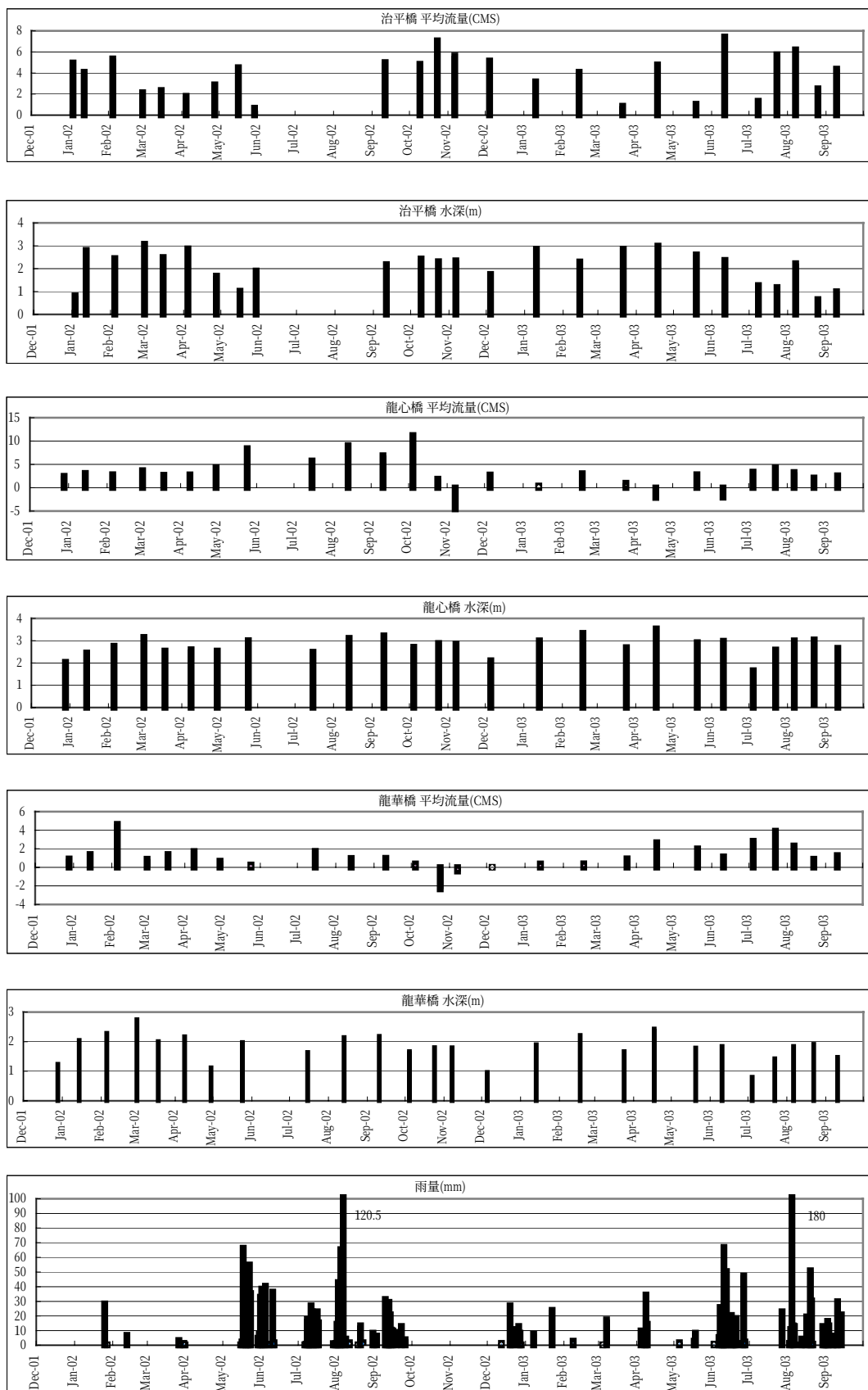


圖 5-1-2 治平橋 (L4) 到龍華橋 (L6) 的流量、水深、雨量圖

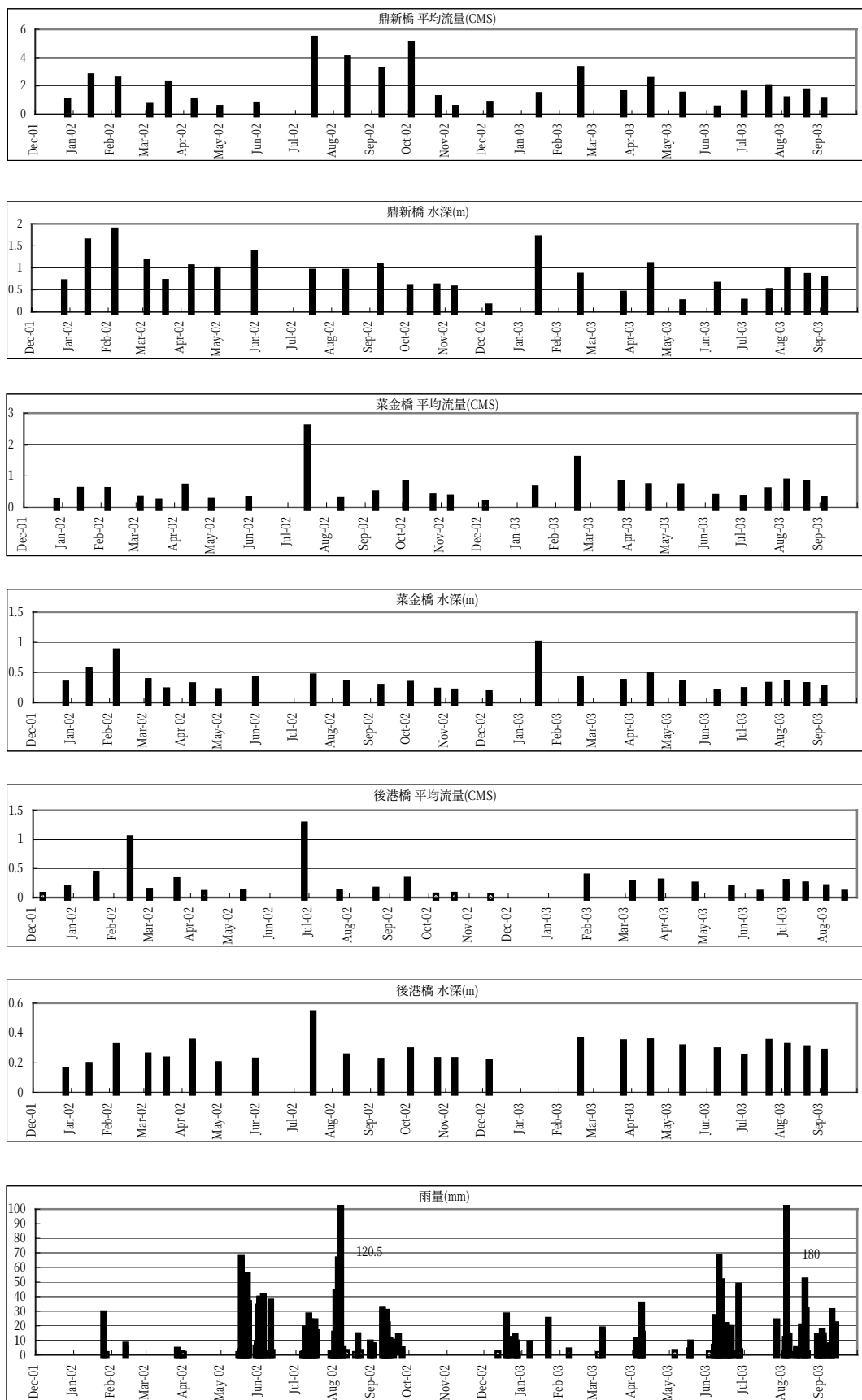


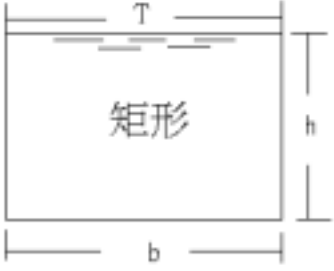
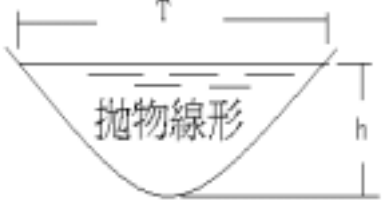
圖 5-1-3 鼎新橋（L7）到後港橋（L9）的流量、水深、雨量圖

