



國立中山大學海洋物理所

碩士論文

海流及波浪對於ADCP 回聲強度影響之研究

Effect of currents and waves on ADCP echo intensity

研究生：陳育村 撰

指導教授：曾若玄 博士

中華民國九十六年二月

國立中山大學研究生學位論文審定書

本校海洋物理研究所碩士班

研究生陳育村（學號：M925060001）所提論文

海流及波浪對於ADCP 回聲強度影響之研究

經本委員會審查並舉行口試，符合碩士學位論文標準。

學位考試委員簽章：

劉祖乾

黃材成

王山412

曾若玄

指導教授(可免) _____

系主任/所長(可免) _____

摘要

本文利用底碇式 ADCP 及 RCM 9 流速濁度計時間序列紀錄來探討愛河環境及後灣水域影響水中回聲強度 (Echo Intensity, EI) 的機制, 研究結果顯示, 在混濁的河口 (例如愛河) 環境下, 由於豪雨使得洪流宣洩, 造成愛河流速超過 1 ms^{-1} , ADCP 所紀錄的 EI 值亦快速增加, 其變化趨勢與濁度非常吻合, 利用 Kim and Voulgaris (2003) 的經驗公式, 將 ADCP 第一個 bin 的 EI 值轉換成懸浮沉積物濃度 (SSC), 與由濁度值轉換成 SSC 的結果相比亦很相近, 可見 ADCP 的 EI 值可以做為 SSC 的指標。本研究也將愛河所測得的流速剖面分佈帶入對數公式中以求得摩擦速度、粗糙長度等邊界層特性, 在暴雨時的對數層高度幾乎佔了全部的河道水深 (4 m), z_0 則大約趨近於 $1 \times 10^{-3} \text{ m}$, 而河床剪應力則高達 10 Pa 以上, 在這麼高的剪應力作用下底質會被擾動而捲起懸浮。

另一方面, 本研究也針對清澈的沿岸海域環境 (例如後灣), 探討海流與波浪對於 ADCP EI 值的影響。在冬季時海流的流速較強, 示性波高則通常不大於 1 m。靠近海底的 ADCP EI 值主要是與海流大小成正相關, 與波浪的相關性偏小, 靠近海面 ADCP EI 值則與示性波高的相關性較大, 這應該是由於波浪破碎捲入空氣所產生的氣泡效應, 特別是在示性波高大於 0.5 m 時更為明顯。

在夏季期間，海流較小，但是由於西南季風沒有陸地的阻擋使得波高較大，尤其在颱風侵襲時示性波高可高達 4.5 m，巨浪所引起的海底軌道速度和底床剪應力會攪動底質產生懸浮，使得幾乎整個水層（約 15 m）的 ADCP EI 值均與波高的相關性良好，與海流的相關性較差。靠近海底的 ADCP EI 值和濁度紀錄幾乎沒什麼相關，這可能是因為此處的海水 SSC 太低。



Abstract

In this study, bottom mounted ADCP and RCM 9 were deployed to collect time series data of current, turbidity and acoustic backscattered echo intensity (EI) in the estuarine environment near Love River and in the coastal waters of Howan. Our results indicate that in the torrential rain event, the Love River became very turbid with the flow speed exceeding 1.5 m/s. ADCP EI data also increase rapidly and correlate well with the turbidity data. Based on the empirical formula of Kim and Voulgaris (2003), the EI time series data of the first bin are converted into sediment suspension concentration (SSC), which compared reasonably well with those converted from the optical observations of turbidity. Therefore, ADCP EI data can be used as a good proxy of SSC. Velocity profiles measured by ADCP were also analyzed to obtain the friction velocity and roughness length according to the logarithmic relationship. The log layer height extended to almost full channel depth of 4 m during strong flows, the roughness lengths were about 10^{-3} m and the bottom shear stress reached 10 Pa. It is not surprising that bottom sediments are stirred under such a large shear stress.

The sediment suspension due to current and wave action in the rather clear coastal waters of Howan is also investigated by means of ADCP EI data. In winters the observed current speed is stronger while the wave height is smaller ($H_s < 1$ m). It is found that the near-bottom ADCP EI data have better correlation with the current magnitude but poorer correlation with surface waves. On the other hand, the ADCP EI data near the sea surface become more dependent on the surface waves. This is possible due to the bubbles entrained by breaking waves, especially under

the condition of $H_s > 0.5$ m. In summers the observed current speed is weaker while the wave height is generally higher. In one typhoon event the observed H_s even reached 4.5 m. The calculated maximum orbital velocity at the bottom and bed shear stress generated by surface waves are sufficient to mobilize sediment. The ADCP EI data of the whole water column (about 15 m) correlate nicely with the wave height but correlate poorly with current magnitude. In contrast to the results of the Love River, the near-bottom ADCP EI data show a weak correlation with the turbidity observation.

謝誌

本論文可以順利完成首先要感謝恩師曾若玄博士對學生的忍耐與寬容，在此非常感謝老師在這三年半中的指導與勉勵。

在論文口試期間，多謝 劉祖乾教授、王玉懷助理教授及黃材成副教授，不厭其煩的指導學生，並給予許多的建議，讓學生的論文更加的完善。

在實驗期間特別感謝同學劉俊志以及學弟王君豪、張鈞翔、徐堂家、傅科憲、吳瑞中及施宏恩等人，協助在愛河實驗中放置及回收儀器，並使我順利收集到完整的實驗資料，得以如期取得論文所需的資料。

在論文寫作期間，多謝學長沈勇廷、張育嘉，學姐黃玉華、楊宛華，學弟曾光明等人，由於你們的熱情的支持及協助以及專業上的協助，另外也要感謝吳殊豪學長，在我心情最沮喪時，協助我度過許多難關，也由於這些朋友的幫助，讓我如期完成學業。

最後，感謝我的父母親，不論何時、不問代價的支持，並且將這小小的成就獻給他們，也感謝這二十多年來對我的照顧及鼓勵。

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	III
謝誌.....	V
目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
第一章 前言.....	1
第二章 研究區域概況.....	3
2-1 愛河地理環境.....	3
2-2 愛河氣象與海象概況	4
2-3 後灣地理概況.....	5
2-4 後灣氣象與海象概況	6
第三章 實驗設計及方法	8
3-1 實驗設計與地點.....	8
3-2 儀器設備與設定.....	11
3-3 分析方法.....	12
第四章 研究結果.....	15
4-1 愛河觀測結果.....	15
4-2 後灣第一次實驗觀測結果.....	23

4-3 後灣第二次實驗觀測結果.....	33
第五章 討論與結論	42
5-1 愛河底床邊界層特性.....	42
5-2 海水濁度與 ADCP EI 觀測值得比較.....	48
5-3 回聲強度轉換成懸浮微粒濃度 (SSC)	51
5-4 ADCP EI 值隨著海氣象的變化	54
5-5 結論	58
第六章 參考文獻.....	61

表目錄

表 1 實驗儀器佈置表.....	10
表 2 愛河潮位調和分析結果.....	18
表 3 愛河 ADCP 的海流特性統計結果，2005/6/8 2005/6/30	19
表 4 第一次後灣實驗潮位調和分析結果.....	27
表 5 第一次後灣實驗 ADCP 海流特性統計結果，2005/11/30 2005/12/20	27
表 6 第二次後灣實驗潮位調和分析結果.....	37
表 7 第二次後灣實驗 ADCP 海流特性統計結果，2006/06/29 2006/08/14	37

圖目錄

圖 3.1 愛河研究區域與測站位置，標記處為實驗地點.....	11
圖 3.2 愛河實驗儀器佈置圖.....	12
圖 3.3 後灣研究區域與測站位置圖，其中北站位置為本研究的實驗地點.....	13
圖 3.4 濁度與 SSC 線性迴歸分析圖.....	16
圖 4.1 愛河在不同深度的潮流橢圓.....	21
圖 4.2 愛河潮位時間序列圖.....	21
圖 4.3 (a)為愛河主軸流速隨深度與時間變化圖，(b)為 ADCP 回聲強度(EI)隨深度與時間變化圖，(c)為愛河 w 方向流速隨深度與時間變化圖(d)為高雄逐日雨量圖.....	23
圖 4.4 愛河實驗的流速觀測結果 (a) 為 ADCP 第一層的流速資料時間序列圖；(b) 為 RCM 9 流速時間序列圖；(c) 為 H-ADCP 所測離岸 12 米處流速時間序列圖；(d) 為 H-ADCP 所測離岸 13 米處流速時間序列圖.....	24
圖 4.5 愛河 ADCP 流速與回聲強度間的相關係數.....	25
圖 4.6 第一次後灣實驗不同深度的潮汐橢圓.....	26
圖 4.7 (a) 第一次後灣實驗 v 流速分量隨深度與時間變化圖，其中白色的線條示水位的變化；(b) 第一次後灣實驗 w 流速分量隨深度與時間變化圖.....	29
圖 4.8 (a) 第一次後灣實驗示性波高隨時間變化圖 (b) 第一次後灣實驗 ADCP 回聲強度(EI) 隨深度與時間變化圖(c)第一次後灣實驗 ADCP 第三層流速與時間變化圖.....	30
圖 4.9 第一次後灣實驗流速和示性波高與回聲強度之相關係數圖.....	31
圖 4.10 第一次後灣實驗(a)示性波高;(b) 波浪週期;(c) 波向;(d) 恆春逐時風速棍棒圖.....	34
圖 4.11 第一次後灣實驗 (a) 波浪所引起底部軌道速度 u_m ; (b) 波浪計算出的底部摩擦剪應力圖.....	35
圖 4.12 第二次後灣實驗不同深度的潮汐橢圓.....	36
圖 4.13 (a) 第二次後灣實驗示性波高隨時間變化圖 (b) 第二次後	

灣實驗 ADCP 回聲強度(EI) 隨深度與時間變化圖 (c) 第二次後灣實驗 ADCP 第三層流速與時間變化圖	39
圖 4.14 (a) 第二次後灣實驗 v 流速分量隨深度與時間變化圖, 其中白色的線條示水位的變化;(b) 第二次後灣實驗 w 流速分量隨深度與時間變化圖	40
圖 4.15 第二次後灣實驗海流和示性波高與回聲強度之相關係數圖	41
圖 4.16 第二次後灣實驗(a)示性波高;(b) 波浪週期;(c) 波向;(d) 恆春逐時風速棍棒圖	43
圖 4.17 第二次後灣實驗 (a) 波浪所引起的底部軌道速度;(b) 由波高所計算出底部摩擦剪應力	44
圖 5.1 在 2005/6/12 0:00 12:00 94 愛河連續觀測流速剖面, 圓點為實測的流速資料, 實線為迴歸出的曲線	46
圖 5.2 (a)為迴歸分析出 log layer height 的直方圖;(b)為 z_0 高度的直方圖	47
圖 5.3 愛河(a)觀測地點的水位變化;(b)摩擦速度;(c) log-layer 高度;(d)粗糙長度	49
圖 5.4 u_*^2 對 U_{132} 的分佈圖, 作最小平方的迴歸分析, 得到的斜率即為 C_D 的數值	50
圖 5.5 2006 年 1 月 11 日至 2 月 14 日 (a) 後灣的南站 ADCP 第一層的回聲強度時間序列圖;(b) 後灣南站 RCM 9 濁度時間序列圖	51
圖 5.6 愛河 (a) 底床剪應力;(b) ADCP bin1 的 EI 值;(c) RCM9 的濁度時間序列;(d) ADCP 第一個 bin 的流速	53
圖 5.7 愛河 (a) RCM 9 濁度轉換成 SSC 之時間序列圖;(b) ADCP bin 1 EI 轉換成 SSC 之時間序列圖	55
圖 5.8 愛河 ADCP 回聲強度轉換 SSC 隨時間與深度變化圖	56
圖 5.9 第一次後灣實驗波小流大時海流、波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖	58
圖 5.10 碧利斯颱風經過時第二次後灣實驗海流 波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖	59

圖 5.11 凱米颱風經過時第二次後灣實驗海流、波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖	60
--	----

第一章 前言

研究海洋環境中侵蝕、沉積物的輸送和沉降過程及污染物的循環過程是一個重要的課題，以避免環境受到污染物的再次破壞。除此之外海岸地形的研究也與暗礁的產生和改變或是淤泥沉降在航道上，則需要定期疏濬以維持航道的深度及往來船隻的安全，所以必須了解沉積物質的動力機制，特別是沉積物質空間性及時間性的分佈狀況。

ADCP 除了能紀錄海流資料外，同時也紀錄四個音鼓的散射回聲強度（backscatter echo intensity, EI），根據 Holdaway（1999）研究中回聲強度代表儀器所接收到回波的強弱，但回聲強度不只是僅受到造成散射的物質濃度影響，例如浮游生物、懸浮沉積物及氣泡等，而且還需要考慮到聲學傳遞時的損失、水體對於聲波吸收及發射出訊號到最後衰減等等的問題，也必須要考慮到環境的因素，例如水體的鹽度、溫度及壓力還有儀器本身的特性如電力及頻率等問題。

根據 Klein（2003）的研究中發現，在海灣裡 ADCP 紀錄的回聲強度資料與波浪、海流及風速等影響有所關聯，可了解水體中的水動力機制。在開放性的海灣中底部海床也會受到表面波浪所產生的軌道速度而造成沉積物再懸浮的現象，同時也與示性波高有高度的相關性。另外 Hoitink（2004）也提出在某些海灣中，濁度資料經過頻譜分析得知以受到潮汐的影響為主，沉積物也因此受潮汐的運輸，最後

堆積在海灣周圍三角洲上。

在過去的十多年來，科學家們也不斷的在發展利用 ADCP 的回聲強度來量測懸浮微粒的濃度 (SSC) (Gartner, 2004)，當多數背景散射粒子具有沈降性質時，回聲強度可能是可以取代為懸浮微粒的濃度，便可利用聲學與懸浮微粒之間的相關性去推導出一聲納方程式 (Deines, 1999)，這方程式的回聲強度為距儀器接收器距離的函數，也是懸浮粒子在水體中的衰減的濃度總和。

根據李佳娜 (2005) 的研究中提到，將聲學儀器與光學儀器與懸浮沉積物濃度進行線性迴歸分析，發現聲學儀器與懸浮物質的關係較為良好，本研究中比較 RCM 9 的光學濁度計與 ADCP 回聲強度在沒有波浪但水體混濁的愛河及水體較乾淨但有波浪的後灣兩者間，回聲強度變化的情形。

本文的內容包含以下數章，第二章節為實驗地點，第三章節為儀器及分析方法，第四章節為研究結果區分為愛河、後灣第一次實驗觀測結果及後灣第二次實驗觀測結果等項，第五章討論與結論。

第二章 研究區域概況

2-1 愛河地理環境

愛河源於高雄縣仁武鄉八卦寮，在東北向西南，經左營、三民、鼓山、鹽埕、前金、苓雅等區，而後注入高雄港。其主流全長 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潮影響而變化，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。在出海口水深為 3.7 公尺，往上游逐漸遞減。因受到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(蔡至維，2004)。

自 1979 年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開門截流設施，高雄市地形平緩，其中以平原區佔全市的 95 % 之面積，高度約介於 1 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

北偶外，其餘地勢均為平緩。一般而言，除濱海地區以外，高雄市四周的地勢較高，向愛河主支流作輻射狀傾斜降低。愛河在此種天然條件下，很自然的成為市區最主要的排水大動脈，通常發源於平原上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，主要為農業回歸水、工廠廢水及家庭污水。

2-2 愛河氣象與海象概況

高雄位於熱帶季風氣候區，因此氣候會因夏冬季風特性的不同而改變，根據港灣技術研究所的高雄港港池水理模式研究（1997）統計中央氣象局高雄測候站民國 68 年至民國 83 年之觀測紀錄結果指出，在氣溫方面，全年平均溫度為 24.9℃，月均溫以七月份最高為 29.3℃，一月份最低為 19.0℃。降雨方面，高雄地區降雨主要是受到颱風雨、雷雨及地形雨影響，平均年降雨量為 1721 公釐，以八月份平均 432.9 公釐最多，十二月份最少僅 9.3 公釐。故冬季降雨少為乾季，不足全年降雨量 10%，而夏季西南季風盛行加以颱風影響，五月至九月為雨季，佔全年降雨量 85% 以上。

潮汐

潮汐現象是天體（以月球及太陽為主）運轉時，地球與天體之間的引力及離心力，引起海水面高低變化，因地球自轉而有週期性的變

化，所以一日有一次或兩次的高潮。河水水位受到高雄港海水漲退影響而變化，在此便將過去文獻中有關高雄港潮汐資料加以整理分析。高雄港區現有兩個驗潮站皆為自計式潮位計，分別是 10 號碼頭，及二港口內第十號船渠。台南水工試驗所分析民國 81 ~ 83 年間的高雄港之資料，經調和分析後所得之 K_1 、 O_1 、 M_2 及 S_2 分潮的振幅及相位角為 16.26、15.10、17.45 及 7.02 cm，237.2、288.9、218.1 及 256.9 度，以主要全日潮與半日潮之振幅比例來劃分，其中 F 稱為 form ratio

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

當 $F=0 \sim 0.25$ ，半日潮型

$F=0.25 \sim 1.5$ ，以半日潮為主的混合潮型

$F=1.5 \sim 3.0$ ，以全日潮為主的混合潮型

$F>3.0$ ，全日潮型

計算結果為 $F=1.28$ ，另外高雄海洋科技大學（原高雄海專）分析民國 65 年至 76 年水位紀錄，調和分析後所得 K_1 、 O_1 、 M_2 及 S_2 的分潮的振幅分別為 18.80、19.21、17.76 及 7.03 cm，計算所得的 F 為 1.26，兩次的分析結果高雄潮汐屬於以半日潮為主的混合潮型。

2-3 後灣地理概況

恆春半島位於台東大武壠層海岸與西部隆起海岸之間，屬於中央山脈末端的臨海陸塊，地形以低山及丘陵、台地為主，南端有鵝鑾鼻以及貓頭鼻各自突出海域形成半島，中間有墾丁南灣夾繞。

後灣位於台灣本島的西南隅，在恆春西方台地北端，因位於車城後方的海灣而得名，為介於龜山與大坪頂台地的海岸低地，附近北邊有保利溪注入，海岸線除後灣港為沙灘外，有綿密的群礁圍繞，此研究區域兼雜珊瑚碎屑，往北是沙灘的景觀，往南則是珊瑚礁的美景，是恆春西海岸連續珊瑚礁的北限。在後灣設立的國立海洋生物博物館於民國 89 年 2 月開館，館內分為台灣水域、珊瑚王國、世界水域等三大主題展示館，是認識台灣本島和附近水域生態資源的好去處。

2-4 後灣氣象與海象概況

此研究區域位於熱帶氣候區，一年四季氣溫屬炎熱，夏天因有颱風所以降雨量較冬天來的大，冬天是乾冷的氣候。另外恆春半島也受到季風影響甚大，夏季受到太平洋高氣壓影響，西南風旺盛，惟風力和緩，但常受到颱風侵襲而帶風災及雨災，冬季則東北季風盛行，陰雨東北信風重合，故風力增強(李光明, 2002)。颱風季節、豪雨過後，當地濁度和懸浮物質會增加，是從北邊的保利溪和四重溪所沖刷帶來泥沙等物質所影響。當地的潮汐為偏向全日潮型的混合潮，取自(台灣的潮汐, 1991)，另外從(施孟憲, 2001)研究顯示後灣是以 K_1 為

