

國立中山大學海洋資源研究所

碩士論文

指導教授 曾若玄 博士

潮流剖面特性之觀測與研究

Observations of Tidal-Current Profiles

研究生 施孟憲 撰

中華民國 91 年 1 月

摘要

為了瞭解台灣南部淺海潮流剖面的特性以及接近海底底床邊界層的結構，本研究是以一台底碇式的高頻 ADCP 錨碇於海底，做 10 ~ 20 天的連續觀測，總共完成了六次實驗，其中第一次及第二次實驗地點分別在高雄港內以及東港外海，後面四次實驗地點則都位於屏東後灣海生館外海，其水深均介於 12m ~ 18m。所測得的流速資料取 20 分鐘平均之後，再利用對數分佈公式以 4%精確度迴歸求得一條最佳化直線，由其斜率與截距求得摩擦速度(u_*)與粗糙長度(z_0)。由本研究結果發現，(1)潮流剖面有隨流速的增加而有斜率越大的趨勢，(2) u_* 有隨著實驗地點潮汐變化的趨勢，其中以東港外海 u_* 比較大，最大可達 0.06m/s；(3) z_0 值相對比較散亂，但是在流速較大的東港外海大致上也有呈現隨底層流速的遞增而減小的趨勢；(4)對數層的高度在流速較大時高度較高；(5)曳力係數(C_D)也有因實驗地點流速較大而值比較小的趨勢；另外(6)降雨會造成濁度增加，進而使 z_0 及 C_D 也隨之增加。而調和分析的結果也顯示，後灣在冬季期間，潮流橢圓主軸角度的垂直變化很小，相位則是表層些微領先底層；在夏季期間，表層與底層的主軸角度相差約 15 度且相位為底層領先約 25 度(約 1.7 小時)，這可能是因為後灣在夏季有些微層化現象所造成的。

Abstract

This study aims to better understand the characteristics of the tidal-current profiles and the near-bed boundary layer structures off the southwestern coast of Taiwan. The velocity profile is measured by a bottom-mounted ADCP. Six experiments were conducted, each lasted 10~20 days and the water depth ranging 12~18 m. Twenty-minute averaged velocity profiles have been fitted to a logarithmic form with 4% accuracy. The friction velocity (u_*) and roughness length (z_0) are then derived from the slope and intercept of the best-fitted straight lines. Our results show that the profile shape and friction velocity vary tidally, the latter reaches $O(0.06)\text{ms}^{-1}$ during peak current flow. The magnitude of z_0 is large and scattered, but it shows a general trend of decrease with increasing flow speed. The observed log-layer height increases, and the bottom drag coefficient (C_D) decrease, respectively with increasing flow speed. Measurements also show that water turbidity increases with rainfall, as a result the z_0 and C_D also increase. Finally, harmonic analysis of the tidal currents indicate significant changes between winter (homogeneous) and summer (stratified) conditions. In winter the vertical variation of orientation and phase is small, whereas in summer there was a 15° orientation and 25° phase difference (the bottom currents lead the surface currents) between the near surface and near bed regions.

謝誌

本論文可以順利完成，首先要感謝的便是我的指導教授曾若玄老師。由於老師長期以來對我的細心教導，以及孜孜不倦地與我共同面對研究過程中所遭遇的任何困難與疑惑，才使得本論文得以順利完成。

此外，口試委員中山大學海環系許榮中教授、中山大學海地化所劉祖乾教授以及海軍官校海洋系楊穎堅教授對本論文的細心指正與啟發性的建議也使我獲益良多。

還有一直在生活上呵護著我們的師母，及這群陪伴我一同走過碩士班階段的同窗好友和學長姐、學弟妹，以及所有協助採樣調查工作的工作同仁，我由衷地感謝你們，由於你們熱情的支持以及專業的協助，讓我得以順利地完成學業，同時也在使我原本枯乏的日子生色許多。

最後，我想感謝我的父母親，並且將這個小小的成就獻給他們，以感謝他們這廿多年來對我的照料、支持與鼓勵。

目錄

章次	頁次
中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
謝誌.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
一、 前言.....	1
二、 實驗地點及方法.....	6
2.1 實驗地點與過程.....	6
2.2 實驗儀器.....	8
2.3 分析方法.....	10
三、 研究結果.....	12
3.1 流速剖面的分類.....	12
3.2 流速剖面的分佈.....	13
3.3 摩擦速度 (u_*).....	14
3.4 粗糙長度 (z_0).....	16
3.5 對數層高度.....	18
3.6 底部拖曳係數 (C_D).....	18
3.7 調和分析與潮流橢圓.....	20
3.8 濁度變化.....	21
四、 討論.....	23
4.1 潮汐對流速剖面之影響.....	23
4.2 流速的效應.....	24
4.3 底質的效應.....	27
4.4 降雨或濁度的效應.....	29
4.5 季節變化或層化的效應.....	29
五、 結論.....	32
六、 參考文獻.....	34