5-2 愛河上游的流量關係式

本章節以愛河上游之龍心橋站、龍華橋站、鼎新橋站、菜金橋站以及後港橋站，分別進行分析探討。其中各水文站水面寬 T 、水深 h 及流速 V 值係採用實際量測值，並以梯形面積法量測，梯形面積法將斷面分為寬度不同之各梯形，求得各站各斷面積 A 、流量 Q 及濕周 P ，進而分析水力半徑 R 和水力深度 D 與流量 Q 的關係。為了消除潮汐的影響，在計算流量關係式時，將治平截流站開閘的實驗十一至實驗十五的數據刪去。本文中與(謝，2003)的曾文溪及高屏溪的流量關係式相互比較，以及(王，2003)的 $R/D = \alpha$ 值之趨勢，找出三條不同河川的水文特性。

愛河由河口的高雄橋至上游的後港橋，因為注重防洪功能，將河流堤岸建成垂直的水泥堤岸，可視為人工規則渠道，其河道截面如中游的龍心橋等，水位較深，可視為矩形渠道斷面；上游的河道如後港橋，水位較淺，可視為拋物線形渠道斷面。各種幾何渠道斷面數值分析表列於表 5-2。

表 5-2 各種幾何渠道斷面數值分析表(取自(王，2003))

斷面形狀		
面積 A	bh	$\frac{2}{3}Th$
濕周 P	$b + 2h$	$T + \frac{8h^2}{3T}$
河面寬 T	b	$\frac{3A}{2h}$
水力半徑 $R=A/P$	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{2hT^2}{3T^2 + 8h^2}$
水力深度 $D=A/T$	h	$\frac{2}{3}h$
$\alpha = R/D$	$\frac{1}{1 + \frac{2h}{T}}$	$\frac{1}{1 + \left(\frac{8}{3}\right)\left(\frac{h}{T}\right)^2}$

5-2-1 水力半徑關係式

水力半徑 R 是通水斷面積 A 和濕周 P 的比值，即 $R=A/P$ ，水力半徑 R 可視為代表流動效率或阻力效應的一種方式，水力深度 D 即是通水斷面積 A 和水面寬度 T 之比值，即 $D=A/T$ ，水力深度 D 也是表達代表水深的一種方式。現場觀測資料所提供大多為斷面積 A 及水面寬度 T ，因此有時需要用水力深度 D 而非水力半徑 R ，或者需要由水力深度 D 來推估 R ，因此本文依據愛河實測資料探討 D 和 R 之

關係。並由 R 與 D 之關係式中求得可代表水力深度 D 值之水力半徑 R 值，並藉由此關係式，希望能簡化及可應用於實際自然河川之流量計算。

本文以愛河上游之龍心橋站、龍華橋站、鼎新橋站、菜金橋站以及後港橋站作分析，由圖 5-2-1、5-2-3、5-2-5、5-2-7、5-2-9 所示，不同流量下可分別量測水面寬度 T 、斷面積 A 及濕周 P ，依照所量測之資料算出水力半徑 R 及水力深度 D 具有良好之相關性，茲列出愛河的水力半徑 R 與水力深度 D 之關係式如表 5-2-1，由其結果顯示水力深度 D 與水力半徑 R ，二者間為高度相關性。由圖 5-2-2、5-2-4、5-2-6、5-2-8、5-2-10 顯示愛河上游的流量 Q 和 $R/D = \alpha$ 值關係，於流量小於 2cms 以下時， $R/D = \alpha$ 值皆為 0.9-1.0 之間，顯示出小流量時水面寬度 T 接近濕周長度 P ，也就是當流量較小時， α 值趨近於 1；但於流量 2cms 以上時， $R/D = \alpha$ 值變動範圍為 0.8~0.9 之間，並且於較大流量時 α 值趨向 0.8 之趨勢，其相關性列於表 5-2-2。

(謝，2003)文中的曾文溪及高屏溪的水力半徑關係式，曾文溪流域以二溪新中站、二溪橋站、新中站、左鎮站及玉田站為測站，由表 5-2-2 中，看出此五個站之判定係數皆為 0.96 以上，水力半徑 R 與水力深度具有高度相關性，而 $R/D = \alpha$ 值約在 0.7~0.95 之間，其相關性列於表 5-2-5，而高屏溪流域以三地門站、六龜站、新發大橋站為測

站，由表 5-2-4 中，看出此三個站之判定係數皆為 0.98 以上，水力半徑 R 與水力深度具有高度相關性，而 $R/D = \alpha$ 值約在 0.84~0.86 之間，其相關性列於表 5-2-6。

表 5-2-1 愛河水力半徑 R 與水力深度 D 之關係

站名	R 與 D 的關係	判定係數 R^2
龍心橋站	$D=1.1623R$	0.9629
龍華橋站	$D=1.1117R$	0.9904
鼎新橋站	$D=1.0170R$	0.9995
菜金橋站	$D=1.0225R$	0.9999
後港橋站	$D=1.0191R$	0.9994

表 5-2-2 愛河流域上游 α - Q 之關係表

站名	流量 Q (CMS)	α 值	說明
龍心橋站	0.89~11.23	0.850~0.90	無論低、中、高流量， α 值集中在 0.85
龍華橋站	0.58~5.27	0.840~0.980	無論低、中、高流量， α 值集中在 0.9
鼎新橋站	0.10~3.65	0.970~0.999	低流量時， α 值集中在 0.995 中、高流量時， α 值集中在 0.99
菜金橋站	0.12~4.15	0.980~0.998	低流量時， α 值集中在 0.98 中、高流量時， α 值較為分散
後港橋站	0.04~2.50	0.980~0.995	低流量時， α 值集中在 0.98 中、高流量時， α 值較為分散

表 5-2-3 曾文溪水力半徑 R 與水力深度 D 之關係(取自(謝，2003))

站名	R 與 D 的關係	判定係數 R^2
二溪橋站	$D=1.24R$	0.997
新中站	$D=1.30R$	0.968
左鎮站	$D=1.39R$	0.991
玉田站	$D=1.16R$	0.976
二溪、新中站	$D=1.30R$	0.975

表 5-2-4 曾文溪流域 α -Q 之關係表(取自(王, 2003))

站名	流量 Q(CMS)	α 值	說明
二溪大橋站	0.89~11.23	0.850~0.90	低流量時, α 值集中在 0.9 中、高流量時, α 值集中在 0.8
左鎮站	0.58~5.27	0.840~0.980	低流量時, α 值集中在 0.9 中、高流量時, α 值集中在 0.8
玉田站	0.10~3.65	0.970~0.999	低流量時, α 值集中在 0.9 中、高流量時, α 值集中在 0.8
新中站	0.12~4.15	0.980~0.998	低流量時, α 值集中在 0.9 中、高流量時, α 值集中在 0.8

表 5-2-5 高屏溪水力半徑 R 與水力深度 D 之關係(取自(謝, 2003))

站名	R 與 D 的關係	判定係數 R^2
三地門站	$D=1.11R$	0.997
六龜站	$D=1.16R$	0.990
新發大橋站	$D=1.19R$	0.979

表 5-2-6 高屏溪流域 α -Q 之關係表(取自(王, 2003))

站名	流量 Q(CMS)	α 值	說明
三地門站	0.89~11.23	0.850~0.90	無論低、中、高流量, α 值集中在 0.9
六龜站	0.58~5.27	0.840~0.980	低流量時, α 值較為分散 中、高流量時, α 值集中在 0.9
新發大橋站	0.10~3.65	0.970~0.999	無論低、中、高流量, α 值集中在 0.9