主，本研究也有計算出相同的結果。

第三章 實驗設計及方法

3-1 實驗設計與地點

本研究一共完成了三次的實驗，每次實驗的地點、水深、日期及所使用的儀器和設定則列於表 1，第一次實驗位於高雄愛河上的七賢橋附近，實驗地點如圖 3.1 所示，實驗日期為 2005 年 6 月 7 日到 29 日，本次實驗將一台 1200 kHz ADCP 一台 RCM 9 流速儀(含濁度計)及一台溫深儀固定於底碇式的鐵架上，

表 1 實驗儀器佈置表

實驗地點	愛河七賢橋	第一次後灣	第二次後灣
日期	2005/6/7 6/29	2005/11/30 12/20	2006/7/1 8/14
水深 (m)	4.8	17	15
ADCP 1200kHz (流速、流向、EI)	5 分鐘紀錄一次	10 分鐘紀錄一次	10 分鐘紀錄一次
H-ADCP 600kHz (流速、流向)	5 分鐘紀錄一次	無	無
RCM 9 (流速、流向)	5 分鐘紀錄一次	無	無
波浪 ADCP 1200kHz (波高、波向)	無	一小時紀錄 20 分鐘	一小時紀錄 20 分鐘

如圖 3.2 所示，鐵架置於距七賢橋下游約 20 米的河道中央附近，當地水深約為 4.8 米。另外還在河堤西岸的岸壁上固定一台 600 kHz 的 Horizontal ADCP，以便同步測量河道流速的水平分佈概況。

第二次實驗則位於屏東縣車城鄉海生館外海的測站，如圖 3.3 所示的北站，當地水深為 17 米，實驗日期為 2005 年 11 月 30 日至 12 月 20 日，測站的經緯度為 ($22^{\circ} 3' 35.5''$ N, $120^{\circ} 41' 46.1''$ E)，此測站所使用的儀器為一台底碇式的 ADCP 1200 kHz，並兼具測流與測波的功能。第三次實驗地點與第二次實驗相同，日期為 2006 年 6 月 29 日至 8 月 14 日，使用儀器也為同一台 1200 kHz ADCP。

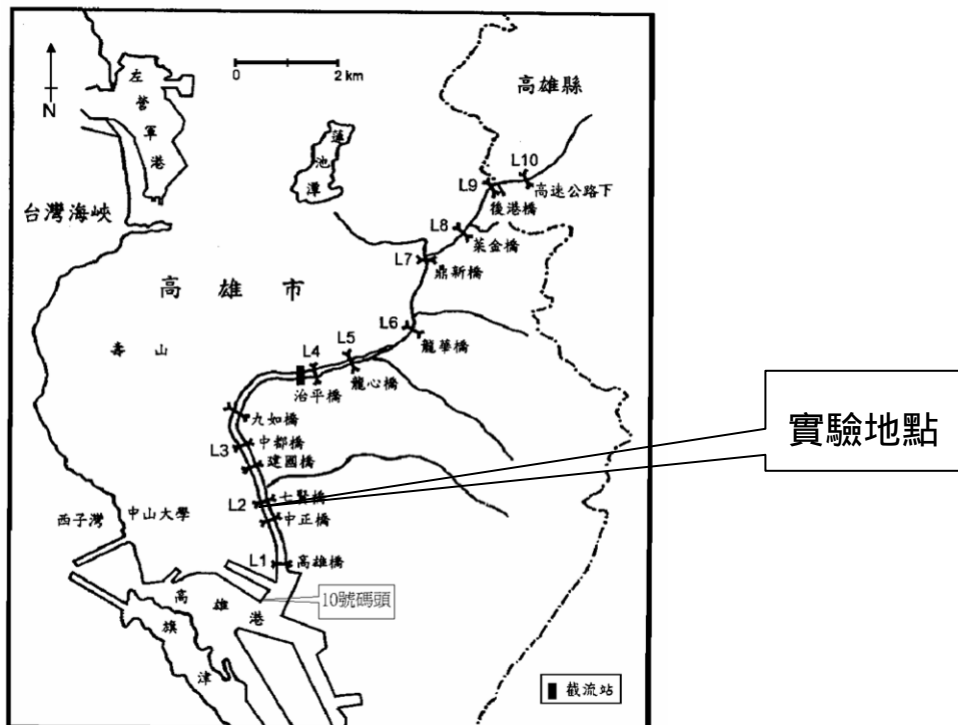


圖 3.1 愛河研究區域與測站位置，標記處為實驗地點。

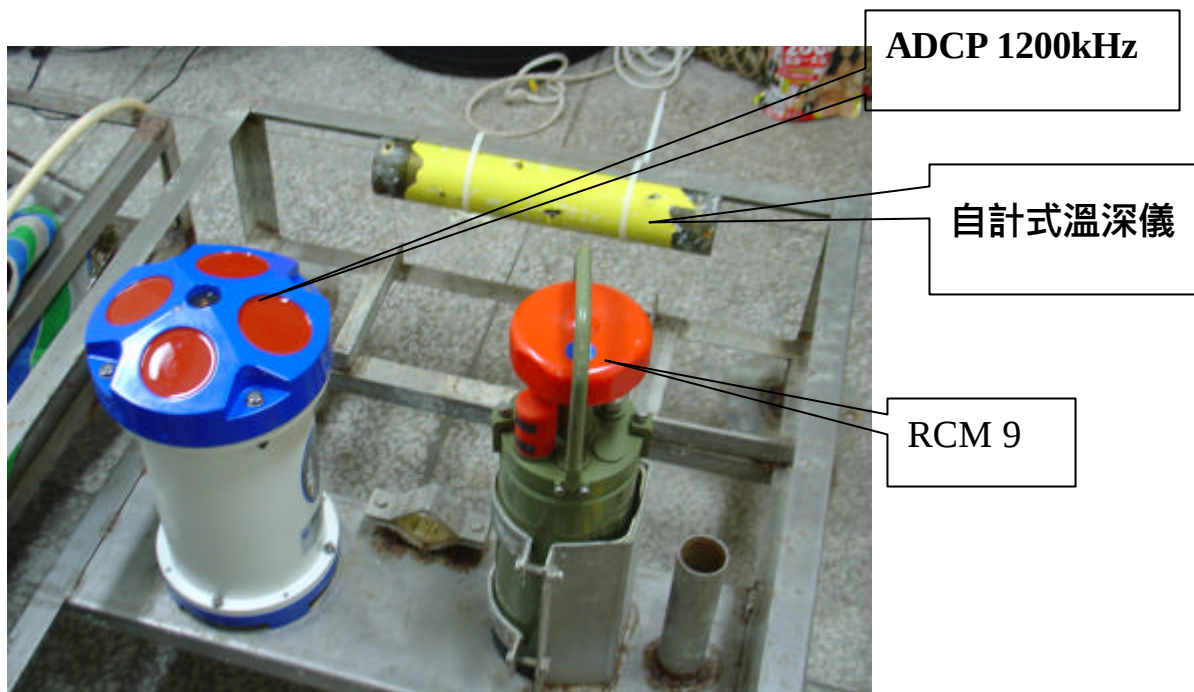


圖 3.2 愛河實驗儀器佈置圖。

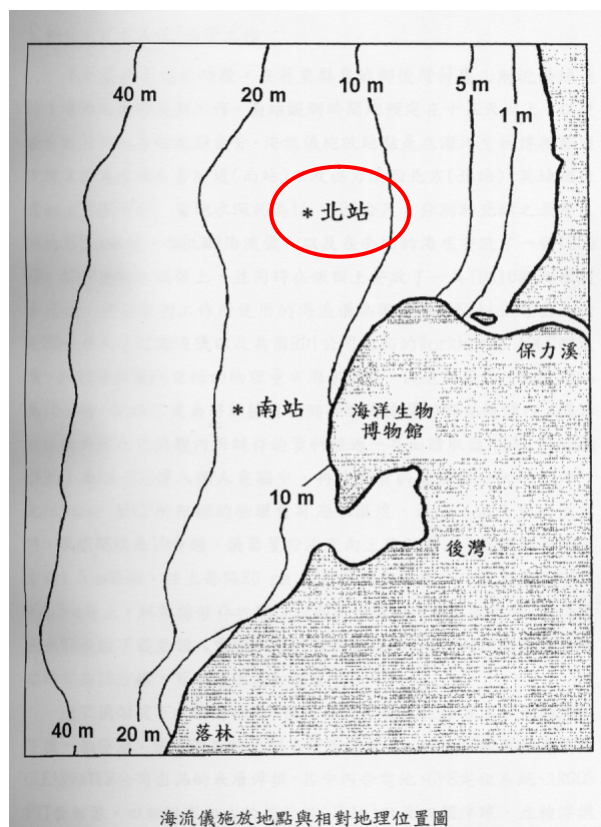


圖 3.3 後灣研究區域與測站位置圖，其中北站位置為本研究的實驗地點。

3-2 儀器設備與設定

本研究所使用的都卜勒流剖儀(Acoustic Doppler Current Profiler, 簡稱 ADCP) 是由美國 Teledyne RD Instruments 所製造, 是利用聲學原理來量測海流的垂直剖面。本研究所使用的 ADCP 頻率為 1200 kHz, 垂直解析度良好, 適合淺水地區使用。在愛河的實驗 ADCP, 一共設定 25 層, 每一層的厚度為 0.25 m, 流場的取樣頻率為每 5 分鐘紀錄一次, 從河床底部到第一個測量點之間包含了架子加上 ADCP 儀器的高度 (約 0.5 m) 以及音鼓到第一層間的空白距離 0.3 m, 總共約 0.8 m。在後灣的實驗 ADCP 設定為 19 層, 每一層的厚度為 1 m, 其取樣頻率為 10 分鐘紀錄一次, 設定其空白區為 1 m, 所以第一層海流的有效測量距離為底部海床上方 1.5 m 開始收集資料。另外波浪的部份, 其取樣頻率為每小時取樣 20 分鐘, 頻率為 2 Hz, 再由其中取出 2048 筆資料做頻譜分析。除了流場的相關資料外, ADCP 上也紀錄著溫度、水位變化、回聲強度的資料。

Recording Unit RCM 9 為 Aanderaa Instruments 公司製造, 其上有都卜勒流速計 (Doppler Current Sensor 3920)、壓力計 (Pressure Sensor 3815A) 溫度計 (Temperature Sensor 3621) 及濁度計 (Turbidity Sensor 3612), 可以測量定點的流速流向、水位變化、水溫及濁度。在愛河的實驗中其設定為 5 分鐘取樣一次, 另外

在後灣的實驗中，則設定其取樣時間為 10 分鐘一次。

自計式溫深儀，(簡稱 TP) 其上有壓力計及溫度計，可以探測定點的水深及溫度的變化，在愛河實驗中其採樣時間為 5 分鐘紀錄一次。

水平式都卜勒流剖儀(Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler, 簡稱 H-ADCP), 是由美國 Teledyne RD Instruments 所出品，其原理與都卜勒流剖儀相同，差異只在於水平式都卜勒流剖儀是以水平方式發射聲波去測量在一固定深度河道水平斷面的流速資料，以補足傳統 ADCP 有所不足的地方。在愛河實驗其設定為 5 分鐘紀錄一次，共設定 30 層，每一層間的距離為 1 m。

3-3 分析方法

將所收集到的 ADCP 流速資料先做初步的篩選，刪除資料品質 (percent good) 小於 90 的資料，並刪除水面下方大約 15% 水深範圍的資料。再將原始的流速資料平均成一小時一筆的資料，接著畫出其潮流橢圓便可得到當地的主要潮流方向，將流速分解成主流方向 (u_s) 與橫向分量 (u_n)，其橫向分量的流速很小本研究不予採用。另外也使用 ADCP 所記錄的回聲強度(Echo Intensity)，是先將四個音鼓的回聲強度取平均，再作一小時一筆的平均。

將 RCM 9 原始資料中的壓力、流速、溫度及濁度分別作成一小時為一筆的平均資料，可以方便與 ADCP 的資料對照。為了得到濁度值與水中懸浮物質濃度（SSC）之間的定量關係，本研究在 2005/11/17 海研三號航次中同時施放 RCM 9 儀器及採集各種不同深度的水樣 500 ml 回實驗室分析。水樣的分析方法為利用濾紙過濾、烘乾及秤重，再去計算其水中懸浮物質濃度，其結果如圖 3.4 濁度與 SSC 線性迴歸分析圖所示，可得到濁度轉換成 SSC 的經驗公式：

$$y=0.0005x-0.0103 \quad (1)$$

，其中 x 表示為 RCM 9 的濁度； y 表示為 SSC 的濃度。

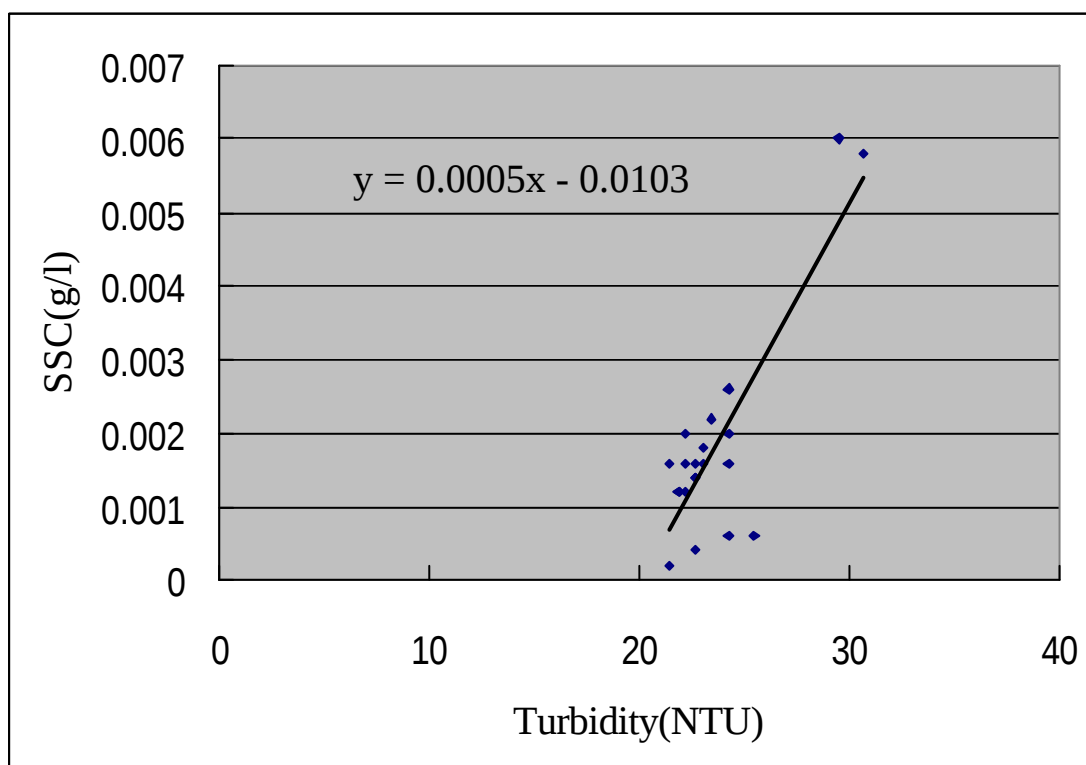


圖 3.4 濁度與 SSC 線性迴歸分析圖。

H-ADCP 所紀錄的流速資料先做初步的篩選，刪除資料品質 (percent good) 小於 90 的資料，接著將資料作成一小時一筆的平均以利資料比對。另外由於裝設 H-ADCP 時忽略岸壁並非完全垂直水面，導致儀器與水面有約 5 度的傾角，以及儀器距離河床底部約為 0.5 米，使得儀器最多只能收集到約 13 米內的資料，13 米之後的資料都會受到河床底部反彈的影響，使聲波反彈出水面無法使用。

後灣的風速資料是採用中央氣象局恆春氣象站的逐時風速資料，並繪成風速棍棒圖。

第四章 研究結果

4-1 愛河觀測結果

圖 4.1 為根據 ADCP 資料在愛河七賢橋不同深度（距底部河床 1.32 m，2.32m，3.23m）的潮流橢圓圖，可以看出橢圓的長軸方向約為 NNW-SSE，與南北方向夾角約為 20 度，因此本研究將流速資料逆時針旋轉 20 度分解成主軸（ u_s ）及橫向分量（ u_n ）。主軸流向 SSE 的定義為正值，也就是流向下游，反之則為負值。如圖 4.2 為愛河潮位時間序列圖，對潮位資料作調和分析後所得到的四個主要分潮的振幅和相位列於表 2， K_1 的振幅最大（0.2391 m）， O_1 和 M_2 次之（約為 0.19 m），由表 2 中的各分潮振幅可以計算出潮型指標值為 1.88，此結果顯示愛河之潮汐型態屬於以全日潮較具優勢的混合潮型。成功大學水工試驗所與高雄海洋科技大學曾經做過高雄港的潮位調查，所獲得的結果與本研究的結果均類似。

表 2 愛河潮位調和分析結果。

Tide	Frequency (cph)	Amplitude (m)	Phase (deg)
O_1	0.03873	0.1971	117.44
K_1	0.04178	0.2391	255.94
M_2	0.08051	0.1939	72.84
S_2	0.08333	0.0377	163.02

表 3 為 ADCP 各層的海流特性統計結果，包含流速、流向、回聲強度、資料品質的好壞以及平均動能和渦流動能，其中平均動能

K_M 和渦流動能 K_E 分別定義為 (Klein et al.,1999)

$$K_M = \frac{1}{2}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2) \quad (2)$$

$$K_E = \frac{1}{2}(\overline{u'u'} + \overline{v'v'}) , \text{ with } u' = u - \bar{u} \quad (3)$$

表 3 愛河 ADCP 的海流特性統計結果，2005/6/8 2005/6/30。Mab：meter above

bottom, mag = $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{u_i^2 + v_i^2}$, speed = $\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$, pg4: percent good of the 4th beam, EI: echo intensity.

bin	Mab	u	v	w	error	mag	speed	Dir	pg4	EI	K_M	K_E	uu	vv	uv	K_E/K_M
	M	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	deg		counts	(cm ² *s ⁻²)	(cm ² *s ⁻²)	(cm*s ⁻³)	(cm*s ⁻³)	(cm*s ⁻³)	
1	0.82	0.87	-2.52	1.09	-0.07	10.85	2.67	235.65	94.08	135.93	3.55	212.62	64.91	360.33	-129.69	59.85
2	1.07	1.15	-3.03	1.04	-0.14	10.99	3.24	229.97	94.06	135.29	5.24	218.54	63.66	373.42	-132.52	41.7
3	1.32	1.42	-3.61	1.06	-0.25	11.25	3.88	224.52	94.03	132.16	7.54	226.95	65.76	388.15	-136.65	30.12
4	1.57	1.71	-4.28	1.12	-0.33	11.64	4.61	218.2	93.82	129.44	10.61	234.59	66.84	402.33	-139.33	22.11
5	1.82	2.02	-5.04	1.18	-0.38	11.94	5.43	213.92	93.44	127.28	14.73	239.01	66.16	411.85	-141.87	16.23
6	2.07	1.81	-6.47	3.42	-0.42	13.72	6.72	208.3	93.55	126.28	22.58	542.81	383.1	702.53	-225.7	24.04
7	2.32	2.72	-7.92	3.37	-0.45	13.9	8.38	200.85	93.56	125.48	35.09	290.82	120.72	460.92	-124.02	8.29
8	2.57	3.04	-8.92	3.6	-0.52	14.91	9.43	192.94	93.13	124.61	44.43	479.29	329.92	628.66	-251.84	10.79
9	2.82	3.57	-10.86	3.3	-0.53	15.6	11.44	182.48	91.39	124.61	65.39	532.9	394.41	671.38	131.57	8.15
10	3.07	4.03	-11.21	3.48	-0.32	15.71	11.91	174.12	83.54	128.44	70.98	440.25	234.96	645.54	-222.23	6.2
11	3.32	3.87	-10.72	2.89	-0.04	14.85	11.4	173.88	76.26	139.1	65.01	292.2	140.74	443.66	-139.52	4.49
12	3.57	3.2	-10.19	2.45	0.21	14.76	10.68	185.28	71.25	143.31	56.99	274.67	126.3	423.05	-128.61	4.82
13	3.82	2.85	-10.42	1.88	0.14	15.52	10.8	183.05	68.95	139.38	58.37	536.89	434.78	639	-119.81	9.2
14	4.07	3.03	-11.24	1.62	0.22	16.13	11.64	184.57	70.1	131.29	67.76	371.44	285.73	457.16	-116.49	5.48
15	4.32	3.75	-11.89	1.4	0.21	16.43	12.46	184.67	77.78	121.91	77.67	264.07	114.55	413.6	-119.18	3.4