表目錄

	頁次
表 1 六次實驗的時間、地點與量測之資料.....	37
表 2 六次實驗所使用 ADCP 的設定.....	38
表 3 KH 潮位調和分析結果.....	39
表 4 TK 潮位調和分析結果.....	39
表 5 HW1 潮位調和分析結果.....	40
表 6 HW2 潮位調和分析結果.....	40
表 7 HW3 潮位調和分析結果.....	41
表 8 HW4 潮位調和分析結果.....	41
表 9 KH 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的 角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角.....	42
表 10 KH 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的 角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角.....	43
表 11 TK 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的 角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角.....	44
表 12 TK 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的 角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角.....	45
表 13 HW1 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的 角度(正東為 0° 逆時針遞增)G：相位角.....	46
表 14 HW1 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的	

	角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	47
表 15	HW2 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	48
表 16	HW2 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	49
表 17	HW3 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	50
表 18	HW3 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	51
表 19	HW4 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	52
表 20	HW4 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0^0 逆時針遞增) G：相位角.....	53

圖目錄

	頁次
圖 1 海潮流三個測站之地理位置圖.....	54
圖 2 ADCP 與 TD-410 安裝於架子上的相對位置圖.....	55
圖 3 儀器放置示意圖.....	56
圖 4 KH(a)水位(b)流速剖面及 TK(c)水位(d)流速剖面分佈圖.....	57
圖 5 HW1(a)水位(b)流速剖面及 HW2(c)水位(d)流速剖面分佈圖....	58
圖 6 四次實驗的流速剖面隨時間每隔 20 分鐘的分佈圖，流速為 正值的代表漲潮，負值代表退潮.....	59
圖 7 四次實驗的流速剖面隨時間每隔 20 分鐘的分佈圖，流速為 正值的代表漲潮，負值代表退潮.....	60
圖 8 (a) KH(b) TK (c) HW1 (d) HW2 之第五個 bin 的流速棍棒圖....	61
圖 9 (a) KH(b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 u_* (實心圓點)與水位 (實線)對時間的分佈圖.....	62
圖 10 (a) KH (b) TK (c)HW1 (d) HW2 之 z_0 (實心圓點)與水位 (實線)對時間的分佈圖.....	63
圖 11 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 z_0 對第一個 bin 流速 之分佈圖.....	64
圖 12 (a) KH (b) TK (c) HW1(d) HW2 之 log layer 高度隨時間 之分佈圖.....	65
圖 13 (a) KH (b) TK (c) HW1(d) HW2 之 C_D (實心圓點)與水位 (實線)隨時間之分佈圖.....	66

圖 14	(a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 (e) HW3 (f) HW4 之 z_0 統計直方圖.....	67
圖 15	(a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 (e) HW3 (f) HW4 之 log layer height (bin) 統計直方圖.....	68
圖 16	(a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 (e) HW3 (f) HW4 之 u_*^2 對 U_{r3}^2 的分佈圖.....	69
圖 17	KH 之潮流橢圓.....	70
圖 18	TK 之潮流橢圓.....	71
圖 19	HW1 之潮流橢圓.....	72
圖 20	HW2 之潮流橢圓.....	73
圖 21	HW2 的(a) z_0 (b) C_D (c)濁度及(d)恆春的降雨量隨時間變化圖.....	74
圖 22	HW3 的(a) z_0 (b) C_D (c)濁度及(d)恆春的降雨量隨時間變化圖.....	75
圖 23	KH (a)溫度、(b)鹽度及 HW1 (c)溫度、(d)鹽度 之垂直剖面分佈圖.....	76
圖 24	KH 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖.....	77
圖 25	TK 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖.....	78
圖 26	HW1 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖.....	79
圖 27	HW2 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面	

	分佈圖.....	80
圖 28	HW3 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面 分佈圖.....	81
圖 29	HW4 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面 分佈圖.....	82
圖 30	(a)HW1 (b) HW2 (c)HW3 (d) HW4 之 z_0 對時間的分佈圖.....	83
圖 31	(a)HW1 (b) HW2 (c)HW3 (d) HW4 之 C_D 對時間的分佈圖.....	84

一、前言

近來人類越來越重視休閒活動，特別是往海洋發展的海上休閒活動，這些活動大部分都集中在沿岸以及近海地區內，而這些區域主要是受到潮汐的影響，潮汐作用會間接造成潮流對於沿岸以及近海地區設施的侵蝕，也會造成底部沈積物的漂移及堆積，因此深入瞭解海洋與大氣之間的邊界層中，海洋潮流與風應力的交互作用，以及海洋與海底底床之間的邊界層中海潮流與底部摩擦力、底部應力間的結構特性，都是非常重要的，這對於人類在這些區域活動的安全問題有很大的關係。

位於海底上方的海底邊界層存在著很強的剪應力和摩擦力作用，而且其整個的結構和特性均與海面上方的大氣邊界層及實驗室中的情況有很多相似的地方。以前利用模式分析大陸棚的潮流垂直結構，大都是在整個水層混合良好且無層化現象的條件下(Soulsby, 1990)，但是實際上，水層受到遍及整個水層的擾動與作用於邊界上的剪應力所控制(Howarth, 1998)。一般而言，從海底底床往上可以分成四個區域：