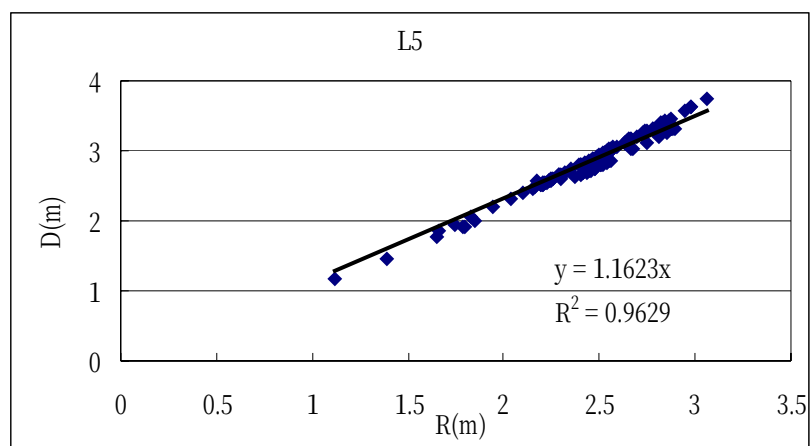


圖 5-2-1 愛河龍心橋站水力半徑及水力深度關係

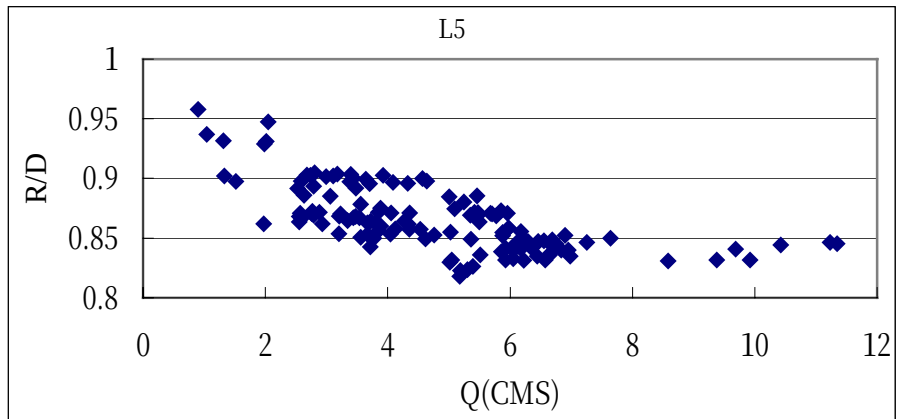


圖 5-2-2 愛河龍心橋站流量及 α 值的關係

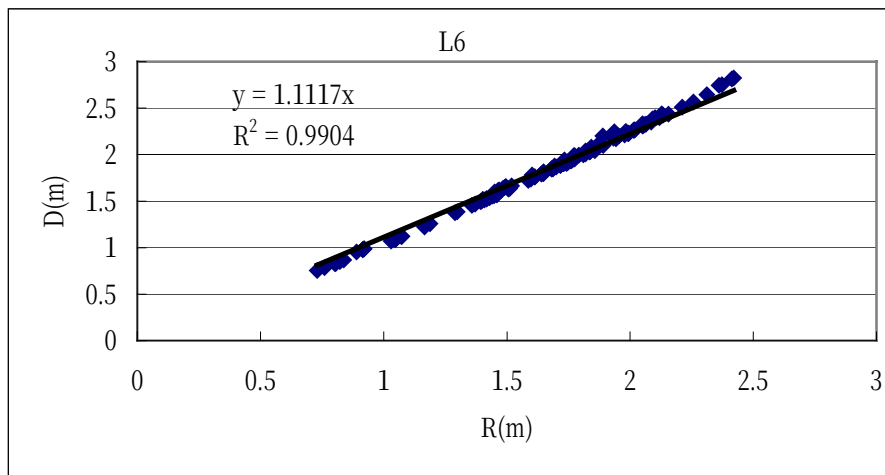


圖 5-2-3 愛河龍華橋站水力半徑及水力深度關係

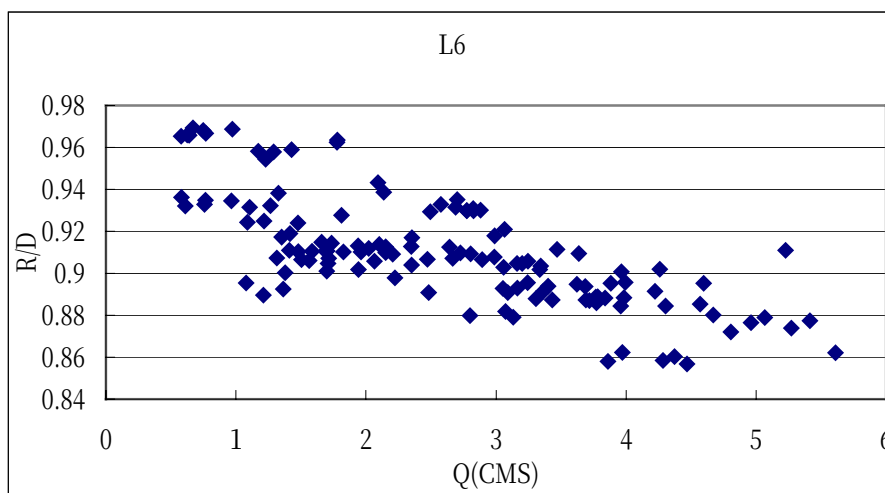


圖 5-2-4 愛河龍華橋站流量及 α 值的關係

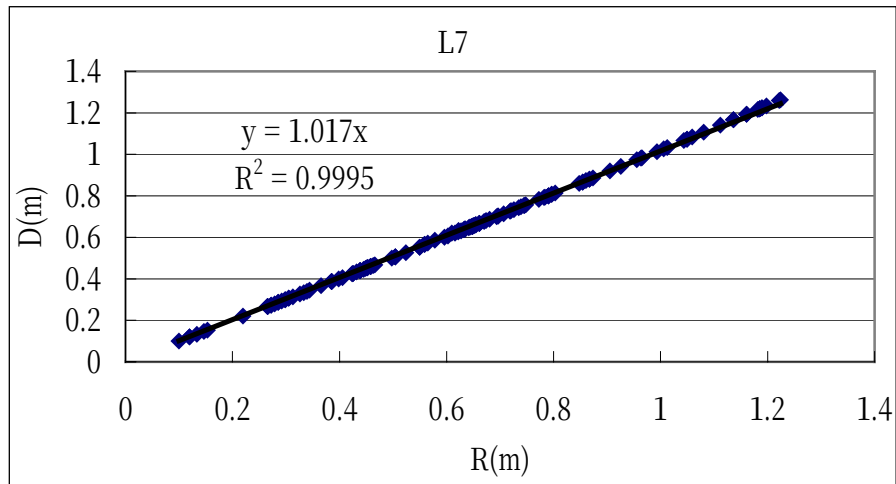


圖 5-2-5 愛河鼎新橋站水力半徑及水力深度關係

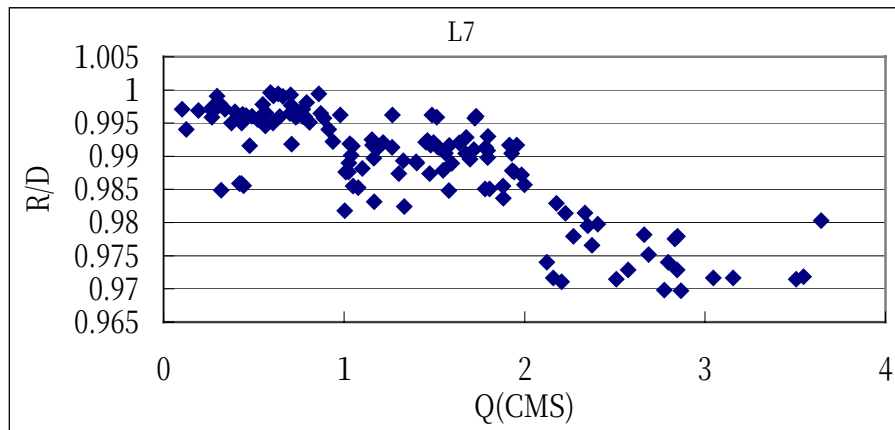


圖 5-2-6 愛河鼎新橋站流量及 α 值的關係

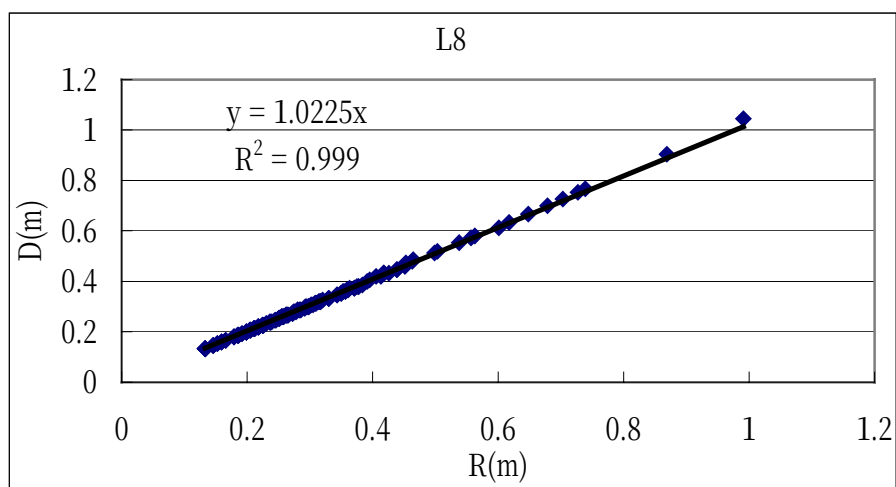


圖 5-2-7 愛河菜金橋站水力半徑及水力深度關係

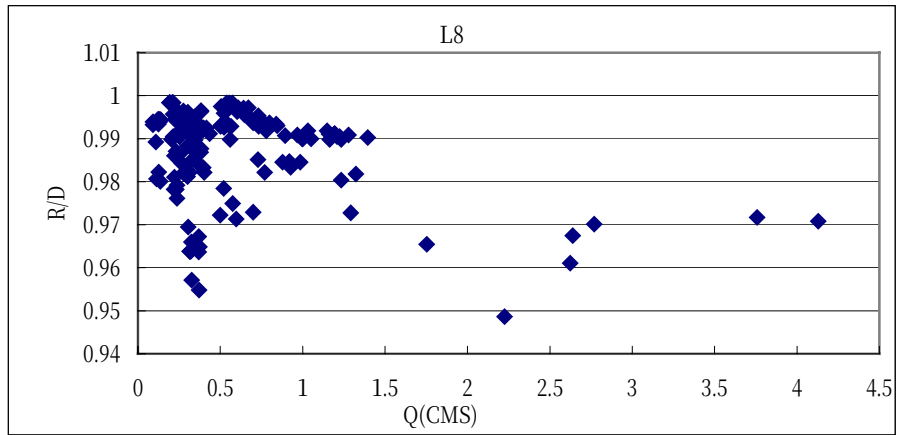


圖 5-2-8 愛河菜金橋站流量及 α 值的關係

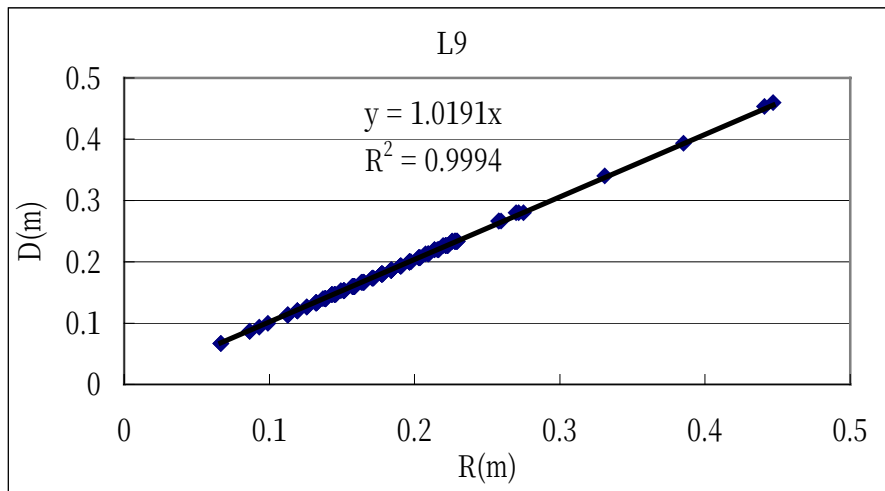


圖 5-2-9 愛河後港橋站水力半徑及水力深度關係

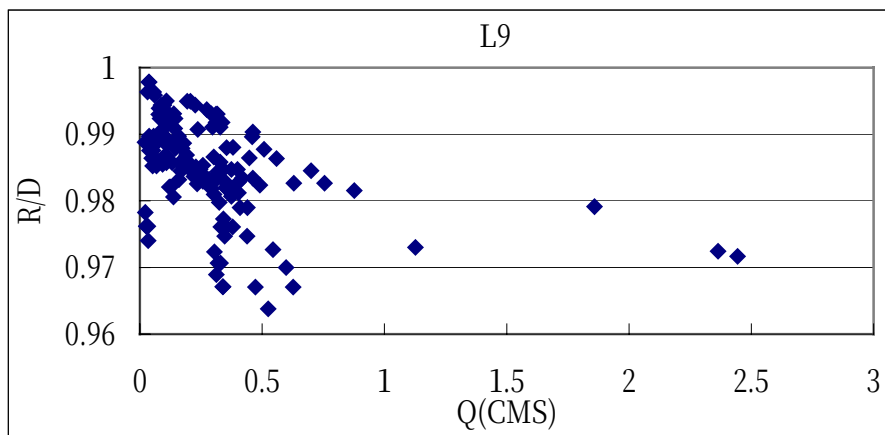


圖 5-2-10 愛河後港橋站流量及 α 值的關係

5-2-2 流量 Q 和水面寬度 T 之關係式

圖 5-2-11、5-2-12、5-2-13、5-2-14、5-2-15 中為龍心橋站、龍華橋站、鼎新橋站、菜金橋站以及後港橋站之流量和水面寬度之關係。各站之關係可表示如表 5-2-7。