在靠近底床的地方會受到摩擦剪應力的影響, 所以流速越遠離底層越大, ADCP 的回聲強度 (EI) 則是在底層會有較高的數值出現, 隨著遠離底床逐漸降低, 到水面則會出現另一高值。在本研究中, 愛河的平均動能及渦流動能間的差異非常的明顯, 表示愛河的平均流速不大, 但由於潮汐或是其他原因 (例如暴雨事件) 所造成的流速變動量則比平均動能大上許多, 靠近底床處由於受到摩擦力的影響流速減弱, 因此 K_E/K_M 的比值達到約 60, 水面附近的比值則降到大約 4 左右。

圖 4.3 (a) (b) (c) 分別為 ADCP 的主軸流速、回聲強度和愛河 w 方向流速垂直剖面的時間變化圖, 圖 4.3 (d) 為同一時間的高雄逐日雨量分佈。由圖可知在觀測期間高雄地區正值梅雨季節, 西南氣流旺盛, 分別在 6 月 12 至 16 號、23 號至 25 號以及 28 號降下豪大雨, 這些期間愛河的主軸流速由平日的 $0 \sim 20 \text{ cm s}^{-1}$ 急遽增加到 $80 \sim 120 \text{ cm s}^{-1}$, 而 ADCP 的回聲強度以及 w 方向的流速也和主軸流速之間的關係密切, 當主軸流速大於 50 cm s^{-1} 時, ADCP 的 EI 也增加到超過 200, 而且底層的 EI 值最大, 往上層逐漸遞減, 在表層又出現另一個極大值, w 方向的流速也有超過 4 cm s^{-1} 的數值在整個水層中均勻分佈。

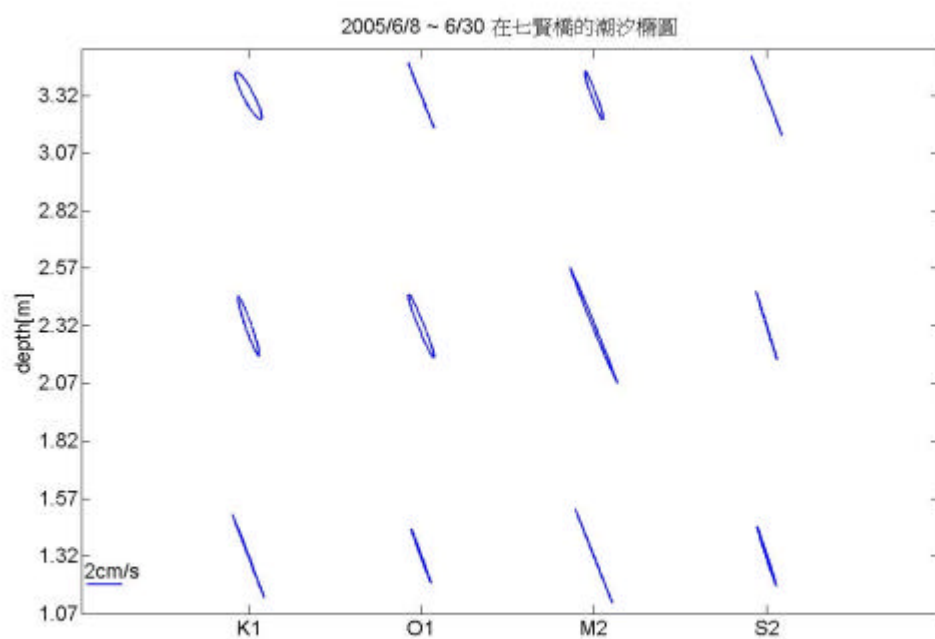


圖 4.1 愛河在不同深度的潮流橢圓

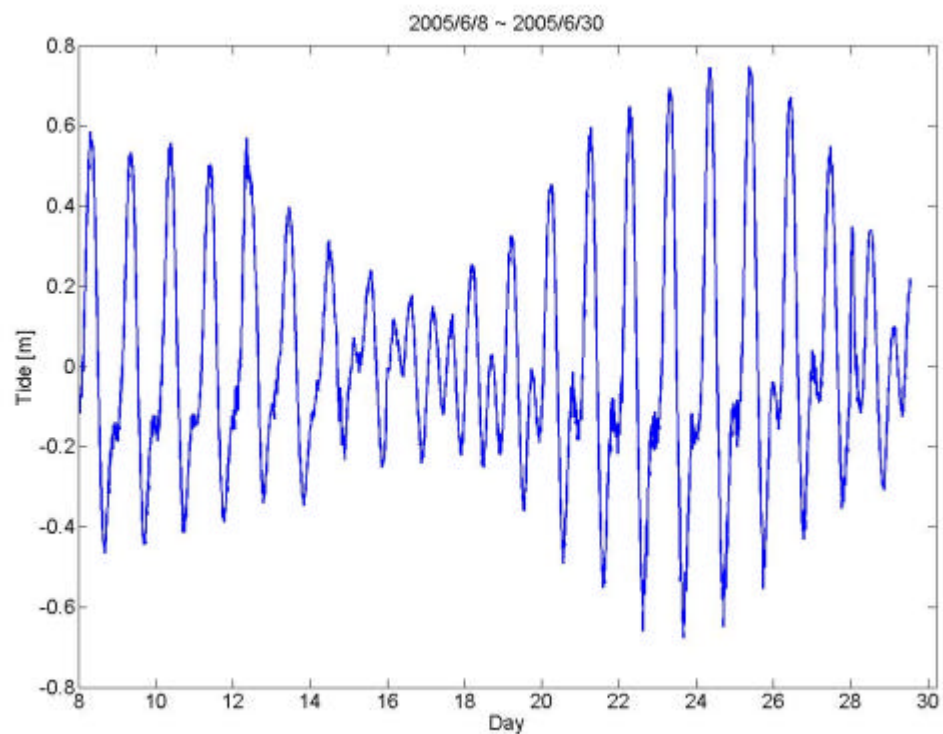


圖 4.2 愛河潮位時間序列圖。

在愛河 ADCP 的流速觀測資料如圖 4.4 所示，在圖 4.4 (a) 及 (b) 中可以見到 ADCP 第一層的流速資料與 RCM 9 所觀測到的資料是有一致性的，其中 RCM 9 量測到距河床底部高為 0.5 米的流速而 ADCP 第一層的位置是在河床底部上方 1.32 米處，另外在圖 4.4 (c) 及 (d) 皆為 H-ADCP 所收集的流速資料，選取這兩層資料的原因為最靠近在水道中間所放置的底碇式 ADCP 的位置較具代表性，其觀測結果可與底碇式 ADCP 作一個比較，發現趨勢都是一致的，由這些圖可以見到平時愛河底部的流速一般變化不大，大多在 10 cm s^{-1} 左右，一旦受到暴雨的影響，這些圖皆清楚的顯示出愛河的流速都有巨大的變化，其流速最大可達到 100 cm s^{-1} 的大小，遠超過平常的平均流速。

另外回聲強度有劇烈變化大多在於暴雨事件發生期間，所以本研究也做了回聲強度與流速的相關性分析，如圖 4.5 愛河 ADCP 流速與回聲強度間的相關係數所示，實線為流速與 EI 間的相關性，虛線為垂直方向流速與 EI 的相關性，可以發現在越靠近河床底部的相關性可以高達至 0.75 的數值，之後隨著離底部河床的距離越遠其相關係數也逐漸降低。

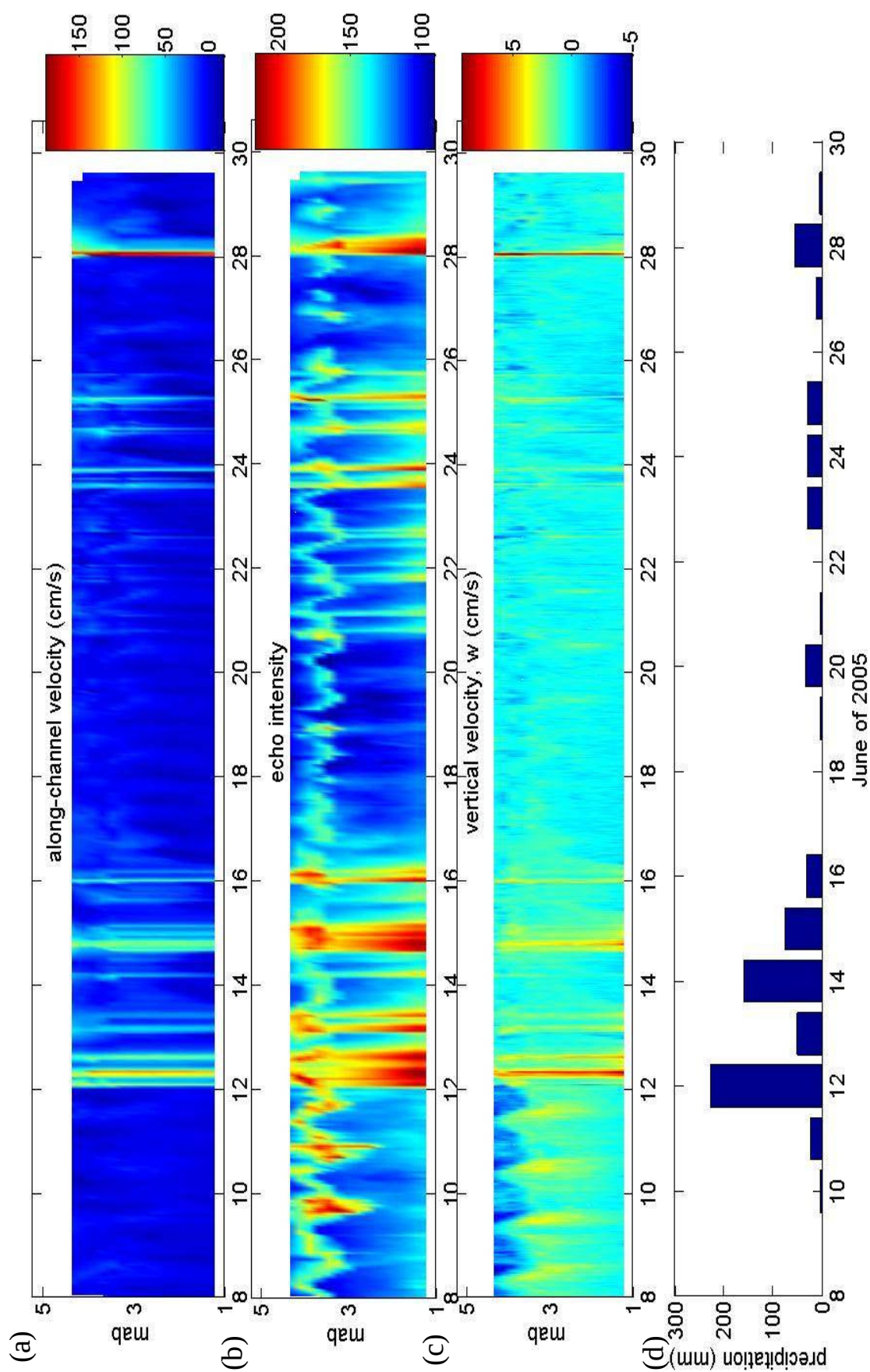


圖 4.3 (a)為愛河主軸流速隨深度與時間變化圖，(b)為 ADCP 回聲強度(EI)隨深度與時間變化圖，

(c)為愛河 w 方向流速隨深度與時間變化圖(d)為高雄逐日雨量圖。

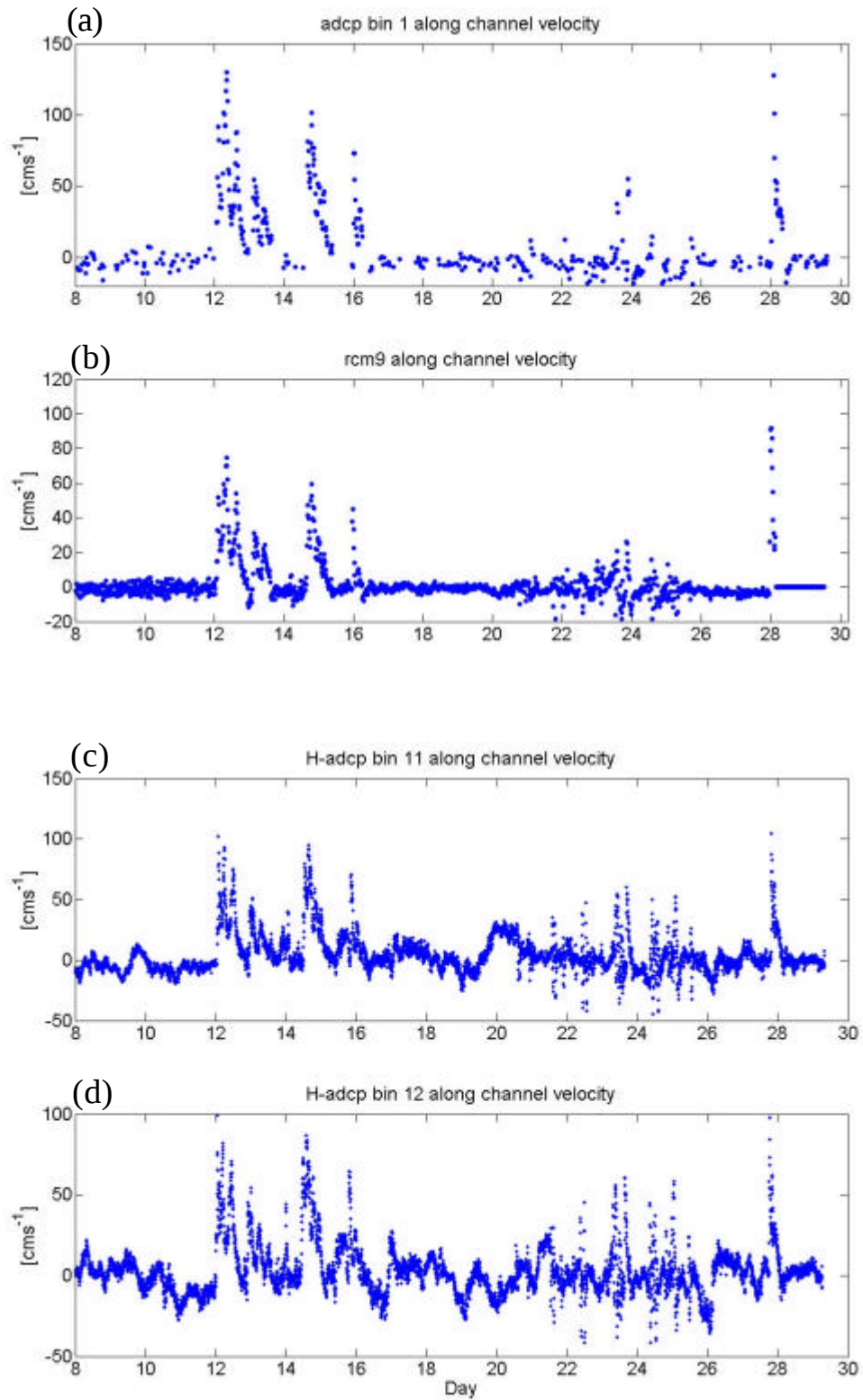


圖 4.4 愛河實驗的流速觀測結果 (a) 為 ADCP 第一層的流速資料時間序列圖；(b) 為 RCM 9 流速時間序列圖；(c) 為 H-ADCP 所測離岸 12 米處流速時間序列圖；(d) 為 H-ADCP 所測離岸 13 米處流速時間序列圖

圖 4.3(c) 為愛河 ADCP 所觀測到垂直方向的流速時間序列圖，可以知道愛河的垂直方向的流速一般都不大，其數值大多在於 $2 \text{ cm s}^{-1} \sim -1 \text{ cm s}^{-1}$ 之間，在有暴雨特殊事件發生時，垂直方向的流速變化比平常大上許多，最大可到 8 cm s^{-1} 的數值，可能是因接近河床底部會出現劇烈的擾動與顯著的湧升流，所造成底床沉積物有被攪動捲起的現象。也分析 ADCP 垂直方向的流速變化與回聲強度資料 (EI) 之間的相關性，如圖 4.5 所示，在河口地區由於 SSC 濃度甚大，影響 ADCP 回聲強度的主要因子是水中的懸浮物質或泥沙，而 SSC 又和流速或底床摩擦剪應力有關聯，在第五章中將進一步討論愛河的底床摩擦剪應力。

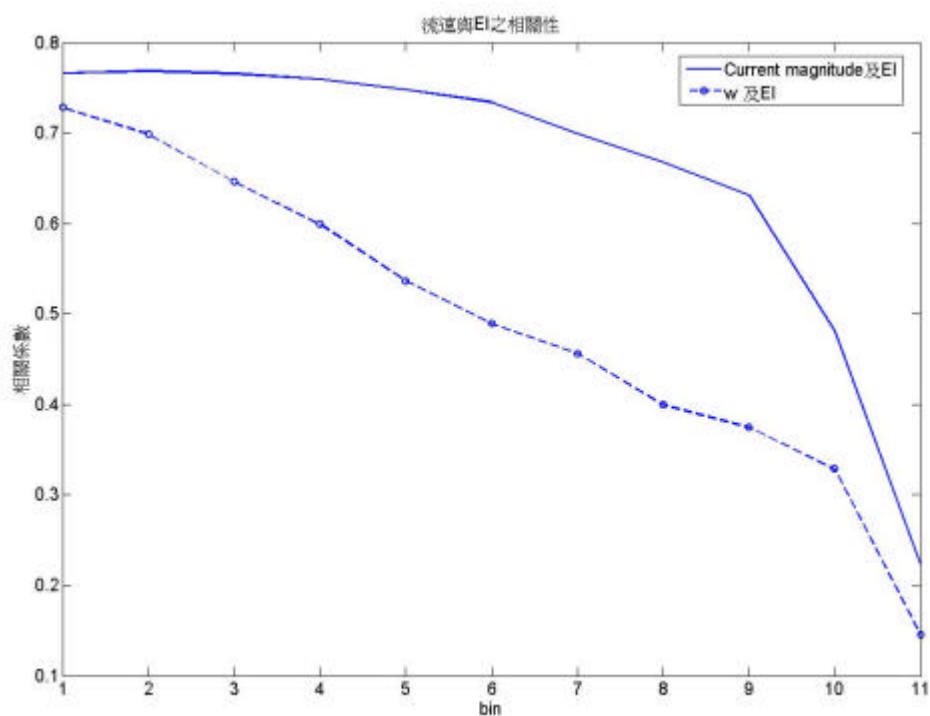


圖 4.5 愛河 ADCP 流速與回聲強度間的相關係數

4-2 後灣第一次實驗觀測結果

第一次後灣實驗是在冬季期間 (2005/11/30 ~ 2005/12/22), 東北季風所引發的當地落山風盛行, 圖 4.6 為第一次後灣實驗在不同深度的潮汐橢圓圖, 包含 1.53m、8.53m、15.53m 三種深度, 橢圓長軸方向約為 N-S , 結果顯示在後灣北站主要受到 K_1 分潮的影響最為明顯, 在靠近海床底部的流速高達 15 cm s^{-1} 。對潮位資料做調和分析後可得到四個主要分潮的振幅及相位, 如表 4 所示, K_1 的振幅最大 (0.31 m), O_1 與 M_2 次之各為 (0.2098 m 、 0.1903 m), 可以見到潮位受到 K_1 分潮的影響最大, 再由表 4 中的各分潮去計算潮型指標, 得到其 F 值為 1.9 , 顯示在後灣為全日潮為主的混合潮型。