1. 底床層(bed layer)：bed layer 為最靠近海底底床的一層，而且非常薄，只有在實驗室裡才能被量測到，其動力機制是由流體的分子黏滯

性和底床粗糙度所組成，一般在現場實驗中很難被量測到。此層內的流速剖面是呈現線性分佈，隨著離開底床的距離而線性增加。

2. 對數層(log layer)：log layer 存在於靠近海底的幾公尺內，位於 bed layer 上方，其剪應力為四層之中最大的一層，而且大致相等不變 (Lueck and Lu, 1997)。log layer 的流速剖面呈對數分佈 (Schlichting, 1979)，如下式所示：

$$U(z) = (u_* / \kappa) \ln(z / z_0) \quad (1)$$

其中 $U(z)$ 是離開海底 z 高度位置的速度， κ 是 von Karman 常數， z_0 為粗糙長度， u_* 為摩擦速度。藉由實測來確定 log-layer 的存在是很重要的，因為可以用來估算底床剪應力(τ)的大小，如下式所示，這對於輸沙力學及污染物傳輸擴散等研究均有密切的關係

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

其中 ρ 是流體密度。本文的主要研究對象便是 log layer 以及其中的特性。

3. 低剪力層(low shear layer)：在 log layer 上方是一層較厚的 low shear layer，約有幾十公尺厚，其中的剪應力比較小，而且流速剖面符合 power law。

4. 自由流(free stream)：low shear layer 上方則是 free stream，其中的流速沒有受到黏滯力的影響，且這一層所受到的剪應力為零，但是如果水深不夠的情況下，則 free stream 或許不存在。

其中對數層與低剪力層之間有一些重疊區域，沒有一條明顯的界線，而海底邊界層即是指這兩層的區域範圍。

通常計算底床剪應力之方法有三，1、利用(1)式，由量測流速的剖面分佈來計算底床剪應力的方法稱之為 profile method，2、eddy correlation method，需要觀測擾流尺度的速度變動量 u' 和 w' ，再直接用 Reynolds stress 的定義計算之。

$$\tau = -\overline{u'w'} \quad (3)$$

3、dissipation method，是由擾流動能的消散率間接推算出應力。這些方法各有其利弊，通常在實驗室中可控制的條件下使用都沒有問題，但是在海洋現場的 geophysical flow 中則不容易應用。本研究是運用 profile method 來研究邊界層內的一些重要特徵參數，並且使用比較先進的觀測儀器—聲學杜卜勒剖流儀 (Acoustic Doppler Current Profiler，簡稱 ADCP) 來克服實驗工作上的困難，因為傳統的海潮流現場調查方法均是以數個自記式海流儀錨碇於測站，量測上層與下層的流速、流向時間序列，雖然可以得到實驗地點的潮流頻譜特性，但

卻無法獲得靠近離海底 3m 以內的完整流速垂直分佈剖面，而 ADCP 是利用聲學杜卜勒效應的原理來量測海流的垂直剖面，其可以分成船碇式與底碇式兩種形式，在過去一、二十年間已被海洋界廣泛的使用，但是在國內的使用仍多侷限於船碇式與深海錨碇觀測，至於淺海海域則較少使用。而本實驗即是利用最近新發展出來的高頻 ADCP 錨碇於淺海海域來觀測海流的垂直分佈，因其優點便是垂直解析度良好，適合淺水地區使用，其精確度與自記式海流儀相當，而且時間序列的流速剖面比較多，可以利用數個流速剖面的平均來減小其標準誤差，在淺水地區測得的資料點，可以幾乎包含整個垂直範圍。

本實驗是要藉由海潮流流速剖面的觀測以進一步瞭解底床邊界層的特性，以及研究漲退潮、密度層化、風浪狀況、底質地形等變數對於邊界層特性的效應。有關流速剖面的現場觀測研究已有不少 (Anwar, 1996; Kawanisi and Yokosi, 1997; Pingree and Griffiths, 1974)，這些研究大都是以數個單點流速計裝置在底架上觀測底床上方三、四公尺以內的詳細流速剖面，這對於對數剖面以及粗糙長度的決定是極重要的，但是對於 log-layer 的高度以及所受到流場的影響則無法評估。另一方面，Johnson et al.(1994) 則是以可棄式剖流計觀測整個水層的流速剖面，但是由於無法進行長期觀測，其統計結果的適用性便

受到了質疑。最近幾年內逐漸發展成熟的 ADCP 具有許多優點，它有單點流速計的精確度，也有良好的垂直間隔解析度，因此適合於觀測海洋邊界層，但是其缺點則是無法涵蓋接近底床和海面的 1~2 公尺範圍，這是因為界面反射聲波的雜訊及儀器本身高度的緣故。Lueck and Lu (1997) 和 Howarth (1998)以 ADCP 觀測沿海渠道內的潮流剖面，前者是在無層化及平靜的海面狀況下進行，後者則是於冬夏季層化程度不同的時間進行。曾與孫(1997)曾經於高雄港渠道內以底碇式 ADCP 觀測流速剖面，初步結果發現推算出來的摩擦速度與粗糙長度隨著底質地形與潮汐漲退都有關係，惟其取樣頻率仍不夠高，而且缺乏同步的溫鹽測量。