龍心橋站、龍華橋站、鼎新橋站和菜金橋站，因為兩岸為人工水泥堤岸，雖有時因枯水期或治平截流站抽水量較大，而露出兩岸自然河道，但大部分時段河寬不隨流量大小而變化，只有菜金橋因為水淺，水面未覆蓋水泥堤岸，所以龍心橋站河寬 $T \sim 33\text{m}$ ，龍華橋站河寬 $T \sim 32\text{m}$ ，鼎新橋站河寬 $T \sim 17.5\text{m}$ ，而菜金橋站和後港橋站之流量約為通水面積之 0.1257 次方到 0.1678 次方成正比，不過可能由於河道人工建物的影響，相關性不高，此兩站的判定係數只有 0.2233 和 0.5196。

(謝，2003)文中，曾文溪的流量 Q 和水面寬度 T 之關係，列於表 5-282 中，看出此五個站之判定係數皆為 0.68 以上，尤其新中站流量由 2~1500cms，水面寬度 6m~120m，顯示河川流量變動範圍大，但流量 Q 與水面寬度判定係數 0.856 也為最高值，此應為流較大之故。而高屏溪流域的流量 Q 和水面寬度 T 之關係，列於表 5-2-9 中，此三站之判定係數皆為 0.65 以上，並可觀察出流量與水力寬度相關性較差，顯示此三站河川流量變動，各站每年在相同流量下，水面寬度變動較大。

表 5-2-7 愛河流量 Q 和水面寬度 T 之關係

站名	Q 與 T 的關係	判定係數 R^2
龍心橋站	$T=33$	N/A
龍華橋站	$T=32$	N/A
鼎新橋站	$T=17.5$	N/A
菜金橋站	$T=8.1009Q^{0.1678}$	0.2233
後港橋站	$T=4.4651Q^{0.1257}$	0.5196

表 5-2-8 曾文溪流量 Q 和水面寬度 T 之關係(取自(謝，2003))

站名	Q 與 T 的關係	判定係數 R^2
二溪橋站	$T=9.26Q^{0.30}$	0.682
新中站	$T=12.44Q^{0.28}$	0.856
左鎮站	$T=8.1009Q^{0.1678}$	0.758
玉田站	$T=6.32Q^{0.40}$	0.787

表 5-2-9 高屏溪流量 Q 和水面寬度 T 之關係(取自(謝，2003))

站名	Q 與 T 的關係	判定係數 R^2
三地門站	$T=12.17Q^{0.31}$	0.798
六龜站	$T=8.1Q^{0.43}$	0.844
新發大橋站	$T=6.53Q^{0.4}$	0.654