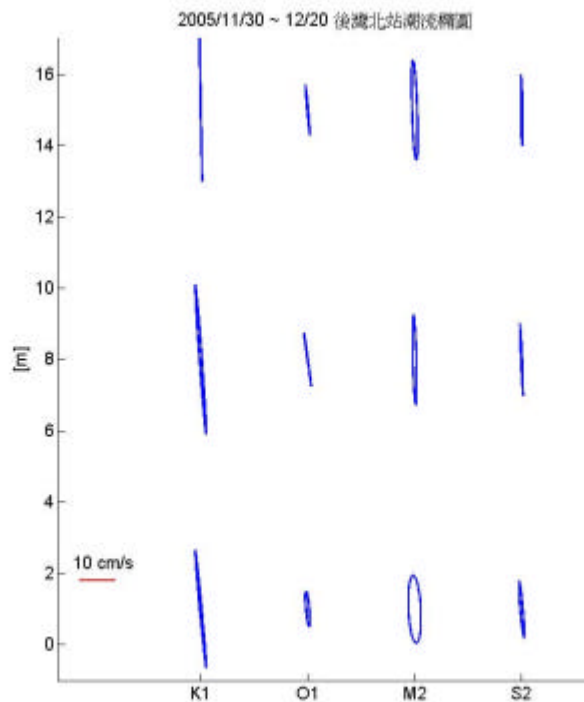


圖 4.6 第一次後灣實驗不同深度的潮汐橢圓

表 4 第一次後灣實驗潮位調和分析結果。

Tide	Frequency (cph)	Amplitude (m)	Phase (deg)
O ₁	0.0387307	0.2098	188.41
K ₁	0.0417807	0.31	19.64
M ₂	0.0805114	0.1903	259.9
S ₂	0.0833333	0.0734	39.73

表 5 第一次後灣實驗 ADCP 海流特性統計結果，2005/11/30 2005/12/20。Mab：meter above

bottom, $\text{mag} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{u_i^2 + v_i^2}$, $\text{speed} = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$, pg4: percent good, EI: echo intensity.

bin	mab	u	v	w	error	mag	speed	dir	pg4	EI	Km	Ke	uu	vv	Uv	Ke/Km
	m	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	deg		counts	(cm ² *s ⁻²)	(cm ² *s ⁻²)	(cm*s ⁻³)	(cm*s ⁻³)	(cm*s ⁻²)	
1	1.53	1.11	-18.5	-1.39	3.63	24.31	18.53	186.56	99.81	210.56	171.72	208.51	25.79	391.24	-40.55	1.21
2	2.53	1.88	-20.06	-0.61	3.5	26.24	20.15	184.07	99.81	197.62	202.93	241.33	24.55	458.11	-44.65	1.19
3	3.53	2.5	-21.43	-0.35	10.43	27.72	21.58	178.6	99.77	187.14	232.74	264.19	21.27	507.11	-42.76	1.14
4	4.53	3.11	-22.62	-0.2	10.43	28.82	22.83	172.26	99.76	178.7	260.71	276.12	18.54	533.7	-39.54	1.06
5	5.53	3.63	-23.68	-0.14	6.96	29.89	23.96	167.62	99.69	171.13	287.09	290.13	16.15	564.11	-39.42	1.01
6	6.53	4.02	-24.62	-0.1	6.92	30.83	24.95	165.06	99.58	164.58	311.25	302.51	16.28	588.74	-40.5	0.97
7	7.53	4.39	-25.46	-0.04	6.9	31.72	25.84	161.72	99.48	158.15	333.8	315.57	15.21	615.93	-39.91	0.95
8	8.53	4.6	-26.19	-0.04	3.39	32.44	26.59	162.94	99.49	152.4	353.45	325.2	15.15	635.26	-42.15	0.92
9	9.53	4.61	-27.21	0	3.6	33.44	27.6	164.21	99.48	146.81	380.82	339.58	16.37	662.78	-44.21	0.89
10	10.53	4.66	-27.83	0.09	7.09	34.06	28.22	163.87	99.43	141.92	398.04	350.5	17.83	683.16	-44.48	0.88
11	11.53	4.72	-28.3	0	10.49	34.48	28.69	165.13	99.35	137.57	411.44	355.76	19.95	691.58	-48.4	0.86
12	12.53	4.61	-28.87	0.05	3.53	34.97	29.23	166.34	99.35	134.64	427.28	363.08	22.48	703.68	-50.55	0.85
13	13.53	4.54	-29.26	0.03	3.44	35.38	29.61	167.25	99.31	132.71	438.47	371.13	27.94	714.31	-52.76	0.85
14	14.53	4.19	-29.66	0.09	6.96	35.81	29.96	168.57	99.29	133.18	448.68	380.9	33.93	727.88	-53.22	0.85
15	15.53	2.75	-28.21	0.33	0.17	34.22	28.34	172.77	99.33	136.34	401.64	352.14	38.68	665.59	-34.47	0.88
16	16.53	-6.59	-17.9	1.8	8.16	26.73	19.08	205.37	99.23	156.63	181.96	294.79	104.06	485.52	-23.31	1.62
17	17.53	-13.91	-30.36	-0.84	3.41	40.32	33.39	212.25	98.42	191.93	557.54	450.95	300.09	601.81	12.02	0.81
18	18.53	-31.04	-51.22	-0.86	-7.03	68.3	59.89	218.73	98.65	184.27	1793.34	849.13	481.43	1216.82	-72.08	0.47

表 5 為第一次後灣實驗 ADCP 海流特性統計結果，包含流速、流向、回聲強度、資料品質的好壞、平均動能 K_E 及渦流動能 K_M ，可以見到流速在靠近底部河床的數值為最小，距河床越遠流速有增加到 59.89 cm s^{-1} 的大小。在流向的部份幾乎很一致的都朝南方的方向，直到表層較偏向西南方，資料品質的部份在整個水層內均很好（可達到 99% 以上），回聲強度則為由底部有最高的數值隨高度遞減，但在靠近海面的數值則遞增。 K_E 和 K_M 比值均約為 1，表示後灣海域的平均流速與流速變動量相差不大。

在圖 4.7 (a) 為第一次後灣實驗 v 隨深度與時間變化圖，可以見到流速的變化非常的明顯，在本研究中流速定義正值的部份表示流向北方，反之負值的表示流向南方，流速隨著潮汐的漲退呈現南北方向的往復變化，當漲潮時流速從海床底部到接近海面的流速都均勻的朝北流，以靠近海床底部的流速較小，越遠離海床底部的流速越大，但最大流速大多發生在退潮時，並伴隨著大潮發生時流速最大可達 80 cm s^{-1} 的大小。圖 4.7 (b) 為後灣實驗 w 方向流速隨深度與時間變化圖，垂直方向的流速一般來說都很小，只有在靠近底部河床處才有較大的數值出現，以在大潮時最為明顯，其值最大可以達到 4 cm s^{-1} 的大小。

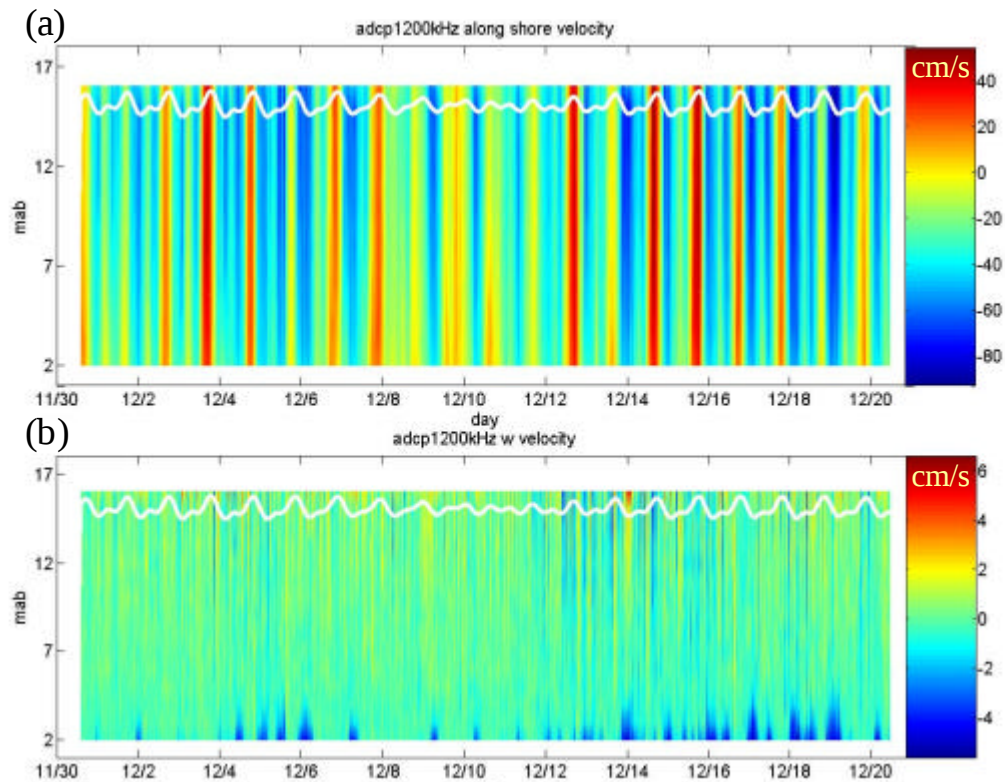


圖 4.7 (a) 第一次後灣實驗 v 流速分量隨深度與時間變化圖，其中白色的線條示水位的變化；(b) 第一次後灣實驗 w 流速分量隨深度與時間變化圖。

接著圖 4.8 (a) 為第一次後灣實驗示性波高隨時間變化圖，但是資料並不完整，因為 ADCP 有不明原因使得波浪資料短少了最後三天；(b) 為後灣 ADCP 的回聲強度 (EI) 隨時間與深度變化圖；(c) 為後灣 ADCP 第三層（距離底床高度約為 3.53 米）的流速隨時間變化圖，由 EI 垂直分佈圖可看出造成散射的物質是由底部往上擴散的，雖然回聲強度不能去判定懸浮微粒的濃度，但是可以去驗明底床的沉積物是否有受到流的影響而有被攪動懸浮的情形發生，高 EI 值發生的時間也跟圖 4.8 (c) 的海流有很一致的情形。

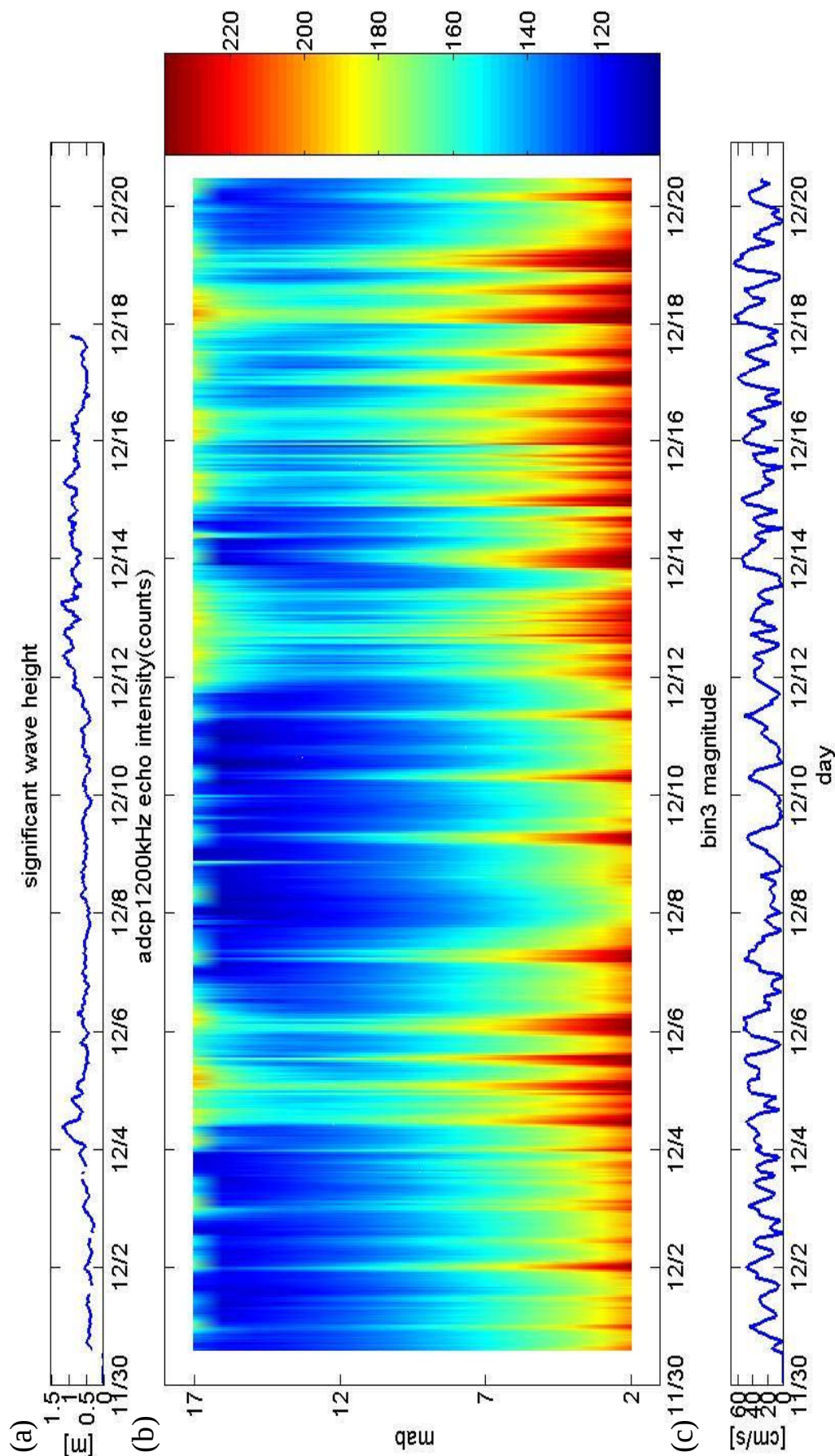


圖 4.8 (a) 第一次後灣實驗示性波高隨時間變化圖 (b) 第一次後灣實驗 ADCP 回聲強度(EI) 隨深度與時間變化圖 (c) 第一次後灣實驗 ADCP 第三層流速與時間變化圖。

圖 4.9 為第一次後灣實驗流速和示性波高與回聲強度之相關圖,實線表示為海流與 EI 間的相關性,虛線為垂直方向流速與 EI 的相關性,空心圓符號為示性波高與 EI 的相關性,流速是取 $\sqrt{u^2 + v^2}$, 可以看見在靠近海床底部的前幾層的相關性都非常的高,最高可高達 0.8 左右,很有可能是底床沉積物受到底部摩擦剪應力的作用,因此有再懸浮的現象。

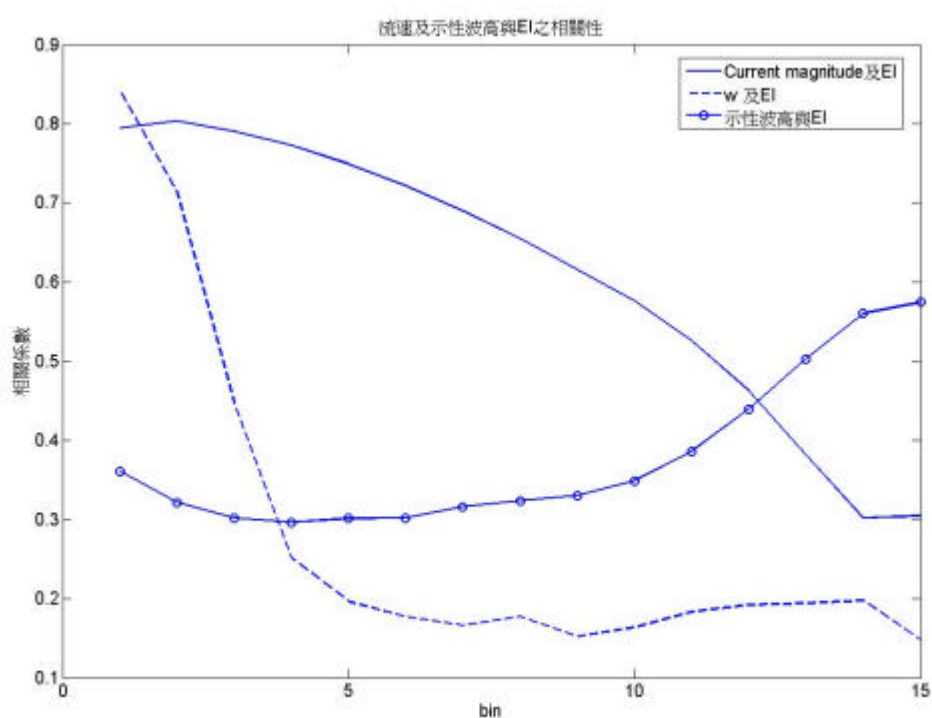


圖 4.9 第一次後灣實驗流速和示性波高與回聲強度之相關係數圖。

由圖 4.7 (b) 可知平時大部分垂直方向的流速數值都很小不到 1cms^{-1} , 當流速變大時也相對應在圖 4.8 (b) 中會有較大的 ADCP 回聲強度 (EI), 其兩者發生的時間非常的類似, 所以再經過計算其相

關係數，得到如圖 4.9 虛線的部份，在靠近海床底部有最高的相關性，高達至 0.8 左右的值，這很有可能是因海流受到海床底部摩擦所造成的結果，所以接著要從底部摩擦剪應力這方向去探討。

圖 4.10 (a) 為第一次後灣示性波高的時間序列圖、(b) 為波浪週期隨時間變化圖、(c) 為波浪波向的時間序列圖、(d) 為恆春逐時風速棍棒圖，由圖可知當冬天的東北季風增強時，示性波高也會有相對應的增強，其波高最大約為 1.2 米，這是可以去了解波浪會不會也對海床底部有所影響，本研究參考 (Klein, 2003) 的方法，計算波浪所引起的底部軌道運動和底床剪應力，再和 ADCP 的 EI 值做相關性的分析。