本研究是以一台底碇式高頻 ADCP 收集流速剖面資料，取樣頻率與垂直間距均較曾與孫(1997)提升，實驗地點則選擇高雄港內、東港外海及後灣三處，以便互相比較結果。這三個實驗地點的底床組成物質、流速大小、潮流變化、放置時間季節各不相同，由此可知不同的環境條件對流速剖面及邊界層特性的影響。本文的內容包含以下數章，第二章為實驗地點、儀器與分析方法，第三章為研究成果，分成流速剖面、摩擦速度、粗糙長度、對數層高度、底床曳力係數、調和分析與潮流橢圓等項，第四章為討論，第五章為結論。

二、實驗地點及方法

2.1 實驗地點與過程

本研究總共完成六次實驗，每次實驗均包含了底碇式 ADCP 的流速剖面量測，另外也利用水位計(TD-410)量測其溫度、鹽度、水位隨時間的變化情況，以及利用採水量測其溫鹽隨深度的變化情況，同時在第四及第五次實驗中增加濁度計(Optical Backscatterance Sensor，簡稱 OBS)來測量沈積物濃度隨時間的變化，可以發現其上下層的混合狀況以及有無溫鹽層化的情形。這六次實驗的地點如圖 1 所示，實驗條件與所使用之儀器則列於表 1。

本研究之實驗過程如下所示：

第一次實驗：位於高雄港內的主航道，在 48 號碼頭附近，實驗代號為 KH，水深約為 12m，觀測日期為 2000 年 4 月 7 日至 4 月 19 日，儀器施放當天風浪狀況良好，實驗期間儀器也沒有傾倒或被淤泥淹沒的情況，直到回收當天風浪狀況也良好，因此儀器施放與回收兩次均有現場實測整個水層的溫鹽狀況。

第二次實驗：位於東港外海，實驗代號為 TK，水深約為 18m，觀測日期為 2000 年 6 月 19 日至 7 月 15 日，儀器施放當天略有風浪，之

後風浪變大，直到 6 月 22 日晚間 21 點 30 分因風浪太大而傾倒，資料開始無法使用，一直到 6 月 29 日才發現，並且將儀器扶正，資料才恢復正常，而從儀器扶正後一直到回收當天資料良好且儀器沒有再傾倒的現象發生，因此本實驗只有取用儀器扶正之後的連續資料，即 6 月 29 日之後的資料。

第三次實驗：位於屏東後灣，也就是在海生館外海，實驗代號為 HW1，水深約為 13m，觀測日期為 2000 年 9 月 22 日至 10 月 3 日，儀器施放當天風浪狀況良好，實驗期間儀器沒有傾倒或被淤泥淹沒的情況發生，直到回收當天風浪狀況也良好。

第四次實驗：也是位於後灣，實驗代號為 HW2，水深約為 13m，觀測日期為 2001 年 4 月 20 日至 5 月 24 日，為四次實驗中為期最長的一次，因為 ADCP 的電池不足以維持太長的時間，所以此次的實驗是以兩台 ADCP 交替使用，其中第一段的實驗時間為 2001 年 4 月 20 日至 5 月 4 日，在 5 月 4 日當天將第二台儀器施放到同一地點，再將第一台儀器收回，而第二段的實驗時間便為 2001 年 5 月 4 日至 5 月 24 日，兩段實驗期間內，儀器均沒有傾倒的現象，資料良好。在 HW2 的實驗中，由於實驗時間正好為梅雨季節，因此增加一台 OBS 來量測濁度的變化，且基於架設方便，所以使用體積較小的溫深測錄儀來

代替 TD-410 量測水位。在 KH 以及 HW1 兩次實驗中，現場使用採水瓶從表層到海底每隔 3 公尺採一次水，再利用溫鹽度計量測現場溫度以及鹽度，以便獲知水體層化的程度狀況。

第五次實驗：也是位於後灣，實驗代號為 HW3，水深約為 13m，其實驗時間為 2001 年 8 月 20 日至 9 月 10 日，此次實驗與 HW2 相同，均增加一台 OBS 來量測濁度的變化，且儀器放置期間有下大雨，但儀器並沒有傾倒的現象，資料均可使用。

第六次實驗：也同樣位於後灣，實驗代號為 HW4，水深約為 13m，實驗時間為 2000 年 12 月 21 日至 2001 年 1 月 1 日，期間 10 天的連續資料均可使用。

底部沈積物的組成方面，KH 及 TK 地點之底質以淤泥為主，比較容易造成儀器傾倒或被覆蓋的現象，而 HW1、HW2、HW3 和 HW4 當地的海底為比較硬的礫石組成，再往岸邊的海底則為珊瑚礁，所以儀器在 HW1、HW2、HW3 和 HW4 比較不容易傾倒或是被淤泥所覆蓋，相對於高雄港內及東港外海，後灣可以獲得比較長時間的觀測資料。