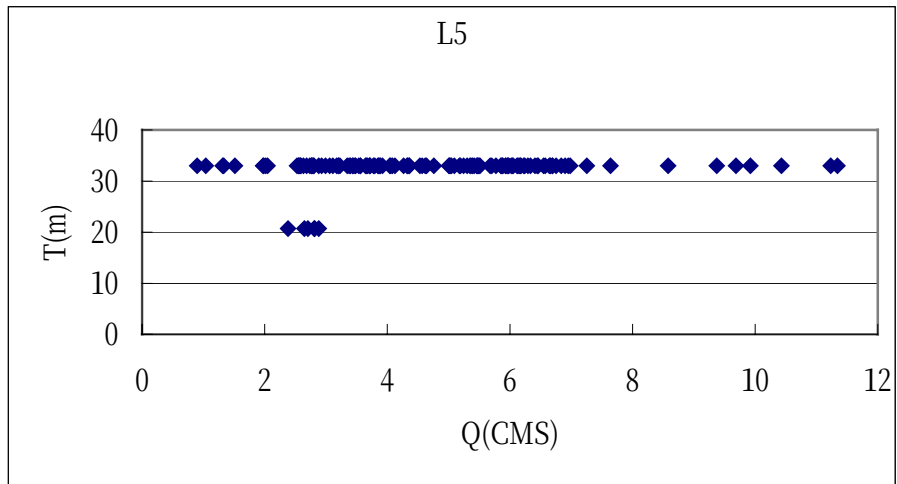


圖 5-2-11 愛河龍心橋站流量及水面寬度關係

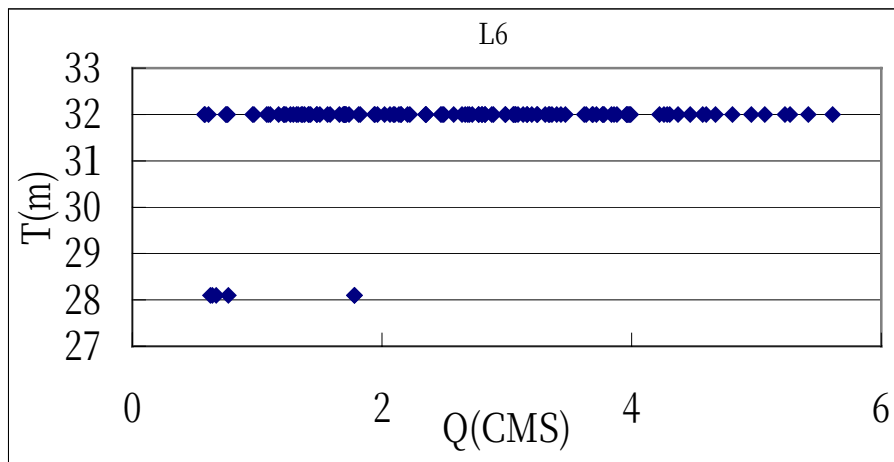


圖 5-2-12 愛河龍華橋站流量及水面寬度關係

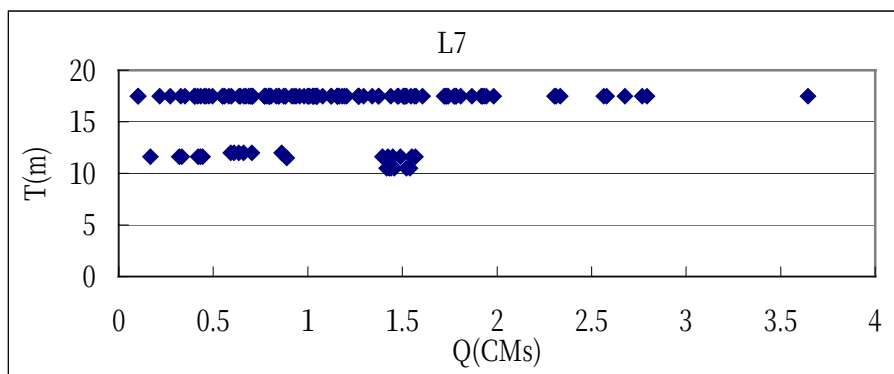


圖 5-2-13 愛河鼎新橋站流量及水面寬度關係

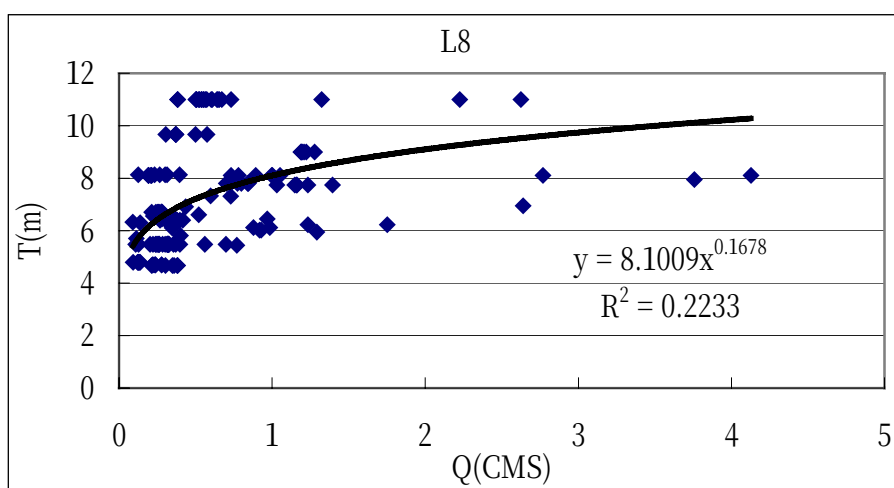


圖 5-2-14 愛河菜金橋站流量及水面寬度關係

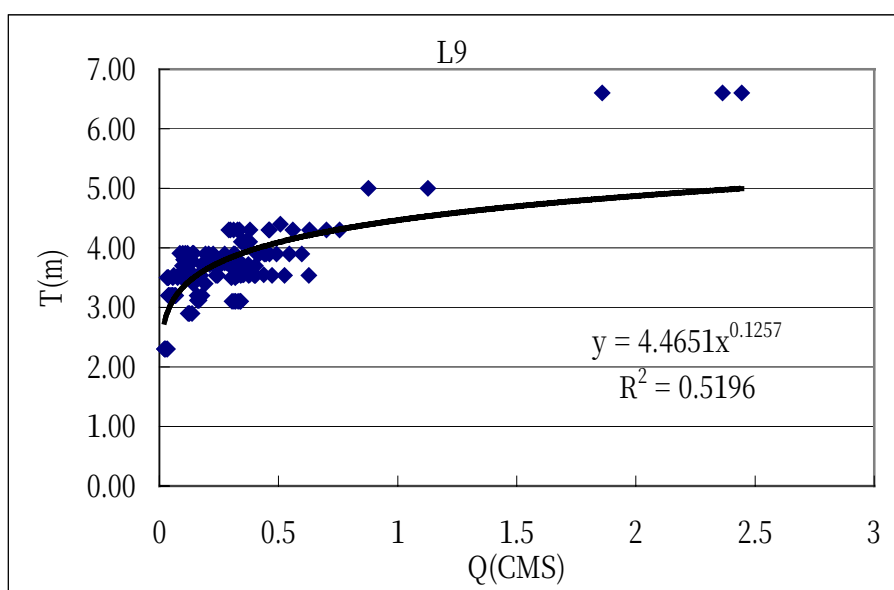


圖 5-2-15 愛河後港橋站流量及水面寬度關係

5-2-3 流量 Q 和水力深度 D 之關係式

河川流量可由其水力深度推估，也就是說在某一固定斷面上的水力深度與流量之間具備某種關係，稱之為流量率定曲線(rating curve)，它對於防洪和水土保持等工作有很實用的意義。水力深度和流量的關係可以根據各個測站實際測得的水文資料，所繪製出的率定曲線來決定。圖 5-2-16、5-2-17、5-2-18、5-2-19、5-2-20 中為龍心橋站、龍華橋站、鼎新橋站、菜金橋站以及後港橋站之流量和水力深度之關係。各站之關係可表示如表 5-2-10。其中菜金橋站和鼎新橋站的流量 Q 和水力深度 D 相關性差，菜金橋站的判定係數只有 0.3046，菜金橋站的判定係數只有 0.4972，推測為測站附近的河床地形不平，造成水流流向不一致，經過運算之後平行河道的分量被抵消掉，使得流量 Q 偏低。其他三站的相關性算良好，判定係數皆在 0.6 以上。