波浪資料分析方法為：將原始的資料經過 RDI 所附的軟體 WavesMon 轉換後可以得到波浪資料，收集到的波浪資料包含示性波高、波向及週期，因受到表面波浪影響至底部會有軌道速度 u_m (orbital velocity) 其表示如下式：

$$u_m = \frac{2pa}{T \sinh(2ph/l)} \quad (4)$$

其中 a：為波浪的振幅；h：為水深；T：為波浪的週期

另外再利用頻散方程式：

$$\frac{w^2}{gk} = \tanh kh \quad (5)$$

$k = 2\pi/\lambda$ ，頻率為 $\omega = 2\pi/T$ 及 g 為重力加速度常數

以及在底部水平方向運動的振幅 A_b 公式如下：

$$A_b = \frac{a}{\sinh(2ph/l)} \quad (6)$$

可以計算出雷諾數 R_e 以及摩擦係數 f_w ，其公式如下

$$R_e = \frac{u_m A_b}{n} \quad (7)$$

$$f_w = \frac{2}{\sqrt{R_e}} \quad (8)$$

？為動力黏滯係數 ($1.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)，最後再給予水體的密度 ρ 就可

以計算出在海床底部的摩擦剪應力 (Dyer, 1986) 其式如下：

$$t = \frac{1}{2} f_w \rho u_m^2 \quad (9)$$

即可討論波浪對於底部沈積物質的影響。

可藉由波浪公式 (4) 計算出波浪所造成的底部軌道速度，再利用軌道速度藉由公式 (9) 求出波浪所造成的摩擦剪應力，其結果如圖 4.11 (a) 波浪所引起底部軌道速度 u_m 和 (b) 底部摩擦剪應力圖所示，當在 12 月 4 號、12 號、14 號時有較明顯的示性波高，所計算出的軌道速度也有明顯有較大的值產生，在圖(b)的摩擦剪應力部份也可見到相對應的變化。另外也做有關波浪與回聲強度的相關性比較，結果如圖 4.9 帶有圓圈實線部份所示，可以見到在底部海床有達到將近 0.35 左右的相關性，之後在接近海表面處則有高達 0.6 左右的高度相關性，

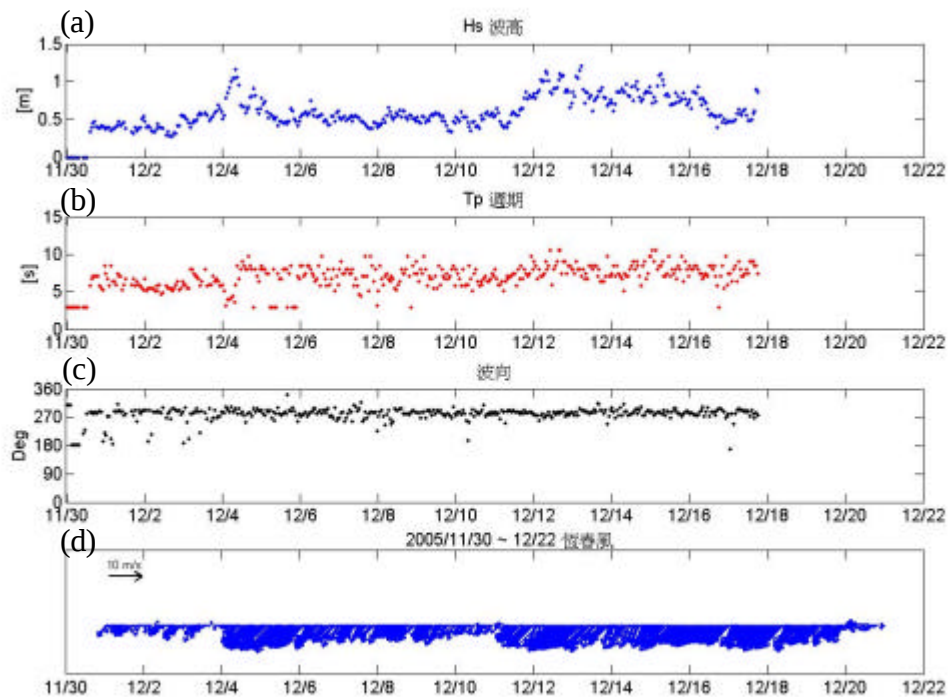


圖 4.10 第一次後灣實驗(a)示性波高;(b) 波浪週期;(c) 波向;(d) 恆春逐時風速棍棒圖。

這表示在冬季時後灣海域底層的回聲強度主要是受到海流的影響，其次才是受到由波浪造成的軌道速度而在底層有攪動沉積物的情形，而在表面則是明顯是受到波浪所影響的，波浪會將空氣捲入水中而產生氣泡，導致在海表面會有較高的回聲強度被觀測到。

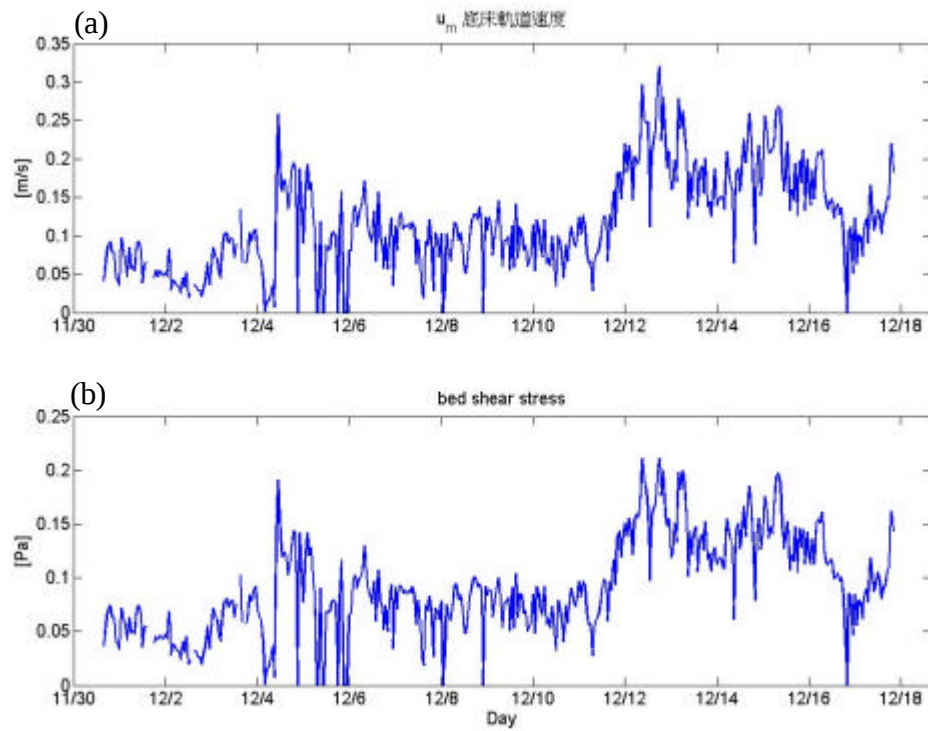


圖 4.11 第一次後灣實驗 (a) 波浪所引起底部軌道速度 u_m ; (b) 波浪計算出的底部摩擦剪應力圖

4-3 後灣第二次實驗觀測結果

第二次後灣實驗是在夏季期間 (2006/6/29 ~ 2006/8/14) , 西南風較為盛行 , 而且剛好有幾個颱風經過 , 觀測地點也是在後灣北站 , 但是水深較淺 , 約為 15 m。圖 4.12 為第二次後灣不同深度的潮汐橢圓圖 , 其中包含 1.53m、 8.53m、 11.53m 三種不同深度 , 潮流橢圓長軸方向大約為 N-S , 在夏季橢圓長軸以 K_1 最大 , 最大可達 20 cm s^{-1} 。另外對潮位資料作調和分析後 , 可以得到四個主要分潮的振幅及相位 , 如表六第二次後灣實驗潮位調和分析結果 , 以 K_1 的振幅最大 (0.28 m)、 O_1 次之 (0.22 m) , 從潮位分析結果顯示以受到 K_1 分潮的影響最大 , 由表中各分潮的振幅計算潮型指標 , 得到 F 值為 2.13 , 顯示在後灣是以全日潮為主的混合潮型。

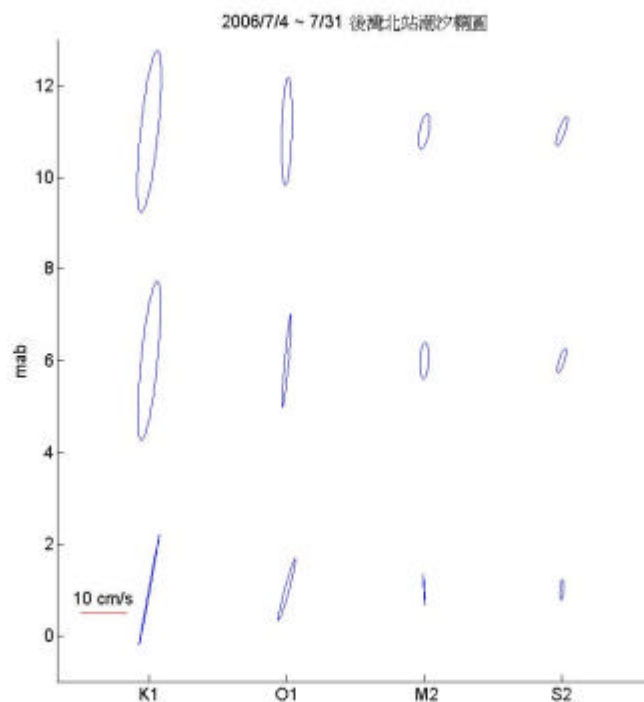


圖 4.12 第二次後灣實驗不同深度的潮汐橢圓。

表 6 第二次後灣實驗潮位調和分析結果

Tide	Frequency (cph)	Amplitude (m)	Phase (deg)
O ₁	0.038731	0.2262	99.38
K ₁	0.041781	0.2804	96.89
M ₂	0.080511	0.1617	217.99
S ₂	0.083333	0.0752	271.69

表 7 第二次後灣實驗 ADCP 海流特性統計結果，2006/6/29 2006/8/14。Mab：meter above

bottom, $\text{mag} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{u_i^2 + v_i^2}$, $\text{speed} = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$, pg4: percent good, EI: echo intensity.

bin	mab	u	v	w	error	mag	speed	dir	pg4	EI	Km	Ke	uu	vv	uv	Ke/Km
	m	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	deg	%	counts	(cm ² *s ⁻²)	(cm ² *s ⁻²)	(cm*s ⁻³)	(cm*s ⁻³)	(cm*s ⁻³)	
1	1.54	-2.12	-7.66	-0.47	1.68	16.42	7.95	175.27	99.96	168.7	31.57	145.43	63.91	226.95	48.29	4.61
2	2.54	-1.32	-9	-0.39	2.4	17.96	9.1	167.6	99.95	153.8	41.37	171.15	62.67	279.62	58.38	4.14
3	3.54	-0.58	-10.16	-0.34	-0.12	19.07	10.18	159.16	99.98	142.32	51.78	189.01	58.83	319.18	65.1	3.65
4	4.54	0.07	-11.31	-0.31	0.65	20.1	11.31	155.09	99.97	133.1	64	204.5	56.47	352.52	69.04	3.2
5	5.54	0.66	-12.52	-0.29	0.68	21.2	12.53	152.72	99.96	125.23	78.54	221.02	56.73	385.3	71.18	2.81
6	6.54	1.12	-13.54	-0.29	0.67	22.16	13.58	151.12	99.94	118.49	92.25	235.66	59.08	412.25	71.25	2.55
7	7.54	1.39	-14.43	-0.28	0.65	23.06	14.5	150.79	99.92	112.18	105.07	250.61	63.84	437.38	71.54	2.39
8	8.54	1.54	-15.33	-0.26	-0.03	23.98	15.4	151.37	99.89	106.73	118.62	266.72	71.4	462.03	72.39	2.25
9	9.54	1.44	-15.74	-0.24	2.43	24.55	15.8	152.52	99.84	101.47	124.84	278.87	82.02	475.72	75.67	2.23
10	10.54	1.13	-15.97	-0.22	3.31	25.02	16.01	155.01	99.8	97.08	128.12	291.99	96.71	487.27	79.86	2.28
11	11.54	0.71	-15.47	-0.19	6.51	25.06	15.49	159.52	99.73	93.77	119.99	304.31	116.04	492.58	81.44	2.54
12	12.54	1.24	-11.06	-0.25	0.19	22.08	11.13	162.29	99.62	95.18	61.96	270.35	156.94	383.77	72.27	4.36
13	13.54	1.75	-12.03	-0.68	3.56	22.24	12.16	169.41	99.31	128.5	73.91	301.71	214.51	388.92	36.21	4.08
14	14.54	-11.82	-17.81	-0.03	2.55	46.4	21.38	203.16	98.81	149.33	228.47	1087.07	1352.99	821.15	-137.08	4.76
15	15.54	-16.17	-15.07	0.44	1.4	55.44	22.1	201.84	96.35	116.77	244.22	1520.74	2094.32	947.16	-147.61	6.23
16	16.54	-3.13	-10.14	0.83	34.88	36.41	10.62	192.16	85.65	79.71	56.35	798.04	822.16	773.92	-16.25	14.16
17	17.54	3.59	-9.67	-0.3	928	38.43	10.31	167.94	57.77	63.42	53.2	1093.92	959.69	1228.16	109.99	20.56
18	18.54	1.16	-7.72	-0.35	1570.18	48.37	7.8	168.28	47.88	59.22	30.46	2060.52	1761.04	2360.01	178.64	67.65
19	19.54	-4.31	-11.38	-0.16	2584.9	54.63	12.17	175.08	42.25	57.36	74.06	2920.52	2445.7	3395.35	171.04	39.43
20	20.54	-7.47	-19	-1.53	9352.67	66	20.41	185.9	1.71	54.96	208.39	4019.91	1925.27	6114.55	-9.88	19.29

在經過初步資料品質管後平均垂直流速剖面的一些特性，為表 7 所示，第二次後灣實驗 ADCP 海流特性統計結果，其中包含海流、流向、回聲強度、資料品質的好壞、平均動能 K_E 及渦流動能 K_M ，本次觀測結果顯示夏季的平均流速（speed）均不超過 20 cm s^{-1} ，比起前次的冬季觀測流速（可達 30 cm s^{-1} ）要小。資料品質的部份，由於當地水深為 15 米，幾乎在整層剖面都高達 99%，只有在靠近海面處略有下降，在超過 15 米後的資料皆進入空氣中，在本研究中不予使用。回聲強度是以海床底部及靠近海面處，較容易出現最大值高達 168.7 counts，平均動能與渦流動能之間的差異很明顯，很可能是受到夏季颱風的影響，在後面會更詳細的討論。

圖 4.13（a）為第二次後灣實驗示性波高隨時間變化、圖（b）為 ADCP 回聲強度(EI) 隨深度與時間變化、圖（c）為 ADCP 第三層流速與時間變化圖，由圖（a）見到示性波高在 7 月 13 日至 16 日、24 日至 26 日及 8 月 3 日至 5 日，皆有顯著的增加發生，根據中央氣象局的颱風資料，在 7 月 12 日至 15 日有碧利斯颱風、7 月 23 日至 24 日有凱米颱風經過台灣附近，因此波高最大值可達大約 4.5 米的大小。在圖（b）EI 數值是由底部有最大值，再往底床上方逐漸擴散，在接近海面 15 米處再產生另一高值。在颱風事件發生時圖（c）同時也有較高流速出現，最大流速可達到 60 cm s^{-1} 。

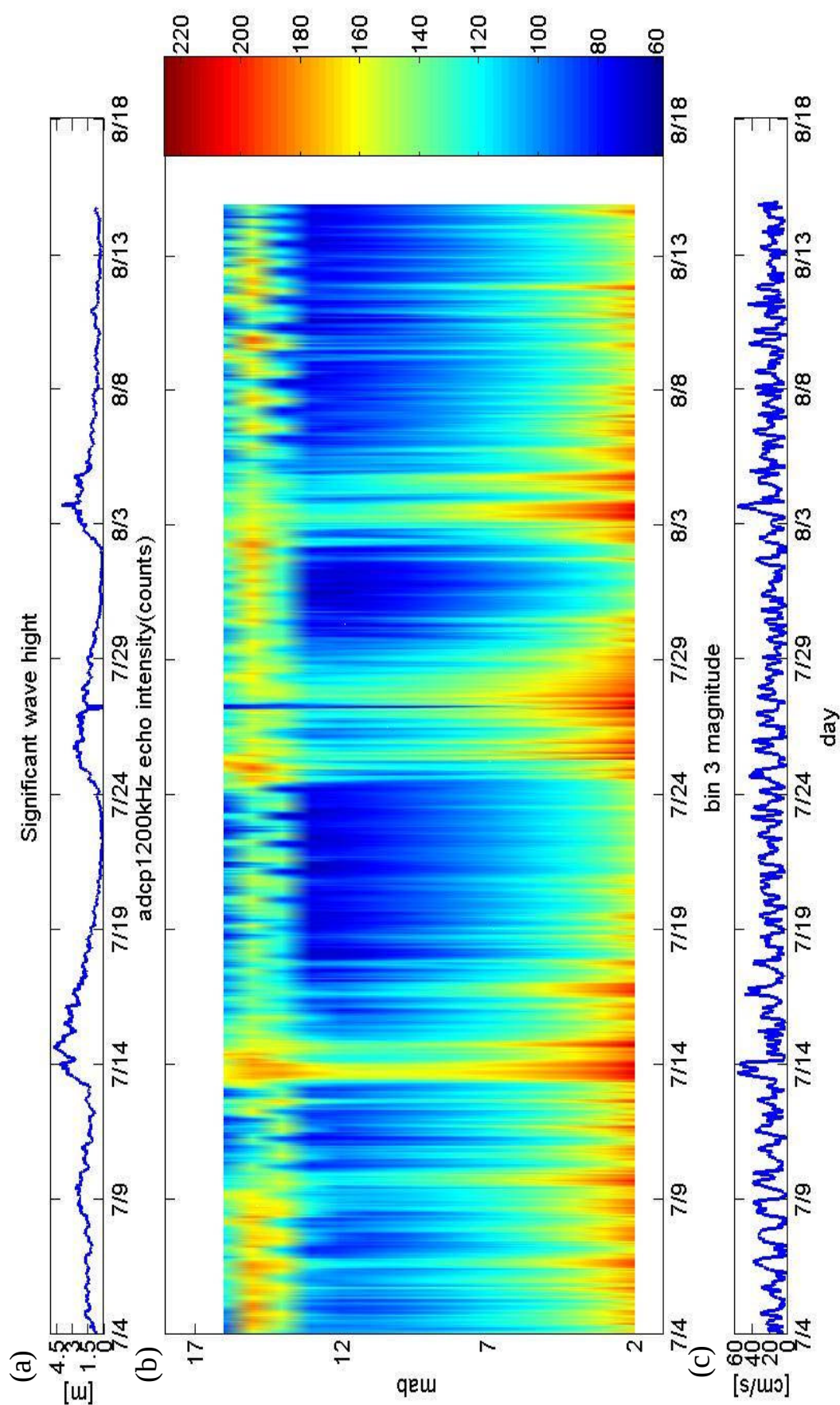


圖 4.13 (a) 第二次後灣實驗示性波高隨時間變化圖 (b) 第二次後灣實驗 ADCP 回聲強度(EI) 隨深度與時間變化圖 (c) 第二次後灣實驗 ADCP 第三層流速與時間變化圖。