2.2 實驗儀器

本研究使用的儀器包括聲學都普勒剖流儀(ADCP)、水位計(TD-410)、濁度計(OBS)、溫鹽度計、採水瓶、壓力計等，其中 ADCP 可用來觀測海底上方的流速垂直分佈狀況，所採用的 ADCP 為美國 RDI 公司出品，頻率為 1200 和 600 KHz，內含至少 10MB 的記憶體容量，其中頻率 600KHz 除量測流速剖面外，並具有量測水位以及水溫的功能，適合在比較深的實驗地點，而頻率 1200KHz 則只有量測流速的功能，其精確度較佳，但量測的深度範圍較小，因此必須配合 TD-410 來量測水位，適合在比較淺的實驗地點。而 TD-410 則為加拿大 Richard Brancker 公司出品，內含 55MB 的記憶體容量，將兩台儀器一起安裝於一鐵架上再以重塊固定於底床(圖 2)，ADCP 的聲波向上發射，儀器的施放與回收均以漁船絞車配合潛水伏進行，取樣頻率在 KH、TK、HW1、HW4 為兩分鐘一筆，而 HW2、HW3 則為十分鐘一筆；各層間距在 KH、TK、HW1、HW4 為 0.3m，HW2、HW3 則是 0.5m，從海底到第一個量測點(或稱為 bin)之間包含了架子加上 ADCP 儀器的高度(約 0.5m)以及音鼓到第一個 bin 間的空白距離(約 1m)，總共約 1.5m 左右的距離內無法得到流速資料，因此有效測量範圍為自底床上方約 1.5m 開始，往上大約有 25 層，六次實驗的 ADCP 之設定如表 2 所示，圖 3 則為儀器放置於海底之示意圖。水位計設定

為十分鐘一筆資料，可以測得水位變化以及海底溫度、鹽度的變化，另外 HW2、HW3 兩次實驗期間多架設一台濁度計(OBS)，設定為十分鐘一筆資料，用以測得海底沈積物濃度在大雨前後的變化情形。儀器回收後將 ADCP 記憶體內儲存的流速流向資料以 RS-232 輸入電腦，經轉換後再作進一步處理分析，而水位計與濁度計也一樣經輸入電腦轉換後，再平均成二十分鐘一筆的資料以便作進一步的分析。

2.3 分析方法

ADCP 的資料分析方法如下：將水平方向的 u 、 v 分量速度分別取 20 分鐘平均，再由各層的流向算出平均流向，此平均流向可視為主流方向 (downstream direction)，主流方向並非穩定不變，而是會隨著時間而改變，將流速分解成主流方向(u_s)與橫向分量(u_n)， u_n 的數值很小，本研究並不予使用，漲潮時段取 u_s 為正，退潮時段取 u_s 為負。由 u_s 對距離海底高度 z 的流速剖面分佈，利用對數分佈的公式(1)以最小平方方法迴歸出一條最佳化直線，得到斜率和截距，便可算出 u_* 和 z_0 ，最小平方方法是先以最底部的三個點開始，假如迴歸所得的 u_s 與實測值最大相差不超過 4%，則往上再加一點，再重複上述步驟，一直到誤差超過 4%時便終止，其中流速剖面若不是往上遞增，或是 z_0 超出 0.2m

的界限以及相關係數 r^2 小於 0.8 的剖面，則全部刪除不用，而公式(1)中的 κ 值本研究均取 0.4。本研究六次實驗中，ADCP 資料使用此分析方法之後，KH 剩下 4.5%即 39 筆的資料可用，TK 剩下 7.7%即 51 筆的資料可用，HW1 剩下 28%即 223 筆的資料可用，HW2 剩下 21%即 320 筆的資料可用，HW3 剩下 7.5%即 113 筆的資料可用，HW4 剩下 33%即 254 筆的資料可用，由此也可以發現，ADCP 頻率為 600KHz 的精確度比頻率為 1200KHz 低，因為使用頻率為 600KHz 之 ADCP 的 TK 及 HW3 兩次實驗，其可用資料均比較少。

TD-410 的資料分析方法為：將原始資料中的壓力、導電度以及溫度經過校正檔的轉換之後，得到水深、鹽度以及溫度，然後再將這些十分鐘一筆的資料作平均，成為二十分鐘一筆的資料，可以方便與 ADCP 的資料對照。OBS 的資料分析方法為：將原始資料經過校正檔的轉換之後，得到十分鐘一筆的濁度變化，再平均成為二十分鐘一筆的資料。

三、研究結果

本研究從 KH、TK、HW1、HW2、HW3、HW4 的實測記錄中，分別選出資料較好的 7 天時間序列來做比較；其中 KH、TK、HW1、HW2 四次實驗為主要的研討對象，而以 HW3、HW4 之分析結果討論季節變化對後灣潮流剖面之影響，用以彌補 HW1、HW2 之不足（將於第四章討論中說明）。以下是針對 KH、TK、HW1、HW2 四次實驗的分析所得到的速度剖面之結果。