(謝，2003)文中，曾文溪的流量 Q 和水力深度 D 之關係，列於表 5-2-11 中，其中新中站測點較為散亂，判定係數為 0.752，推測為該站於下游河道疏浚所致，其餘三站有較良好之相關性，判定係數皆為 0.77 以上。而高屏溪流域的流量 Q 和水力深度 D 之關係，列於表 5-2-12 中，三地門站判定數為 0.859，其餘二站相關性較差，顯示此二站河川沖淤變動較大。

表 5-2-10 愛河流量 Q 和水力深度 D 之關係

站名	Q 與 D 的關係	判定係數 R^2
龍心橋站	$D=1.811Q^{0.2981}$	0.6419
龍華橋站	$D=1.2343Q^{0.4364}$	0.6751
鼎新橋站	$D=0.563Q^{0.5146}$	0.4972
菜金橋站	$D=0.3596Q^{0.3087}$	0.3046
後港橋站	$D=0.2657Q^{0.2555}$	0.6195

表 5-2-11 曾文溪流量 Q 和水力深度 D 之關係(取自(謝，2003))

站名	Q 與 D 的關係	判定係數 R^2
二溪橋站	$D=0.225Q^{0.493}$	0.940
新中站	$D=0.34Q^{0.485}$	0.752
左鎮站	$D=0.372Q^{0.467}$	0.820
玉田站	$D=0.353Q^{0.373}$	0.774

表 5-2-12 高屏溪流量 Q 和水力深度 D 之關係(取自(謝，2003))

站名	Q 與 D 的關係	判定係數 R^2
三地門站	$D=0.21Q^{0.34}$	0.859
六龜站	$D=0.36Q^{0.26}$	0.656
新發大橋站	$D=0.43Q^{0.23}$	0.545

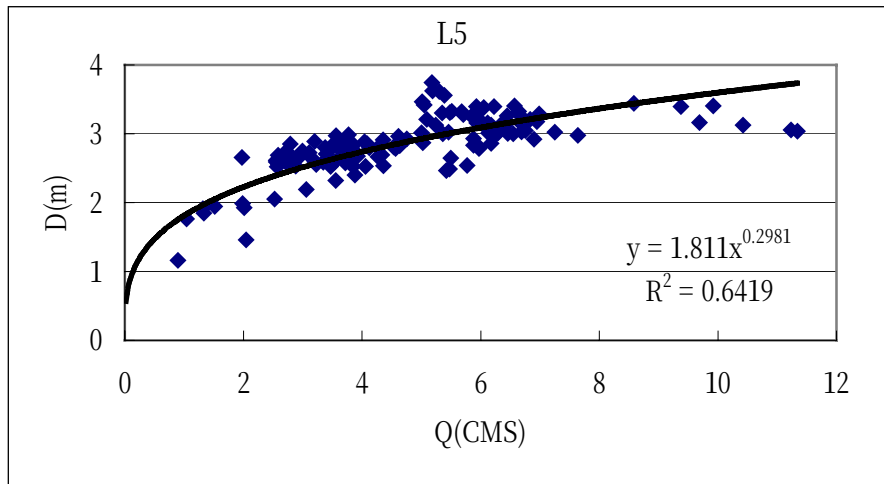


圖 5-2-16 愛河龍心橋站流量及水力深度關係

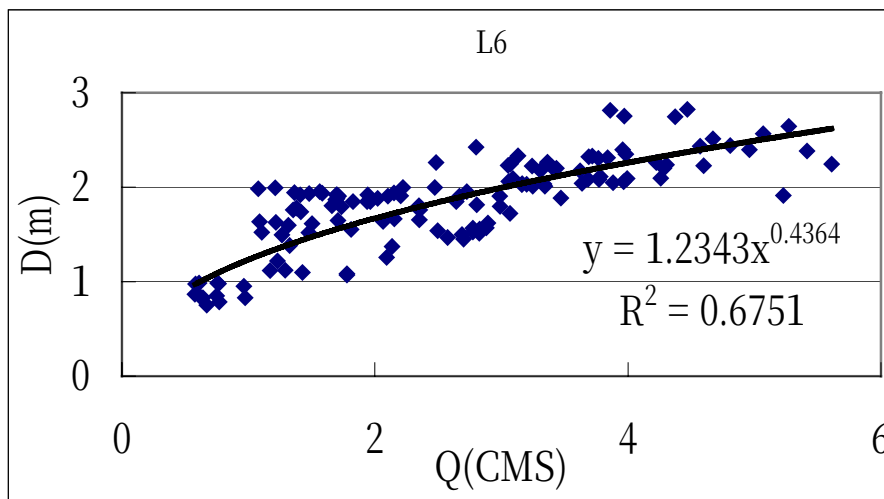


圖 5-2-17 愛河龍華橋站流量及水力深度關係

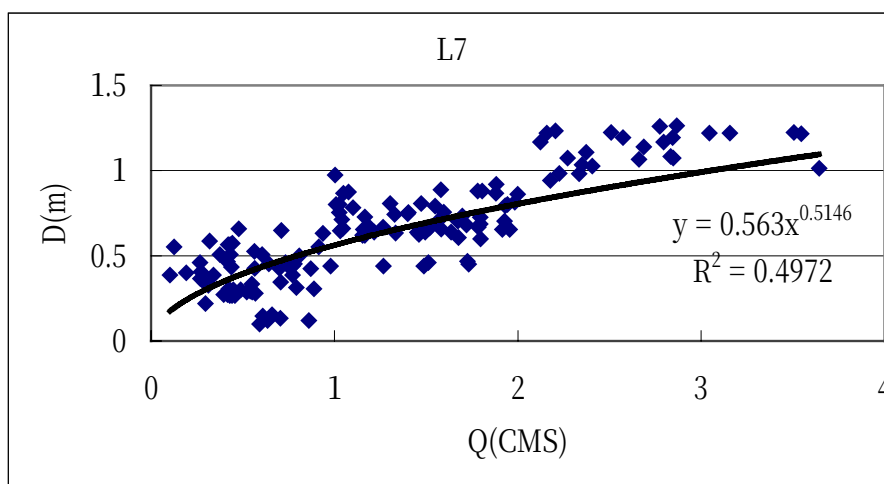


圖 5-2-18 愛河鼎新橋站流量及水力深度關係

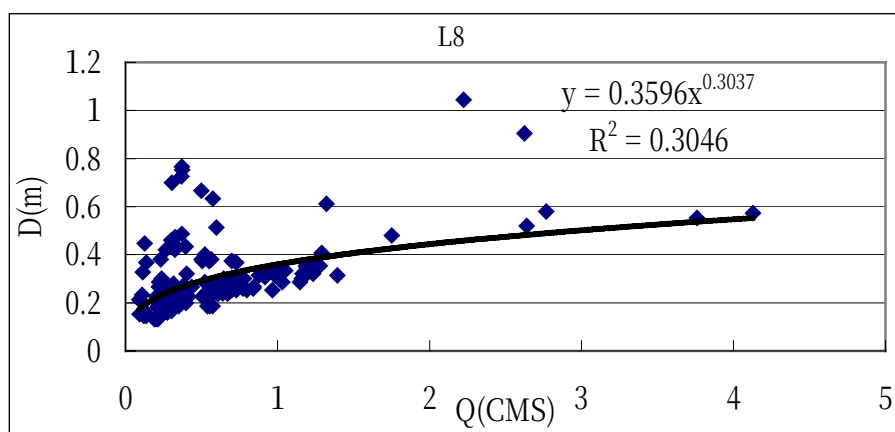


圖 5-2-19 愛河菜金橋站流量及水力深度關係

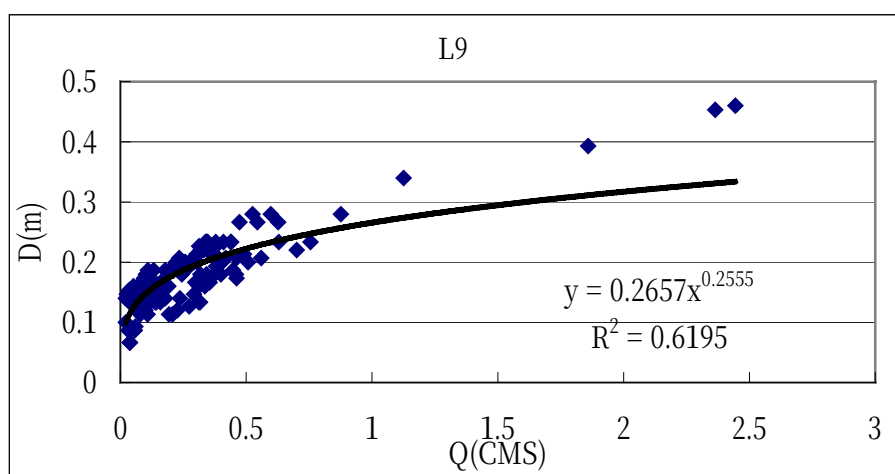


圖 5-2-20 愛河後港橋站流量及水力深度關係

5-2-4 流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係式

對於人工河道(龍心橋站、龍華橋站等)而言，河道之曼寧係數 n 值、河道寬度、水深、水力半徑 R 及坡度 S 均較容易量測，然而對於自然之沖積河川(菜金橋站和後港橋站)，它的水深及寬度非常不規則，因此也不易確定。對自然河川而言，濕周 P 不易量測，但水面寬度 T 很容易測量，因此曼寧公式中水力半徑 R 及斷面積 A 若能改以水面寬度 T 及水力深度 D 表示，則應用上較為方便，即