圖 4.14 (a) 為第二次後灣實驗 v 流速分量隨深度與時間變化圖，其中白色的線條是水位的變化；(b) 為後灣實驗 w 流速分量隨深度與時間變化圖，在夏天 v 流速分量為整層均勻分佈，流速在靠近海面受到波浪的影響，會有最大流速發生，最大可達 100 cm s^{-1} 大小， w 流速分量是由海表面開始往底床擴散，也可看出在颱風事件發生期間，這兩個分量的流速皆有明顯的變化，尤其以 w 流速分量變化最為顯著，在平時流速趨近於 1 cm s^{-1} 數值，當事件發生時最大流速可達到 10 cm s^{-1} 。

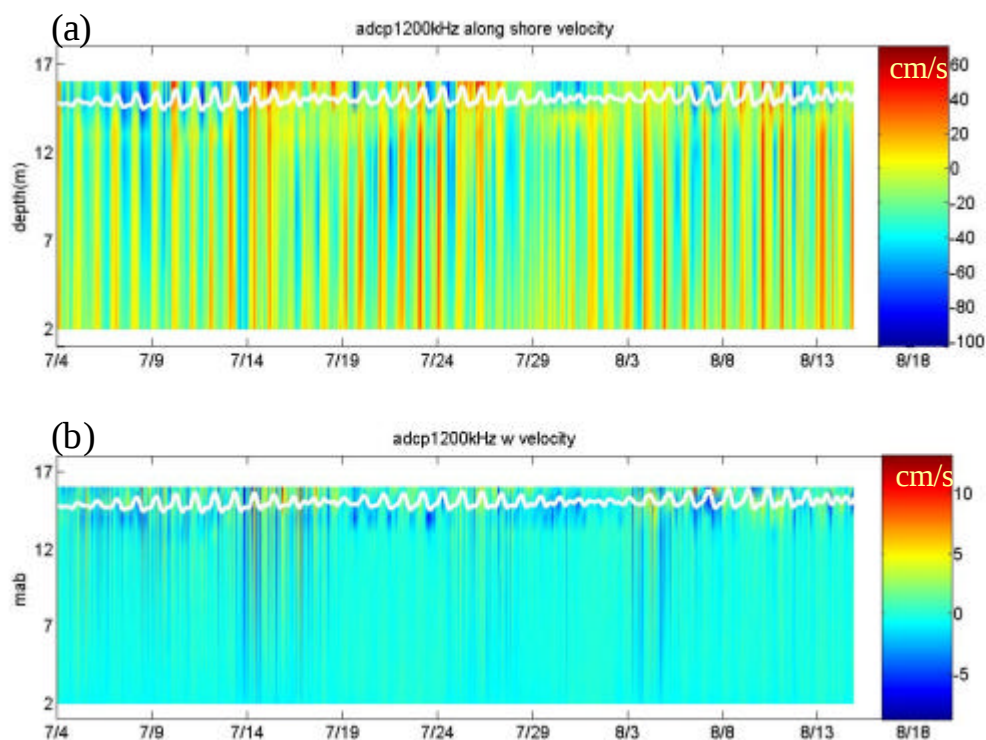


圖 4.14 (a) 第二次後灣實驗 v 流速分量隨深度與時間變化圖，其中白色的線條示水位的變化；(b) 第二次後灣實驗 w 流速分量隨深度與時間變化圖。

圖 4.15 為第二次後灣實驗海流和示性波高與回聲強度之相關係數圖，實線部份為海流與 EI 相關性，在靠近海床底部前幾層只有接近 0.35 左右的相關性，之後隨著遠離底床逐漸下降，直到在靠近海面處又出現最高值，虛線表示為後灣垂直分量海流與回聲強度間相關係數，得到垂直方向的相關性比(海流與 EI)還要有更好的相關性，由靠近底部海床有最高值發生達到 0.6，隨著高度逐漸減低，在底部有較好的相關性，很有可能是受到海面波浪所造成的攪動而引起的。

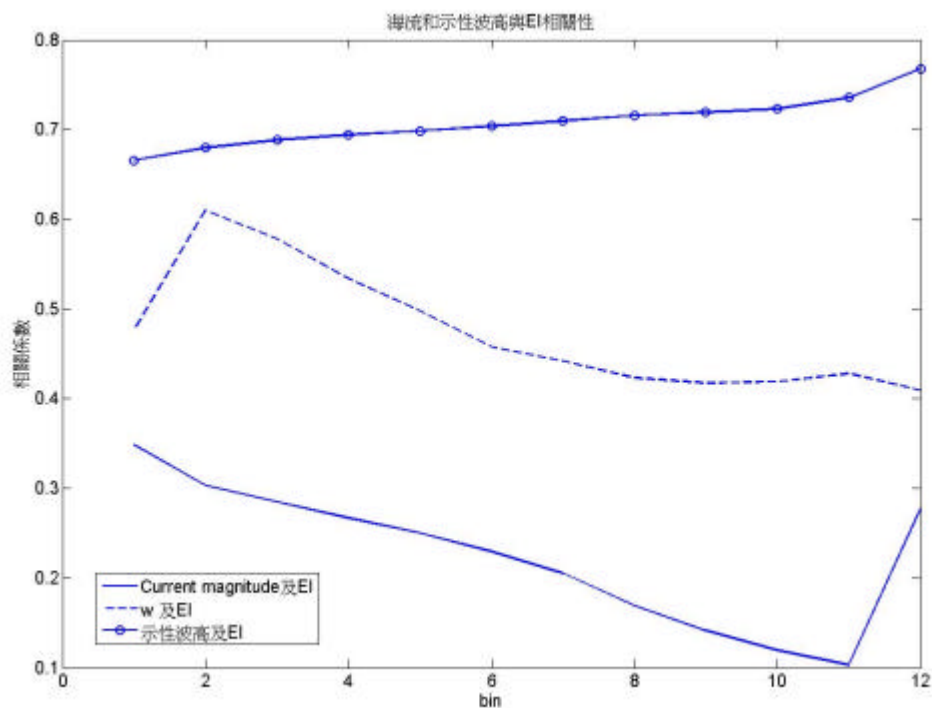


圖 4.15 第二次後灣實驗海流和示性波高與回聲強度之相關係數圖。

再分析示性波高與回聲強度間的相關性，結果如圖 4.18 實線帶有圓圈所示，可見到幾乎整個剖面的相關係數都大於 0.6，在靠近海面處甚至接近 0.75 的相關係數，由此可發現在夏季影響回聲強度是以波浪為主。

圖 4.16 (a) 為第二次後灣實驗示性波高隨時間變化圖；(b) 波浪週期隨時間變化圖；(c) 波浪波向隨時間變化圖；(d) 恆春逐時風速棍棒圖，在圖(d)中可以見到當颱風事件發生時，風速可以達到 8 ms^{-1} ，這時圖(a)的示性波高也有相對應的變化，波高最大可達到約 4.5 米，相對的在平時非颱風事件時，一般的波高大約在 0.5 米左右，另外也利用波浪資料去計算波浪對底床所造成的摩擦剪應力的影響。

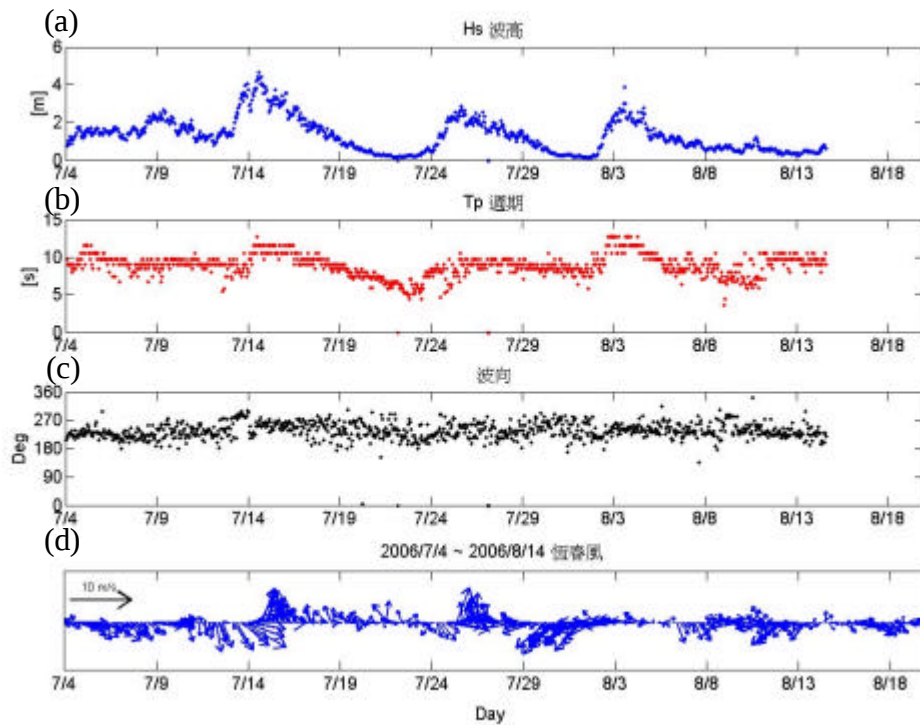


圖 4.16 第二次後灣實驗(a)示性波高;(b) 波浪週期;(c) 波向;(d) 恆春逐時風速棍棒圖。

圖 4.17 (a) 為第二次後灣波浪所引起的底部軌道速度 ; (b) 為由波高計算出底部摩擦剪應力 , 在 (a) 圖中平時非颱風事件發生時 , 在海床底部所受到的軌道速度大多小於 0.5 ms^{-1} , 但在風力增強的颱風事件中 , 軌道速度可以到達約 1.4 ms^{-1} 的大小 , 遠比平常時大上許多 , 再經由公式 (9) 計算出波浪對於底床摩擦剪應力的數值 , 皆有超過 1 Pa 的大小 , 此數值約為冬季時波浪造成的底床剪應力的四到五倍 , 代表底床的沉積物於颱風時有被波浪劇烈攪動的情形發生。

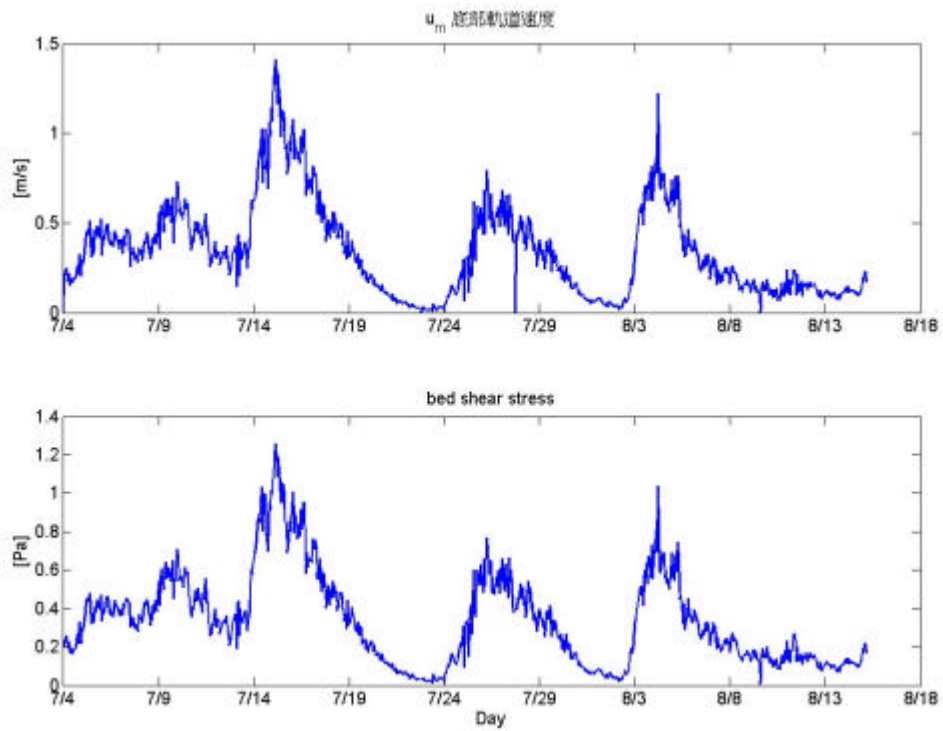


圖 4.17 第二次後灣實驗 (a) 波浪所引起的底部軌道速度 ;(b) 由波高所計算出底部摩擦剪應力。

第五章 討論與結論

5-1 愛河底床邊界層特性

在愛河的觀測實驗中，暴雨事件時的流速非常大，而且 ADCP 所設定的每層間距為 0.25 米，因此可以得到很靠近底床的流速剖面分佈，並可計算出底部邊界層的各项特質。本研究利用 (Lueck and Lu, 1997) 的方法算出摩擦速度、粗糙長度等參數，再與濁度和 ADCP 回聲強度等觀測結果做比較。

由 u_s 對距河床底部高度 z 的流速剖面分佈，利用對數公式

$$U(z) = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (10)$$

，其中 $U(z)$ 是離開底床 z 高度位置的流速， k 是 von Karman 常數，一般是採用 0.4， z_0 為粗糙長度， u_* 為摩擦速度。並使用最小平方方法迴歸出一條 $U(z)$ 對 $\ln z$ 的最佳直線，得到斜率及截距，便可計算出 u_* 及 z_0 ，最小平方方法是以最底部的三點開始迴歸，若迴歸所得的各深度流速與實測的流速差異小於 1 %，則再往上加一點去迴歸，直到其誤差大於 1 % 時便停止迴歸，其中 z_0 大於 0.2 m 的剖面也捨棄不使用 (Lueck and Lu, 1997)。所得到迴歸結果如圖 5.1 愛河流速連續觀測剖面圖所示，以 2005/6/12 0:00 – 12:00 的連續 12 小時的流速剖面觀測結果為例，期間潮位變化為漲潮至退潮另外在觀測期間也有暴雨事件的發生，在轉潮期間流速較小，無法得到迴歸結果。當有

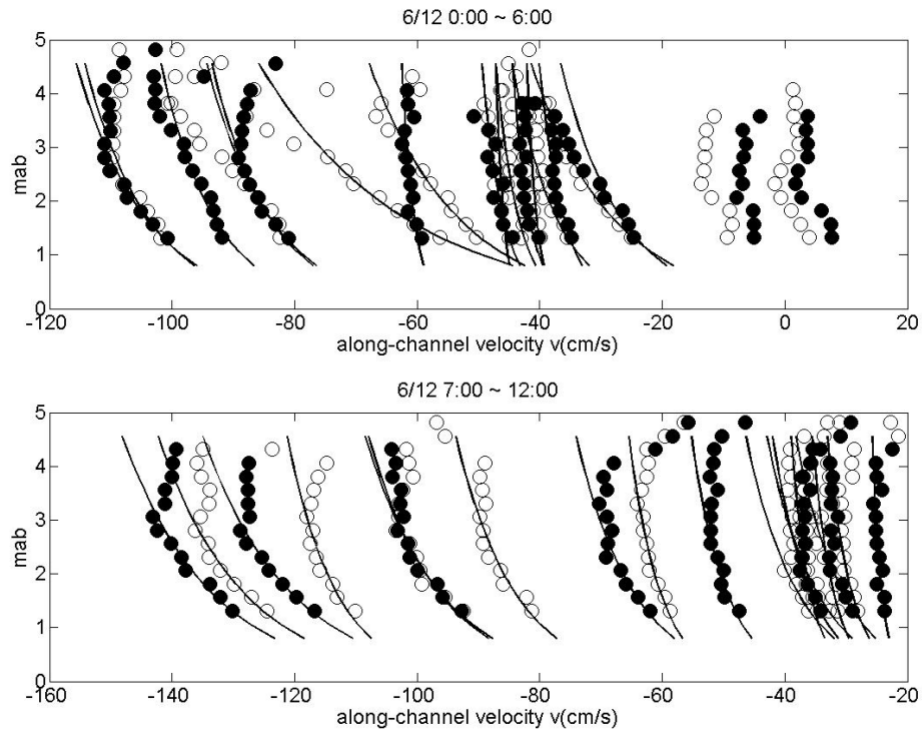


圖 5.1 在 2005/6/12 0 : 00 12 : 00 94 愛河連續觀測流速

剖面，圓點為實測的流速資料，實線為迴歸出的曲線。

暴雨發生時流速變大，其迴歸的點數也越多，流速剖面迴歸的高度最高可達距底部河床 3m 高處，最低也有到 2m 的高度。在圖中有部份的流速剖面因迴歸的品質不符合先前所提到的分析方式，所以捨棄不予採用。後灣的流速資料也用相同的方式去分析，不過由於流速剖面太過於凌亂因此不予採用。將迴歸點數所對應的高度定義為對數層高度（log layer height），圖 5.2（a）為愛河對數層高度分佈直方圖，高度大多集中在約 2.07 米處， z_0 則是集中在靠近 0 2 cm 處如圖（b）所示。

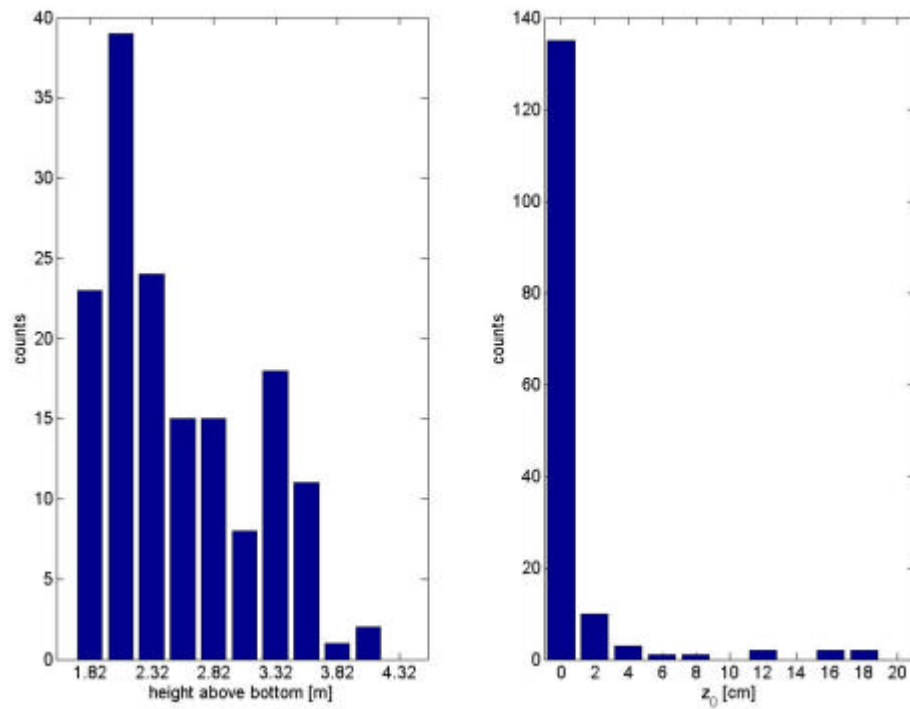


圖 5.2 (a)為迴歸分析出 log layer height 的直方圖; (b)為 z_0 高度的直方圖。

將計算出的摩擦速度與潮位及粗糙長度作比較，如圖 5.3 所示，可以發現摩擦速度一般而言變化不大與潮汐沒什麼相關，大部分是小於於 0.05 ms^{-1} 。最大到 0.1 ms^{-1} ，都是發生在 6 月 12 號、15 號、16 號、24 號及 28 號等有暴雨事件發生的期間。在事件發生期間，所迴歸的 log-layer height 最高達到 4 m 如圖 5.3 (c) log layer height 所示，但在非暴雨事件發生時的 17 號至 23 號，所迴歸出的 log-layer 大多在 2.07 m 的高度。粗糙長度 (z_0) 在平時是非常散亂的，但在有暴雨事件發生時， z_0 有著隨著流速增加而變小的趨勢，所以在暴雨發生的期間所計算出的 z_0 都是非常小的，如圖 5.2 (b) z_0 高度統計直方