3.1 流速剖面的分類

流速剖面的分佈大致上可分成(A)流速由海底往表層遞增、(B)流速由海底往中層遞增然後往表層遞減和(C)不規則分佈三大類型，其中流速由海底往中層遞增然後往表層遞減的類型又可分成兩種，一種是(B1)流速最大值出現於中層(距海底約 5~6m)，另一種則是(B2)流速最大值出現於下層(距海底約 2~3m)。一般來說，流速較大的剖面多符合 A 類型，流速較小的剖面則為 B 類型，而流速最小的剖面則屬於 C 類型，而且流速相對於潮位有延遲的現象，在高高潮(higher high water)及低低潮(lower low water)附近流速最大，高低潮及低高潮附近流速其

次，而漲潮中段及退潮中段流速最小，所以流速剖面類型會隨水位變化而有所不同。圖 4 及圖 5 為四次實驗中篩選出具代表性的流速垂直剖面與其相對時間之水位的對照圖，由圖可以發現上述類型的流速剖面各別分佈於不同的潮時，其中 A 類型大多出現於高高潮開始退潮的時段(如圖 5(d)中 HW2 的剖面 2)，或是接近低低潮的時段(如圖 5(b)中 HW1 的剖面 3)，而 B1 類型則大多是在退潮後段或高低潮、低高潮附近(如圖 4(b)中 KH 的剖面 2)，B2 類型則是在漲潮前段居多(如圖 5(d)中 HW2 的剖面 1)，而漲潮後段則多為 C 類型。

由原始資料中流速垂直剖面的總流速與流向之關係，可以發現在上述流速由海底往表層遞增的 A 類型中，其流速較大，且流向均由表層往底層順時針旋轉，另一方面，其他類型的流速剖面則其流向多為由表層往底層逆時針旋轉且流速較小。因為流速剖面經過分析之後，只取用底部符合對數剖面之點數，所以只有流速由海底往表層遞增的類型才能幾乎整個剖面都符合，其餘類型則只有底部數點符合，因此不同類型的流速剖面，其受底部影響的對數層高度也不相同。

3.2 流速剖面的分佈

圖 6 和圖 7 為四次實驗在連續約 10 小時內的流速剖面隨時間分

佈圖，其中圖 6 為漲潮到退潮時段，而圖 7 則為退潮到漲潮時段，圖中的點代表實測資料，而實線則為以最小平方迴歸(1)式所得到的最佳直線。由圖可知 TK 的流速剖面一般而言均會有隨著高度 z 的增加而有流速增加的趨勢，在轉潮的時段有些流速剖面的最大流速發生於第 5 或第 6 個 bin，也就是在距離海底約 3~4 公尺高的位置，再往上則流速反而會變小。另一方面，KH 與 HW1、HW2 的流速剖面大部分只有海底上方數點(4 ~ 5 公尺)符合對數公式(1)的分佈，再往上則流速開始減少或增加而偏離對數分佈。另外剖面也有隨流速越大而斜率遞增(或 u_* 增大)的現象，在轉潮或流速較小時，流速剖面均比較混亂，且底層與上層流向也相反，這種剖面由於無法迴歸所以刪除不用，一般而言流速剖面越符合(1)式則 log layer 層的高度也較大。

圖 8 為四次實驗第五個 bin(U_{s5})隨時間的流速棍棒圖，其中以 TK 流速最大，最大流速可達 0.8 m/s ，HW1、HW2 其次，最大流速達 $0.3\sim 0.4 \text{ m/s}$ ，而 KH 流速最小，最大流速僅為 0.2 m/s ，其漲退潮流向均與其海岸線相平行。

3.3 摩擦速度 (u_*)

圖 9 是上述四次實驗的 u_* 隨著時間的連續變化圖，當地的同步水

位變化也畫於圖中參考，由圖可知 TK 的 u_* 值較大，最大可達到 6 cm/s，而 HW1、HW2 的 u_* 值其次，最大可達到 4 cm / s，KH 的 u_* 值最小，最大僅達 2 cm / s 這樣的結果和測站的地理位置有關，位於外海的測站由於沒有陸地的限制，其海流流速自然比起港內的測站大，因此 u_* 的值也就比較大。此外，Lueck and Lu (1997) 發現 u_* 隨著時間的變化趨勢呈現出規則的潮汐週期，其實驗條件與本文類似，均是以一台 ADCP 錨碇於底層，且實驗期間的層化現象並不明顯，本研究的實驗結果也發現 u_* 隨著時間的變化有近似潮汐週期的變化趨勢，其中 KH 沒有明顯層化現象(圖 23(a)、(b))，但是其合理剖面太少，可能是因為流速太小使得流速剖面比較不規則所造成的，只有在 4 月 10 日到 11 日才有足夠的點數可以看出 u_* 隨潮位的變化，而 TK 的合理剖面