$$Q = \frac{\phi}{n} (TD)(\alpha D)^{2/3} S^{1/2} = \left(\frac{\phi \alpha^{2/3} S^{1/2}}{n} \right) TD^{5/3} = \beta TD^{5/3}$$

式中 $A=T/D$ ， $R=\alpha D$ ， α 為水力半徑 R 和水力深度 D 的比值。由流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係式可推求斜率(β)。

由曼寧公式 $Q=\beta TD^{5/3}$ ，在不考慮河床質粒徑之影響，則由圖 5-2-21、5-2-22、5-2-23、5-2-24、5-2-25，可看出龍心橋站、龍華橋站、鼎新橋站、菜金橋站以及後港橋站流量之曼寧公式性質，如表 5-2-13。

(謝，2003)文中，曾文溪的流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係式，列於表 5-2-14 中，具有很好的相關性，判定係數皆在 0.8 以上。而高屏溪流域的流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係式，列於表 5-2-15 中，各站之通水斷面因子 $TD^{5/3}$ 與流量 Q 之 0.7~0.88 次方成正比。

表 5-2-13 愛河流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係

站名	Q 與 $TD^{5/3}$ 的關係	判定係數 R^2
龍心橋站	$TD^{5/3}=88.793Q^{0.4969}$	0.6419
龍華橋站	$TD^{5/3}=44.54Q^{0.7446}$	0.6674
鼎新橋站	$TD^{5/3}=7.171Q$	0.7614
菜金橋站	$TD^{5/3}=1.4732Q^{0.6739}$	0.3777
後港橋站	$TD^{5/3}=0.7435Q$	0.9078

表 5-2-14 曾文溪流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係(取自(謝, 2003))

站名	Q 與 $TD^{5/3}$ 的關係	判定係數 R^2
二溪橋站	$TD^{5/3}=1.404Q$	0.804
新中站	$TD^{5/3}=2.07Q$	0.810
左鎮站	$TD^{5/3}=1.218Q$	0.867
玉田站	$TD^{5/3}=1.225Q$	0.895

表 5-2-15 高屏溪流量 Q 和通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係(取自(謝, 2003))

站名	Q 與 $TD^{5/3}$ 的關係	判定係數 R^2
三地門站	$TD^{5/3}=0.90Q^{0.88}$	0.966
六龜站	$TD^{5/3}=1.49Q^{0.85}$	0.931
新發大橋站	$TD^{5/3}=2.06Q^{0.70}$	0.714