圖所示平均的 z_0 的值大多位於 2 cm 以下。

底部拖曳係數 (bottom drag coefficient) 是常用於數值模式中的無因次係數，可結合參考速度 U_r 來推估底床摩擦剪應力 τ 的大小，如下式所示

$$\tau / \rho = C_D U_r^2 \quad (11)$$

其中 ρ 是流體密度，上式(11)為底床摩擦剪應力的二次方定律，可簡化成下式

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (12)$$

$$u_*^2 = C_D U_r^2 \quad (13)$$

其中 U_r 在本研究中是取 ADCP 第一個 bin 的流速，距底床高度為 1.32 m 表示為 U_{132} ，再利用最小平方法去迴歸分析，總共使用 445 組剖面資料，

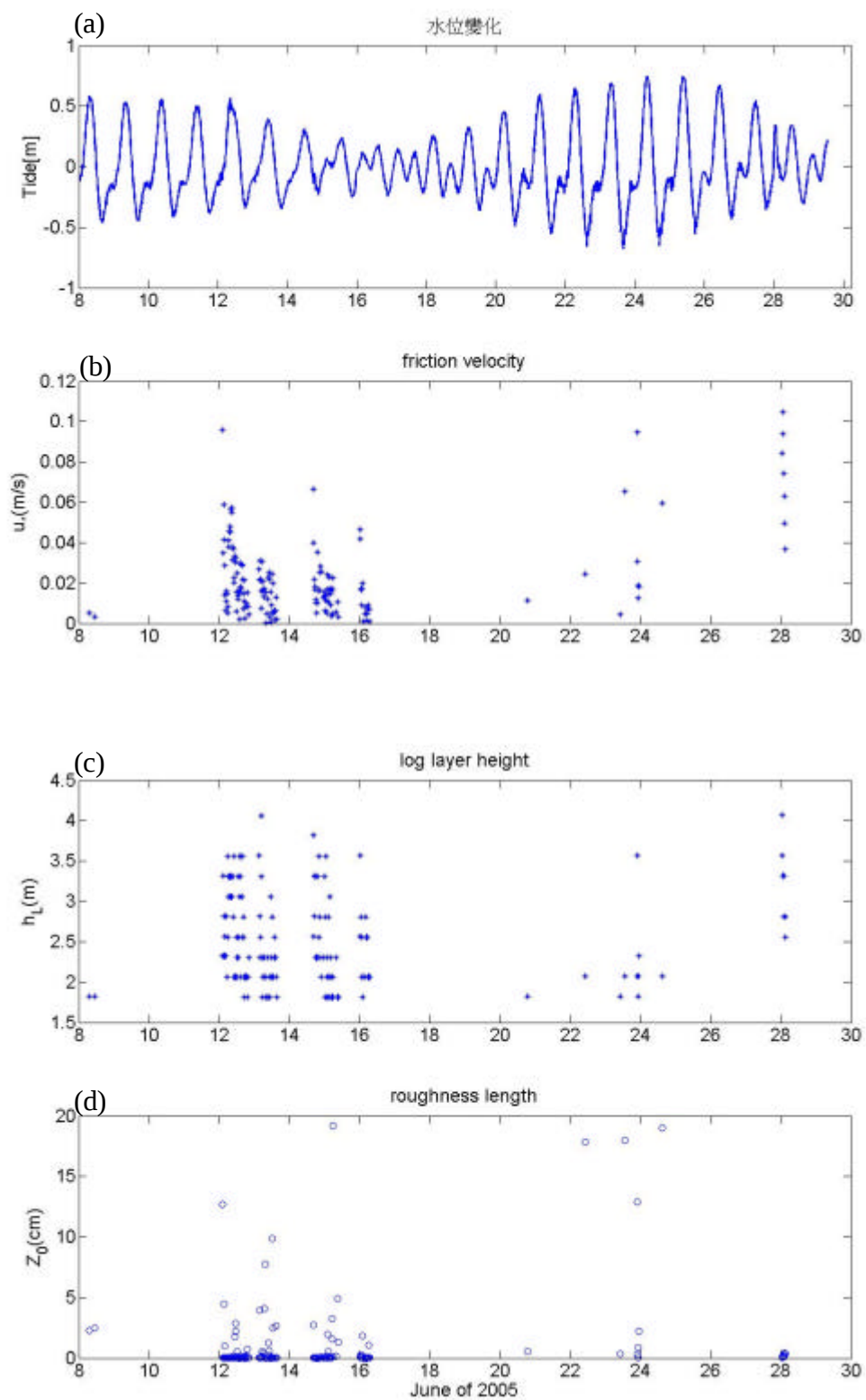


圖 5.3 愛河(a)觀測地點的水位變化;(b)摩擦速度;
(c) log-layer 高度 ;(d)粗糙長度。

如圖 5.4 所示,迴歸得到的斜率結果為 2.694×10^{-3} ,並參考前人(Lueck and Lu, 1997)所作的計算,其 C_D 值為 4.3×10^{-3} 相比較,發覺還是合理的。

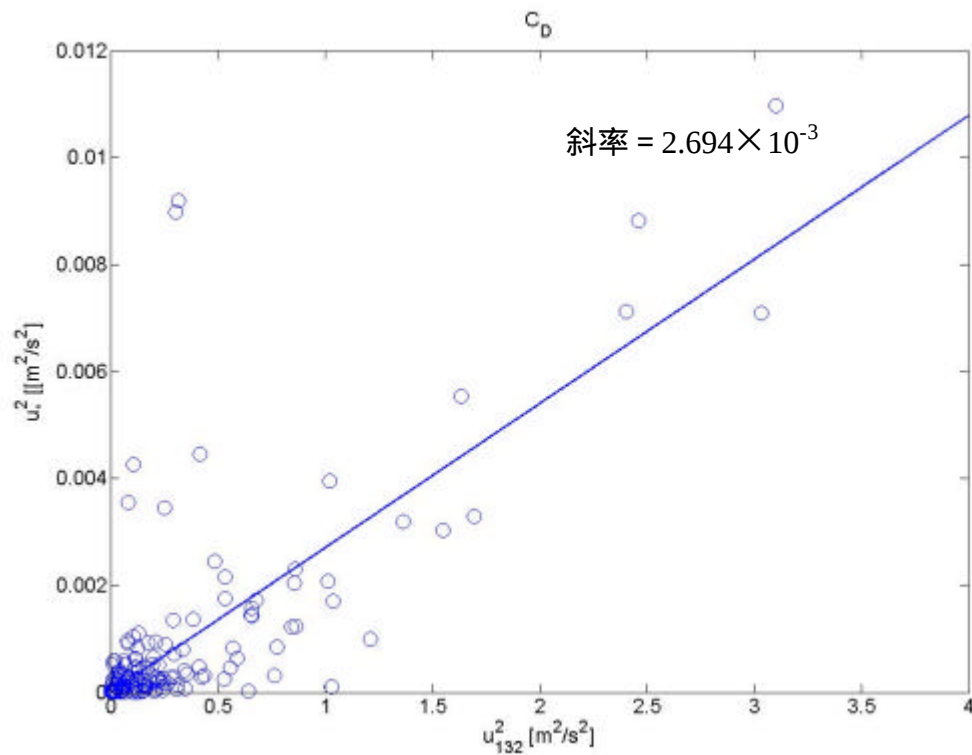


圖 5.4 u_*^2 對 U_{132} 的分佈圖,作最小平方的迴歸分析,得到的斜率即為 C_D 的數值。

5-2 海水濁度與 ADCP EI 觀測值得比較

本研究於 2006 年 1 月 11 日至 2 月 14 日也曾經在後灣的南站以 1200 kHz ADCP 和 RCM 9 流速濁度計同時置於海底觀測，圖 5.5(a) 為此次實驗後灣南站 ADCP 第一層的回聲強度時間序列圖；圖 (b) 為 RCM 9 濁度時間序列圖所示，發現在後灣 RCM 9 所觀測到的濁度變化與 ADCP 第一層的回聲強度變化情形幾乎不相關，濁度平均值低於 10 NTU，但是回聲強度卻有明顯變化情形發生，在許多的文章中也提到，水體中的有機物質及懸浮微粒都是影響回聲強度的原因，其中有機物質所造成的影響比懸浮微粒更為明顯，如同後灣實驗所紀錄到的結果。

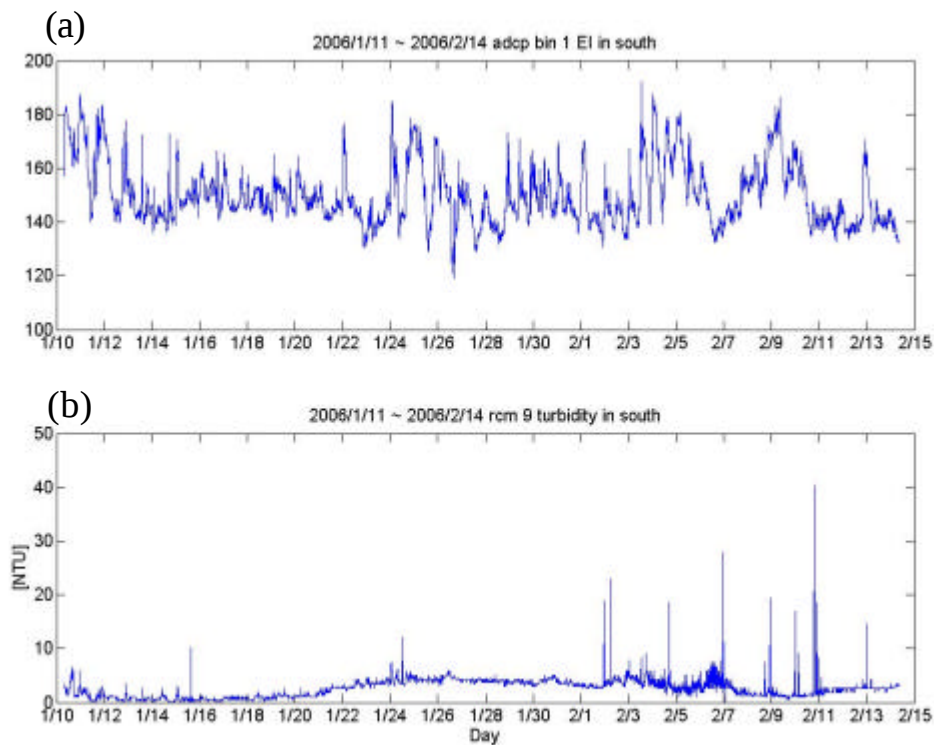


圖 5.5 2006 年 1 月 11 日至 2 月 14 日 (a) 後灣的南站 ADCP 第一層的回聲強度時間序列圖；(b) 後灣南站 RCM 9 濁度時間序列圖。

摩擦速度經由公式 (12) 可計算出底床摩擦剪應力 τ ，一般而言 τ 都不會很大的，只有在暴雨發生時 ADCP 第一個 bin 的流速(u_{132}) 超過 50 cm s^{-1} 才会有比較明顯的 τ 會發生。圖 5.6 為愛河 (a) 底床剪應力；(b) ADCP bin1 的 EI 值；(c) RCM 9 的濁度時間序列圖；(d) 為 ADCP 第一個 bin 的流速，因流速變大而導致底床摩擦剪應力也明顯的變大，暴雨期間所宣洩出來的洪流可以使得底床剪應力高達 10 Pa 以上，此數值比起 Lueck and Lu (1997) 在一水道所測得的底床剪應力要高數倍，所以攪動了河床底部的沉積物使其再懸浮，再次的被搬運的現象，而 EI 及 RCM 9 的濁度都有紀錄到這些變化，並且與 u_{132} 的流速有高度的相關。但是在非暴雨事件區間， u_{132} 的流速非常的小只有大約為 10 cm s^{-1} 左右，計算出來的底床摩擦剪應力的數值也不到 1 Pa ，在圖 5.6 (b) 中的 EI 在相同時間內也沒有像暴雨事件有明顯的變化，另外 RCM 9 濁度變化都非常的小，其平均在約在 30 NTU 之間，只有在暴雨事件發生時才有非常高的數值。

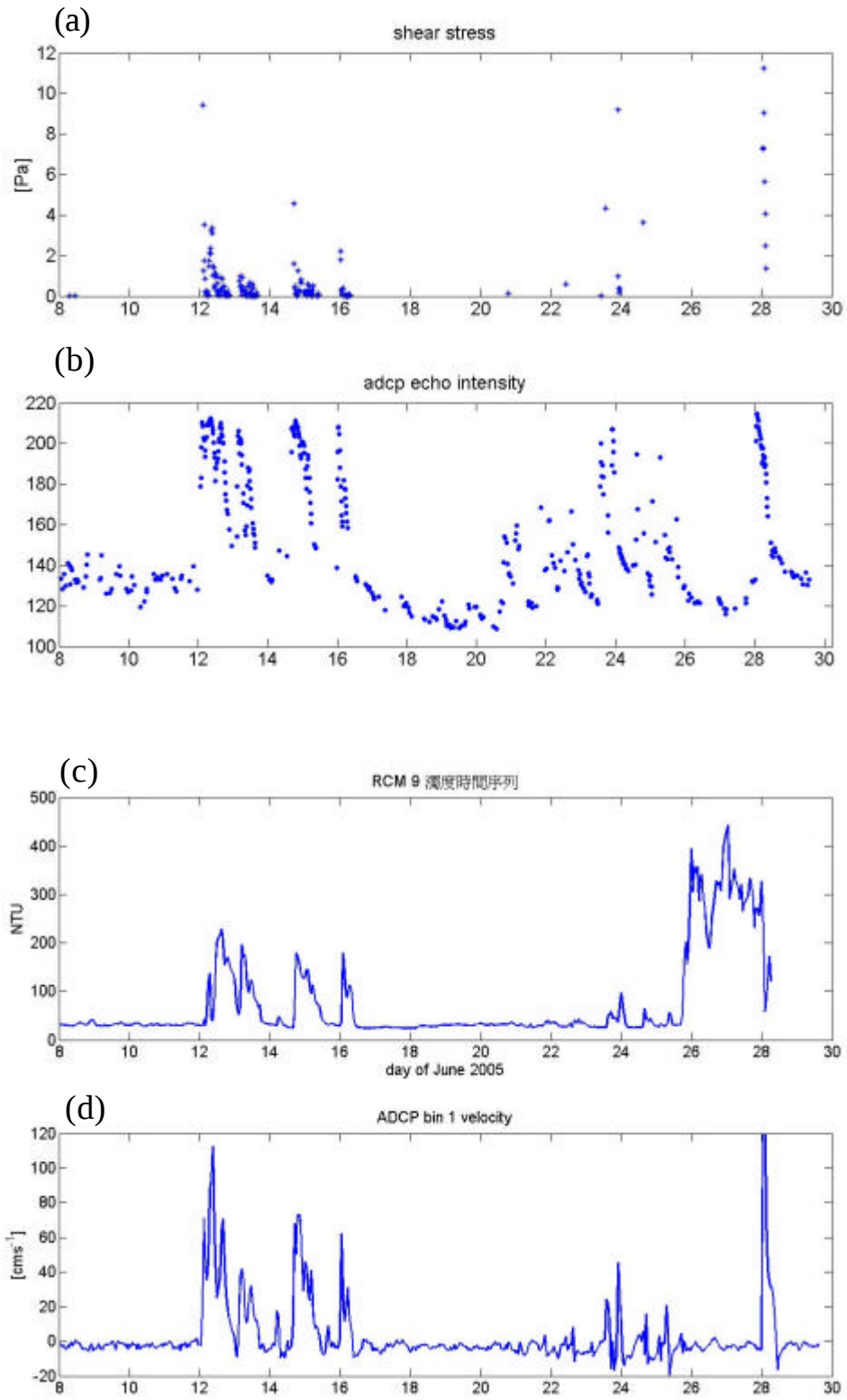


圖 5.6 愛河 (a) 底床剪應力; (b) ADCP bin1 的 EI 值 ;(c) RCM9 的濁度時間序列 ;(d) ADCP 第一個 bin 的流速。

5-3 回聲強度轉換成懸浮微粒濃度 (SSC)

圖 5.7 為愛河 (a) RCM 9 濁度轉換成 SSC 之時間序列圖 ; (b) 為 ADCP bin1 EI 轉換成 SSC 之時間序列圖 , 圖 (a) 是將 RCM 9 的濁度利用校正公式 (1) 轉換後得到的結果 , 在平時愛河的 SSC 濃度大多低於 0.01 g/l , 只有在暴雨事件發生時才会有較高的濃度產生 , 最大可以達到 0.1 g/l 的大小。ADCP 的回聲強度則利用 Deines (1999) 所提出的經驗公式 :

$$S_v = C + 10 \cdot \log_{10}((T_x + 273.16) \cdot R^2) - L_{DBM} - P_{DBW} + 2 \cdot a_w \cdot R + K_c \cdot (E - E_r) \quad (14)$$

S_v : 回聲強度的散射 (db); T_x : 儀器所在的溫度 (); R : 沿著音鼓發射出去的距離 (m); L_{DBM} : $10 \cdot \log_{10}$ (儀器脈衝長度); P_{DBW} : $10 \cdot \log_{10}$ (儀器電力); a_w : 水體的吸收參數; K_c : received signal strength indicator scale factor; E : 回聲強度; E_r : 回聲強度的雜訊。

在這方程式右邊的 C 可以合併許多部份的常數 (例如雜訊、電力、儀器本身的工作效率), 這部份則是引用 (Kim and Voulgaris, 2003), 把這些部份看作為儀器本身的常數。所以可以把公式 (14) 加以簡化成 :

$$10 \cdot \log_{10}(SSC) = C_k + 10 \cdot \log_{10}(R^2) + 2 \cdot a_w \cdot R + K_c \cdot E \quad (15)$$

SSC : 為懸浮微粒的濃度 (kgm^{-3}); C_k : 為常數 ;

其中 a_w 水體的衰減係數會受到水體中的溫度、鹽度及密度的影響 , 儀器的頻率為 1200 kHz 的 ADCP 則參考 (Deines 1999) 所使用的 0.48 dBm^{-1} , K_c 為 0.43 及 C_k 為 -104.65 這些參數 , 則是引用 Kim and Voulgaris (2003) 的經驗公式。