也偏低，是因為其使用誤差較大的頻率為 600KHz 之 ADCP 所造成，但 TK 與 HW1、HW2 的 u_* 則與潮位幾乎同步變化。其中在 KH 及 TK 的 u_* 變化週期約以半日(semi-diurnal)為主，而在 HW1 及 HW2 的 u_* 變化週期則似乎是以全日(diurnal)為主(圖 9)，這似乎也是和當地潮汐的特性息息相關。根據黃等人(1993)指出，高雄和東港的潮型主要為混合潮偏半日潮，而後灣的潮型則較偏向全日潮，調和分析的結果將

於 3.6 節中說明。

3.4 粗糙長度 (z_0)

圖 10 為粗糙長度隨時間的變化圖，當地的同步水位變化也畫於圖中參考，四次實驗的 z_0 均相當雜亂，看不出有潮汐的影響。一般而言， z_0 的值大部分均分佈在 cm 大小的範圍。Lueck and Lu (1997)指出在統計的意義上， z_0 的誤差本來就比 u_* 要大，而且必須有非常靠近海底($z < 3.5\text{m}$)的流速剖面測量才能得到較準確的 z_0 。根據 Lueck and Lu (1997)統計 z_0 的結果發現，在誤差小於 1% 標準下的合理 z_0 中，有大約 70% 的 z_0 值小於 0.05m，而且有 33% 的 z_0 值小於 0.01m，顯示大部

分的 z_0 值均小於 0.05m，由本文圖 14 的 z_0 統計圖可以發現只有 TK 有此趨勢，其有 53% 的 z_0 值小於 0.05m，而且有 27% 的 z_0 值小於 0.01m。另外，本研究利用 Cheng et al., (1999)中所提到的 Log-Averaged 的方法，將四次實驗的每一個 z_0 值取 $\ln$ 之後再加以平均，平均後的值取 $\exp$ 即得到四次實驗之平均值，如下式所示，這樣的平均方法所得到的結果大概是直接取平均結果的數分之一而已，

$$z_{0_{\log}} = \exp \langle \ln(z_0) \rangle \quad (4)$$

其中 $\langle \rangle$ 代表算術平均，結果 KH 所得到的 z_0 平均值為 0.0755m，而 TK 為 0.0226m，HW1 為 0.0587m，HW2 為 0.0699m，發現 TK 值最小，KH 值最大，且 HW2 值比 HW1 值大，本研究所得之 z_0 平均值均比 Friedrichs et al.(2000)、Cheng et al.(1999)、Green and McCave(1995) 以及 Soulsby(1983)大接近十倍，而與 Sanford and Lien(1999)、Howarth(1998)中夏季的值、Lueck and Lu(1997)、Anwar(1996)、Gross et al.(1992)以及 Schauer(1987)所得到的結果相近。

本研究的 ADCP 第一個 bin 約離海底 1.5~2m，靠近海底的流速值不多，因此 z_0 的結果較亂也是可預期的。圖 11 是 z_0 隨著 u_{s3} 的變化圖，其中 u_{s3} 是第三個 bin(即位於 2.25~2.88 mab，mab 為 meter above bottom)的流速，由圖可知在 TK 中 z_0 有隨著流速增大而遞減的趨勢，在 KH、HW1 及 HW2 的結果則較不明顯，根據 Cheng et al.(1999)的結果表示， z_0 與參考速度有相關性，當參考速度也就是離海底 1.56m 的流速(U_{156})大於 25~30cm s⁻¹ 時， z_0 會隨著流速的增加而有呈線性減少的趨勢，而當 U_{156} 小於 25~30cm s⁻¹ 時，則沒有相關性。類似的結果也曾經在 Schauer(1987)的文章中被提出，但是在 Lueck and Lu(1997)

的研究中則沒有發現，這主要還是與量測點的高度以及流速有關。本研究中只有 TK 符合此一趨勢，可能與其流速大於 30cms^{-1} 有關。

3.5 對數層高度

本文是以最小平方方法從底部三點開始往上增加，迴歸出一條最佳直線，迴歸所得的 u_s 與實測值最大相差不超過 4%，而符合對數公式 (1) 的高度即是 log layer 高度，因此 log layer 的高度至少為靠近底部第三點的高度(即為 2.25~2.88 mab)，四次實驗在轉潮期間流速剖面普遍比較亂，造成 log layer 高度在轉潮期間比較低，有些則刪除不用。圖 12 為四次實驗 log layer 可迴歸的點數隨時間的分佈圖，其中 KH 的流速剖面最亂，合理點數太少且有約 50% 只迴歸 3 點(圖 15(a))，因此無法看出潮汐變化(圖 12(a))；而 TK 的流速剖面比較好，所以 log layer 可迴歸的點數也較多，約有 50% 在 6 點以上(圖 15(b))，但點數太少無法看出有明顯的潮汐週期變化(圖 12(b))；HW1 及 HW2 可迴歸的點數為 5 點以上約佔 50%(圖 15(c)、(d))，且合理點數較多，因此可看出有潮汐變化的趨勢(圖 12(c)、(d))，Lueck and Lu (1997) 指出 log layer 高度的變化與潮汐變化一致，本文中 HW1、HW2 也與其 u_* 相同，有偏全日潮的變化趨勢。