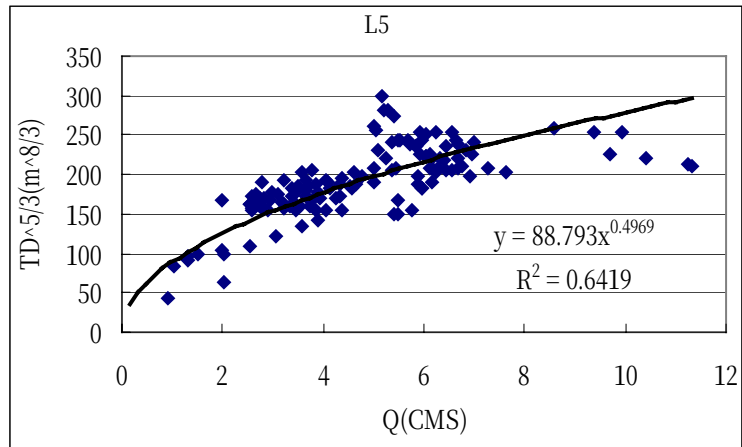


圖 5-2-21 愛河龍心橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係

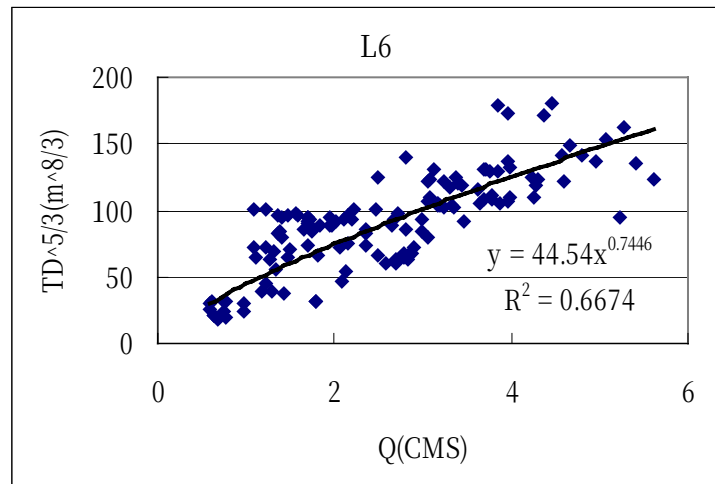


圖 5-2-22 愛河龍華橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係

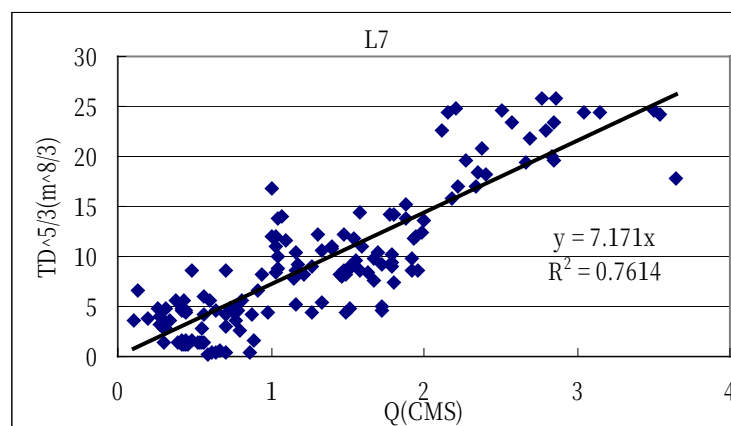


圖 5-2-23 愛河鼎新橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係

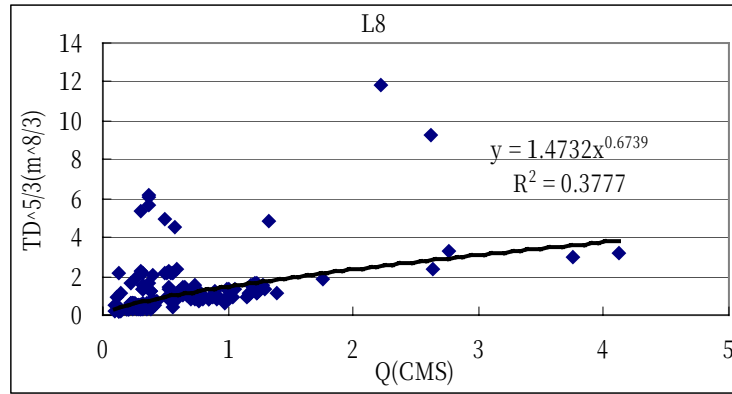


圖 5-2-24 愛河菜金橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係

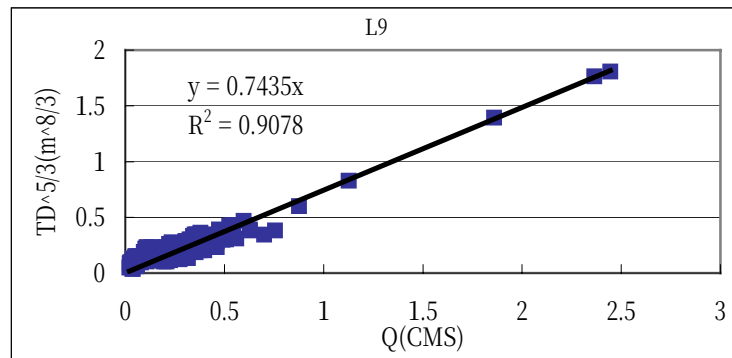


圖 5-2-25 愛河後港橋流量及通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 之關係

六、結論

綜合上述結果與討論，本文獲致幾點結論，分別敘述如下：

- (1) 當治平截流站開啟時，愛河為一暢通的水道，感潮段可上溯到鼎新橋(L7)，底層鹽度大約 27~33 psu，上層鹽度大約 5~25 psu，感潮段的水深受到潮汐的影響很大，高雄橋(L1)大潮時潮差達 1m，小潮時潮差只有 10cm 左右，且水位與鹽分同相位變化，而龍心橋和龍華橋的流量增加到 $\pm 20\text{CMS}$ (平時流量約 1~4CMS)。
- (2) 愛河下游的 L1、L2 和 L3 測站受到漲退潮的影響非常明顯，感潮段的水深與高雄港 10 號碼頭的潮位之間關係密切，愛河的潮時落後 10 號碼頭約 5~20 分鐘。
- (3) 河口測站(L2)的潮流，除了受天文潮影響外，亦因河口地形深寬比值大，造成淺水波的效應加強，出現一小時的潮流波動，河口測站(L2)的底層水溫由上午持續升高至凌晨再下降，而底層的濁度與潮位反相，漲潮時濁度下降，退潮時濁度上升。
- (4) 愛河上游河段從一月起農業迴歸水量漸增，流量為 1~2.8 CMS。乾季時上游的流量很小，約為 0~0.5 CMS，雨季時的流量則增加到約 1~5 CMS。愛河的淨流量在高雄橋和七賢橋約為 1~9 CMS，潮汐所帶動的海水流量約為 $\pm 30\text{ CMS}$ 。
- (5) 愛河之水力深度 D 與水力半徑 R 之關係比，值 $R/D = \alpha$ ，約為

0.7~0.95 之間，並且有流量越低 α 值越高之趨勢。

- (6) 對於愛河而言，水面寬度 T 易受流量 Q 沖淤之影響而變動較大，同時使得水力深度 D 易受流量 Q 之影響變動較大，所以使得流量 Q 與水面寬度 T 及水力深度 D 相關性較差。
- (7) 河川流量 Q 與通水斷面參數 $TD^{5/3}$ 成正比，除了菜金橋(L8)的判定係數較差，其餘測站相關性良好，此符合曼寧公式 $Q = \beta TD^{5/3}$ 之性質，而符合線性關係的有鼎新橋 $TD^{5/3} = 7.171Q$ 和後港橋的 $TD^{5/3} = 0.7435Q$ 。
- (8) 由本文第二十八次實驗，觀察到河床底層的流速有一個週期約一小時的波動，如圖 6-1，推測與淺水波相關。若能做更長時間的流速觀測，以取得其他分潮的調和分析結果，應更能確知其成因。

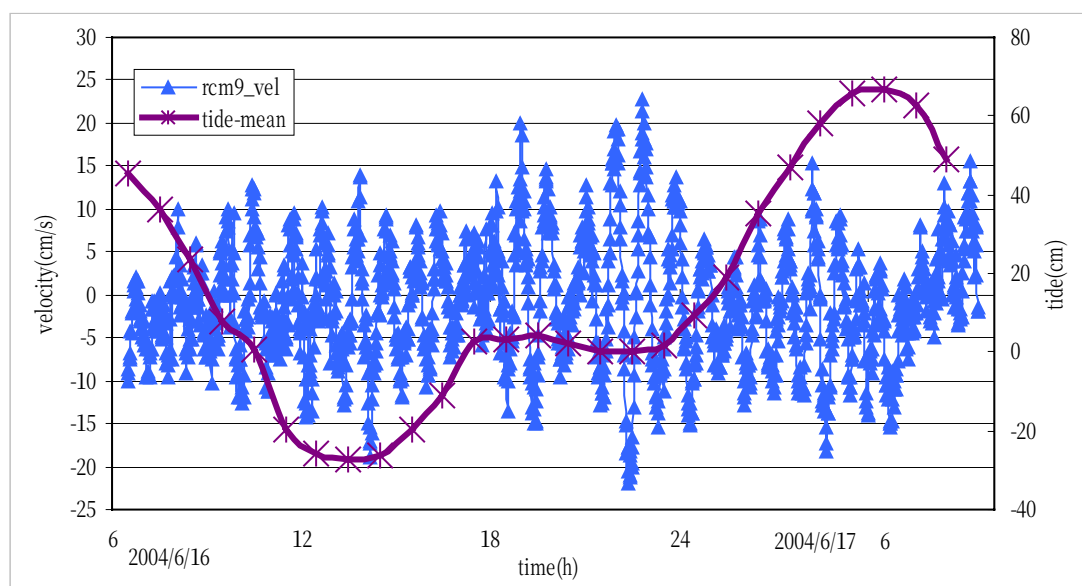


圖 6-1 實驗二十八 RCM-9 測得之瞬時流速與平均水位

參考文獻

1. 王瑞德(2003)：水力半徑和水力深度比值之研究。國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
2. 吳玟儒(1999)：屏東地區封閉型河口水文之短期變化特性。國立臺灣師範大學地理學系研究所碩士論文。
3. 林永禎、徐貴新(2003)：實用水文學，高立圖書，p3-5~3-6
4. 柳文成、許銘熙、郭義雄、郭振泰(1998)：淡水河河口環流特性之研究。臺灣水利，第 46 卷，第 1 期。
5. 柳文成、許銘熙、郭義雄(2000)：河口潮汐入侵峰之探討。臺灣水利，第 48 卷，第 2 期。
6. 高雄市工務局下水道工程處(2003)。愛河河川水質改善及生態環境評估委託技術服務案報告。國立中山大學。
7. 許銘熙、郭義雄、郭振泰、柳文成(1996)：淡水河系潮流、河口環流與鹽分分佈之研究(一)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
8. 許銘熙、郭義雄、郭振泰、柳文成(1997)：淡水河系潮流、河口環流與鹽分分佈之研究(二)。國立臺灣大學水工試驗所。
9. 連惠邦、曹文洪、胡春宏(2000)：明渠水力學。高立圖書有限公司。
10. 賴進松(1998)：高屏溪河口感潮水理及鹽分入侵之研究 1998 年度

研究報告。國立臺灣大學水工試驗所。

- 11.謝志能 (2003)：曾文溪及高屏溪流量關係式之研究。國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 12.Chang, H. H. (1988): Fluvial Processes in River Engineering. *John Wiley & Sons, New York*, pp. 47, 234-240.
- 13.Chow, V. T. (1969): Open-channel hydraulics, p21~23.
- 14.Fischer H. B., List E. J., Koh R. C. Y., Imberger J., Brooks N. H. (1979): Mixing in Inland and Coastal Waters.
- 15.Haas, L. W. (1977): The Effect of the Neap-Spring Tidal Cycle of the Vertical Salinity Structure of the Jams, York, and Rappahannock Rivers, Virginia USA. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 5, 485-496.
- 16.Myriam Bormans & Ian T. Webdter (1998): Dynamics of Temperature Stratification in Lowland Rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, October 1998, 1059-1063.
- 17.Julien P. Y. (2002): River Mechanics.
- 18.Pritchard, D. W. (1954): A Study of the Salt Balance in a Coastal Plain Estuary. *Journal of Marine Research*, 13(1), 133-144.
- 19.Pritchard, D. W. (1956) : The Dynamic Structure of a Coastal Plain Estuary. *Journal of Marine Research*, 15(1), 33-42.
- 20.Uncles R.J., Stephens J.A. (2000): Observations of currents, salinity, turbidity and intertidal mudflat characteristics and properties in the Tavy Estuary, UK. *Continental Shelf Research* 20, 1531-1549.
- 21.Wang, C. F., Hsu, H. H. and Kuo, A.Y. (2004): Residence time of the Danshuei River estuary, Taiwan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, p381~393