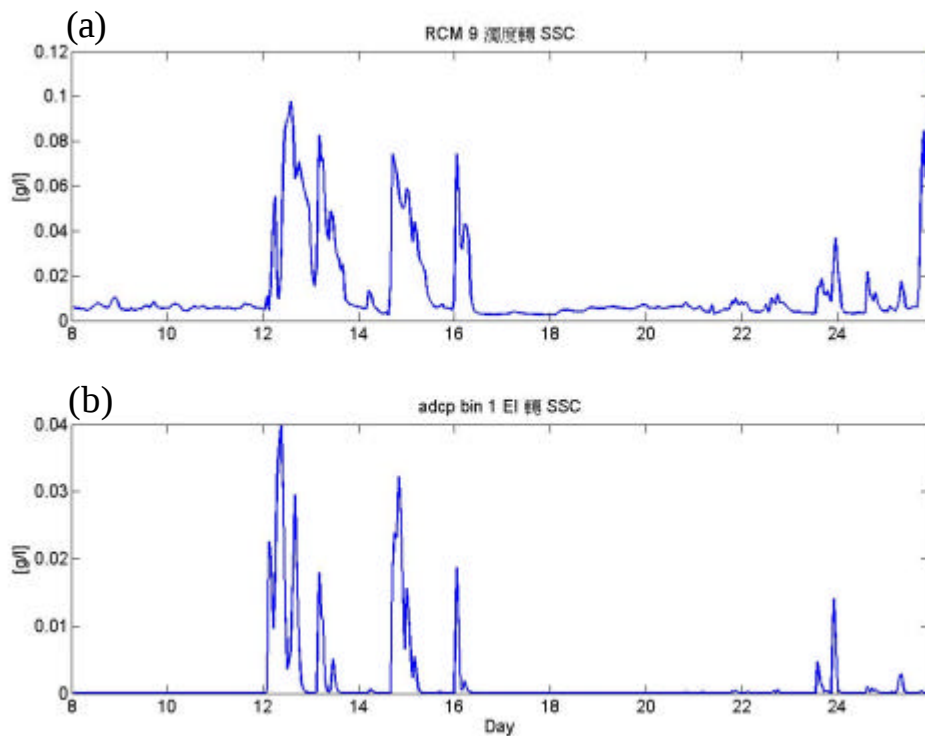


圖 5.7 愛河(a)RCM 9 濁度轉換成 SSC 之時間序列圖 ;(b)ADCP bin 1 EI 轉換成 SSC 之時間序列圖。

圖 (b) 為轉換後的結果，可以見到其 SSC 分佈與 RCM 9 所轉換得到類似結果，這兩圖相較之下，經由 ADCP 回聲強度所計算的濃度約為 RCM 9 的一半大小，這原因可能在於 RCM 9 所量測到的高度離底部河床只有 0.5 m 而 ADCP bin 1 則離底部河床約 0.82 m 處，從這可以見到其轉換出來 SSC 濃度是可以接受的。

圖 5.8 為愛河 ADCP 回聲強度轉換 SSC 隨時間與深度變化圖，是使用相同的方式將整個剖面 ADCP 的回聲強度作轉換，由圖

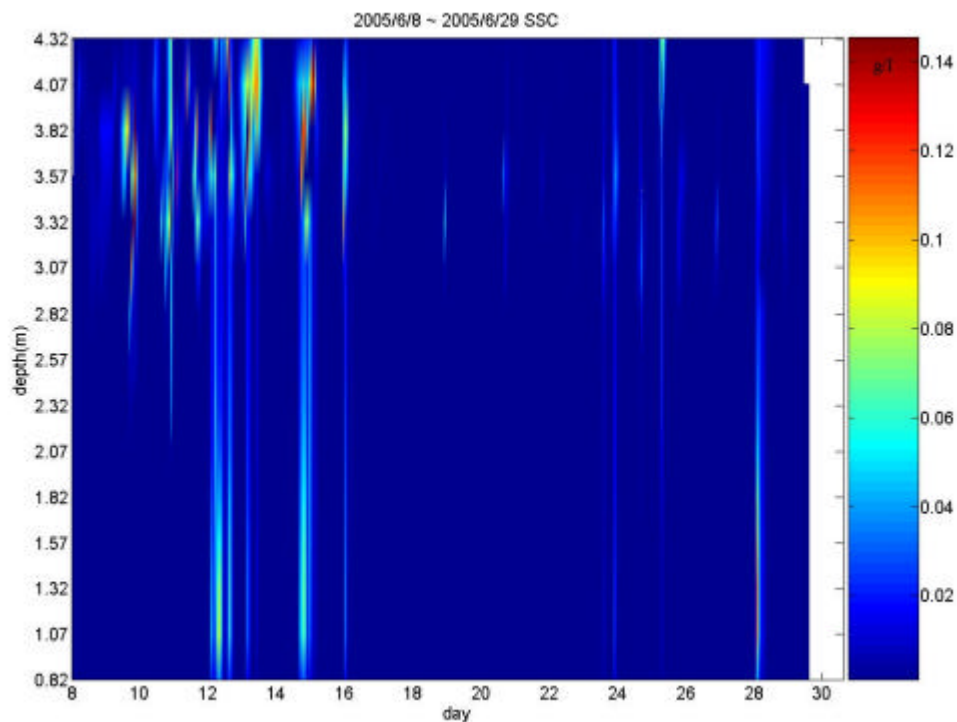


圖 5.8 愛河 ADCP 回聲強度轉換 SSC 隨時間與深度變化圖。

中可以發現當有特殊暴雨事件發生時，SSC 的濃度都會由底部河床往上開始擴散，其濃度也會比一般時高出許多，這表示底部的沉積物的確因摩擦剪應力的變化而有懸浮的現象。另外在某些靠近水面的資料也會有高濃度 SSC 的情形，因為在暴雨期間受到降雨的影響，在靠近水面的水體會受到雨水進入水體時捲入氣泡或其他影響的因素，而回聲強度也紀錄到在水體表面有較高濃度這些的現象。

5-4 ADCP EI 值隨著海氣象的變化

在愛河的回聲強度再有暴雨發生的期間(如圖 4.3(b)), 會使靠近底部河床 EI 會有明顯的變化, 在接近水面的表層也有同樣的變化情形, 但是在流速較小時, 靠近水面的 EI 仍有較明顯的變化, 再與圖 4.3(d) 高雄逐日雨量圖比對, 發現與降雨有很明顯的相關性, 表面 EI 的變化是受到降雨在水面會捲入氣泡, 不一定全是沉積物質被再懸浮的現象。

在靠近海床底部的回聲強度與第三層的流速有很密切的相關(如圖 4.8(b) 及圖 4.13(b)), 當流速超過 40 cms^{-1} 的大小時, EI 皆會有明顯的變化, 這是受到海流所引起的, 然而在靠近海面的部份, 則會與示性波高有一致的變化, 當示性波高超過 0.5 米時, 表面的 EI 也會因波浪攪動而捲入氣泡進入水體中, 因而會有較大的數值出現。

在 2005/12/6 ~ 2005/12/11 這段期間, 示性波高較平時來的小, 如圖 4.8(a) 所示, 這一段時間示性波高最大值不高過 0.5 米, 第三層的海流變化如圖 4.8(c), 其最大值皆有超過 40 cms^{-1} , 對這段時間的示性波高、流速與回聲強度作相關性, 結果如圖 5.9 第一次後灣實驗波小流大時海流、波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖所示, 可見到流速在越靠近海床底部與回聲強度的間的相關性越高, 在超過第

15 層後突然增高的數值，其海流資料的品質已經不準確可以忽略，波高的部份在底部海床的相關性非常的低，而在越靠近海面則有較佳的相關性。

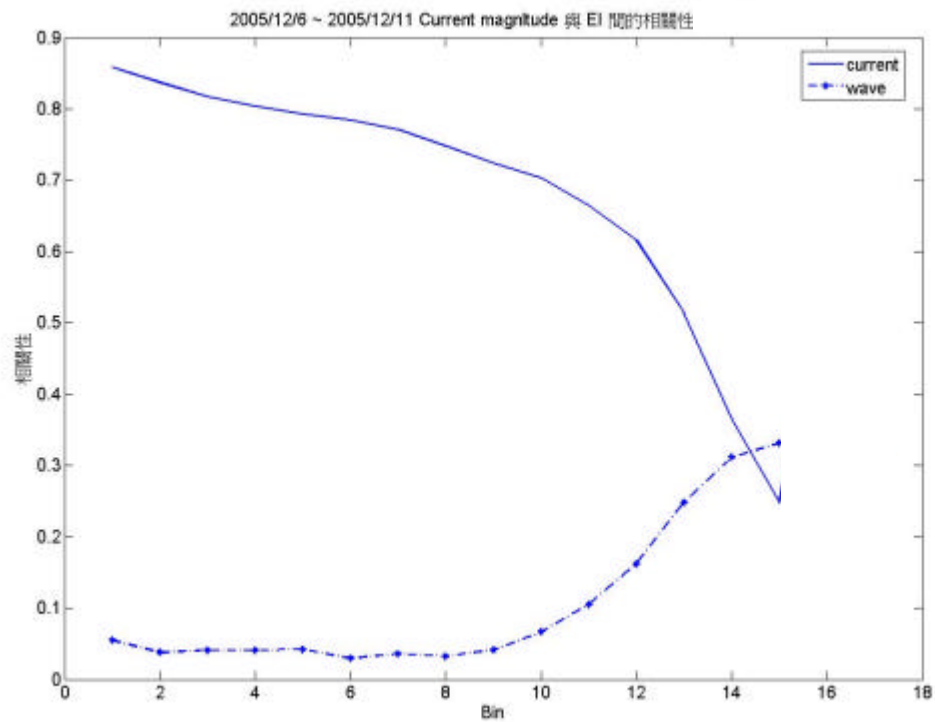


圖 5.9 第一次後灣實驗波小流大時海流、波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖

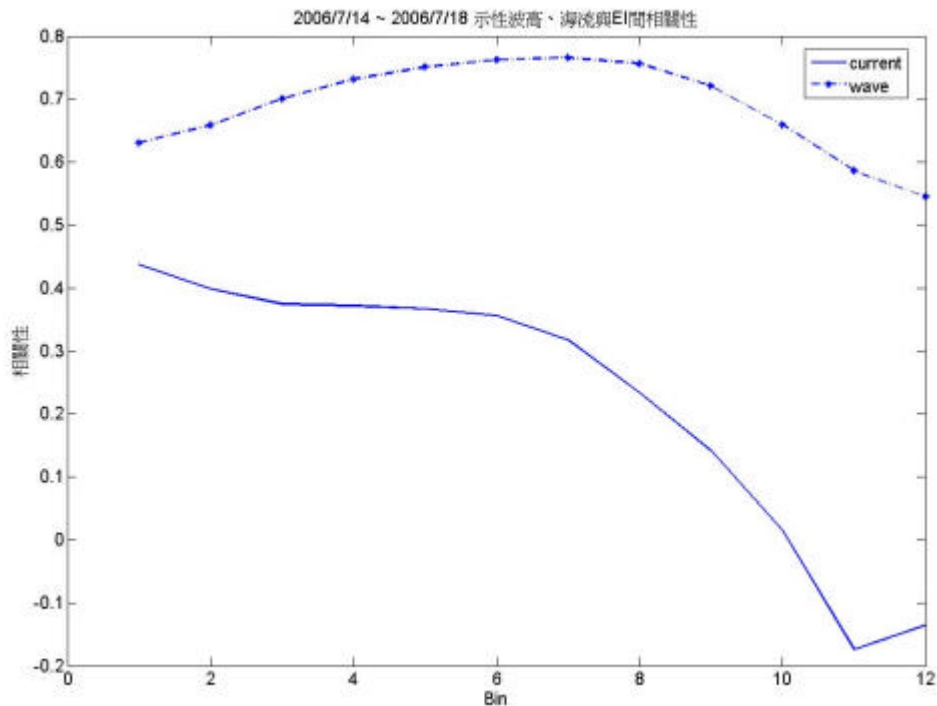


圖 5.10 碧利斯颱風經過時第二次後灣實驗海流、波浪
及 ADCP 回聲強度相關係數圖

同樣的在 2006/7/14 ~ 2006/7/18，如圖 5.10 碧利斯颱風經過時第二次後灣實驗海流、波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖所示也有相同的現象，在這段其間示性波高最大值超過 4.5 米，因受到颱風碧利斯的影響，可以見到整個剖面波高與回聲強度的相關性都比海流與回聲強度好上許多，在接近海面的相關性甚至高達 0.85，另外圖 5.11 為在同月中的 23 日至 26 日，有颱風凱米侵襲台灣，也有相同的情形發生，這表示在後灣在夏天回聲強度主要是受到波浪的影響為主，波浪所造成的攪動會影響幾乎整個剖面。

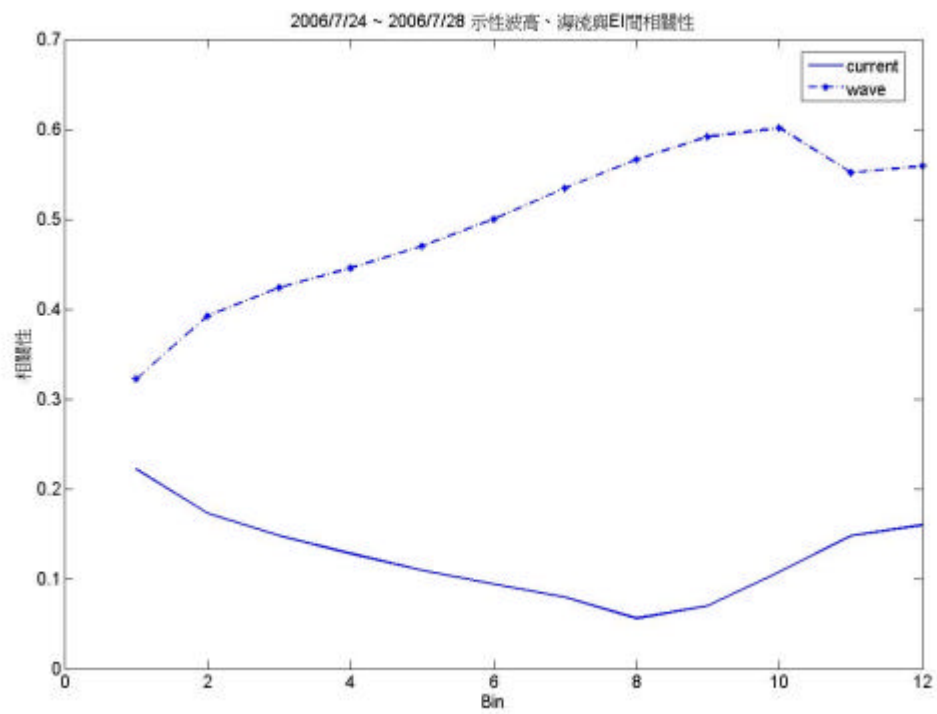


圖 5.11 凱米颱風經過時第二次後灣實驗海流、波浪及 ADCP 回聲強度相關係數圖

5-5 結論

綜合上述的結果與討論，本研究獲得幾點結論，分別敘述如下：

1. 在混濁的河口(例如愛河)環境下，ADCP EI 值可以做為 SSC 的指標，在暴雨事件發生時，底層流速可達 100 cm s^{-1} 以上，底層海水濁度亦高達數百 NTU，ADCP 在底層第一個 bin 的 EI 值亦有顯著的增加，表層的 ADCP EI 值則可能是受到雨水滴落在水面時捲入氣泡的影響亦有增大的情形發生。
2. 在清澈的沿岸海水(例如後灣)環境下，ADCP EI 值與 SSC 的相關性甚低，在冬天時海流較強，但波高不大，EI 值的變化主要受到海流的影響為主；在夏天海流較冬天小，但是波浪受到夏季颱風的影響會有明顯的波高變化情形，此時 EI 值的變化主要是受到波浪的影響最大。
3. 利用 Kim and Voulgaris (2003) 的公式，可將 ADCP EI 值轉換成 SSC 值與濁度觀測結果相當吻合，但是此轉換式僅適用於混濁河口(例如愛河)，不適用於清澈沿岸海水(例如後灣)。
4. 摩擦速度 u_* 值隨著時間的變化趨勢與水位一致，由對數公式可以知道 u_* 與流速成正比，而上層流速越大的剖面，其流速往底層減少的速率也越快，造成流速剖面斜率較大， u_* 值便較大。底部邊界層特性 log layer 的高度與流速剖面越是接近一直線時，其 log

layer 的高度就越高，所以 log layer 高度的好壞與流速剖面有很大的相關性，若在轉潮期間，上層的河水往下游流出，但底層的河水受漲潮影響往上游流進且流向不一致，這時所分析出的 log layer 高度就不太理想。但是在流速較大時，粗糙長度變小，因此底床沉積物較平滑，所已回歸出的 log layer 高度較高。

5. 愛河在沒有暴雨事件發生時，log-layer 的高度大多在 1.82 m 左右，此時的摩擦速度約在 $0.01 \text{ cms}^{-1} \sim 0.05 \text{ cms}^{-1}$ 的大小，底床剪應力相對的小幾乎不到 1 Pa, 因為只受到漲退潮的影響 EI 值與 RCM 9 的濁度變化相對都很小。但是在暴雨事件發生其間觀測到的 log-layer 高達 4 m 時，這時摩擦速度為 $0.05 \text{ ms}^{-1} \sim 0.1 \text{ ms}^{-1}$ ，底床剪應力則為 5 ~ 10 Pa，可見得紊流會使得靠近河床底部的部份沉積物再懸浮，這可由 ADCP 的第一層的 EI 值來證明，當底床剪應力變大時，EI 值也有增大的情形發生，表示水中的懸浮微粒的濃度增加許多，另一台儀器 RCM 9 的濁度計也有觀測到相同的變化。當愛河的底部流速增至 50 cms^{-1} 以上就可明顯的看見上述所提及的情形發生。
6. 在後灣示性波高超過 0.5 米時，會對於靠近表面的回聲強度有影響，當靠近海底第三層海流超過 40 cms^{-1} 時，回聲強度也有明顯的變化。另外當後灣示性波高低於 0.5 米時對於底部海床幾乎沒

什麼影響，主要還是受到海流的影響為主。

7. 在颱風期間可以見到整個剖面波高與回聲強度的相關性都比海流與回聲強度好上許多，在接近海面的相關性甚至高達 0.85，這表示在後灣在夏天回聲強度主要是受到波浪的影響為主，波浪所造成的攪動會影響幾乎整個剖面。

第六章 參考文獻

1. 劉文俊 (1999) “台灣的潮汐”, Ch 6-4。
2. 施孟憲 (2001) “潮流剖面特性之流場觀測與研究”, 國立中山大學海洋資源研究所碩士論文。
3. 李光明 (2002) “恆春半島的氣候特性與生態環境之研究”, 國立屏東科技大學水土保持所碩士論文。
4. 蔡致維 (2004) “愛河的水文特性”, 國立中山大學海洋資源研究所碩士論文。
5. 李佳娜 (2005) “潮汐與波浪之互動對邊界層之影響”, 國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文。
6. Deines, K.L. (1999): Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers, *Proceedings IEEE 6th Working Conference on Current Measurements*, 249-253.
7. Gartner J. W.(2004): Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California, *Marine Geology* (2004) 169-187.
8. Hoitink A.J.F.(2004): Tidally-induced clouds of suspended sediment connected to shallow-water coral reefs, *Marine Geology* 208(2004) 13-31.
9. Holdaway, G. P., Thorne P. D., David Flatt, Jones S. E., David Prandle(1999): Comparison between ADCP and transmissometer measurements of suspended sediment concentration, *Continental Shelf Research* 19 (1999)421-441.
10. Kim, Y.H. and Voulgaris, G. (2003): Estimation of suspended sediment concentration in estuarine environments using acoustic backscatter from an ADCP, *Coastal Sediments* 2003, ASCE.
11. Klein H., König P., Frohse A.(1999): Currents and near-bottom

suspended matter dynamics in the central North Sea during stormy weather-results of the PIPE'98 field experiment-, *German Journal of Hydrography* Volume 51 (1999) Number 1.

12. Klein H.(2003): Investigating sediment re-mobilisation due to wave action by means of ADCP echo intensity data Field data from the Tromper Wiek, western Baltic Sea, Estuarine, *Coastal and Shelf Science* 58(2003) 467-474.
13. Lueck , R. G. and Y. Lu(1997) : The logarithmic layer in a tidal channel, *Continental Shelf Research*, 17, 1785-1801.