3.6 底部拖曳係數(bottom drag coefficient, C_D)

底部拖曳係數 C_D 是一個常用於數值模式中的係數，可結合參考速度 U_r 來推估底床剪應力 τ ，如下式所示

$$\tau/r = C_D U_r^2 \quad (5)$$

其中 ρ 為流體密度，上式(5)為底床剪應力的二次方定律，利用(2)式可以簡化成下式：

$$u_*^2 = C_D U_r^2 \quad (6)$$

其中 U_r 在本文中是取第三個 bin 的流速 U_{S3} 。Cheng et al., (1999) 以一天 144 個 C_D 做平均，共 43 天的時間序列，發現有明顯隨潮汐變化的趨勢，但是其實驗條件與本文不同，其觀測值離海底的距離比本文近，且資料點較密(bin size 較小)。圖 13 是四次實驗的 C_D 或 $(u_*^2)/(U_{S3}^2)$ 隨著時間的連續變化圖，而本文四次實驗中也有 C_D 隨著

潮

汐變化的趨勢(圖 13)，其中以 TK、HW1 及 HW2 的潮汐變化趨勢較明顯，且在潮位最高及最低點時 C_D 值比較小。將所有合理的 C_D 值直

接平均，可以得到 KH 為 0.0188、TK 為 0.01207、HW1 為 0.01591、

HW2 為 0.01589，發現 KH 值最大，而 HW1、HW2 其次，TK 最小，可能與三個實驗地點的底質及流速有關，加上 HW1 的 C_D 值又比 HW2 略大一點，可能是季節層化的影響。我們由圖 16 u_*^2 與 U_{s3}^2 的分佈圖中，也可以發現 HW1、HW2 的相關性比較高，KH 其次，TK 最低。

3.7 調和分析與潮流橢圓

潮型指標(即 $F = [K1 + O1] / [M2 + S2]$)是判別潮汐類型的一個常用指標(Pond and Pickand, 1983)，其值介於 1.5 和 3.0 時為偏全日潮的混合潮型，介於 0.25 和 1.5 時則為偏半日潮的混合潮型，根據黃等 (1993) 的調查結果，KH 的 F 值為 1.33，TK 的 F 值為 1.25，均屬於半日潮分量較具優勢的混合潮型。本文以調和分析方法(Foreman, 1977)來計算潮位資料，所得到的結果指出 TK 的 F 值為 1.28(表 4)，另外 HW2 的 F 值為 1.43，也是屬於半日潮分量較具優勢的混合潮型(表 6)，其中 HW2 的潮型比起 TK 或 KH 要更偏向全日潮，此外因為 KH 和 HW1 的觀測時間均小於 15 天，所以無法計算出 F 的值(表 3 和表 5)。

將流速資料經調和分析(Foreman, 1977)後可得到各分潮的潮流橢圓參數(表 9、10、11、12、13、14、15、16)，四次實驗的潮流橢圓

圖分別畫於圖 17、18、19 和 20，研究結果顯示 KH 及 TK 的潮流是以半日潮流 M2 為主，而 HW1、HW2 則是以全日潮流 K1 為主，Kundu et al., (1981)觀測到潮流橢圓的主軸方向有從表層往底層順時針旋轉的趨勢，但是在本研究四次實驗的潮流橢圓方向中，KH 與 TK 由表層往底層幾乎沒有偏轉的現象(表 9、10、11、12，圖 24(a)、(c)、25(a)、(c))，而 HW1、HW2 兩次實驗的結果，卻是都有由表層往底層逆時針偏轉約 20~30 度的現象(表 13、14、15、16，圖 26(a)、(c)、27(a)、(c))。另外，由潮流的調和分析也可以得到相位角的資料，從四次實驗相位角的垂直剖面可以得知，KH 底層相位比表層慢約 1.2 小時(圖 24(b)、(d))，TK 底層領先表層約 0.3 小時(圖 25(b)、(d))，HW1 底層領先表層約 0.5 小時(圖 26(b)、(d))，HW2 底層落後表層約 0.7 小時(圖 27(b)、(d))。

3.8 濁度變化

在海底邊界層內，懸浮的細粒沈積物濃度是受到底部部分沈積物的再懸浮所影響(Friedrichs et al., 2000)。在本研究的四次實驗中的 HW2，其實驗期間正逢梅雨，因此可用來探討濁度對底床特性的影響。圖 21(d)為恆春的降雨量隨時間分佈圖，發現在 2001 年 5 月 20

日以及 22 日均有比較高的降雨量，比照圖 21 (c) HW2 的濁度隨時間分佈圖，發現濁度在降雨過後均有增高的現象，另外本研究又將 20 分鐘一筆的 HW2 之合理 z_0 值取 $\ln$ ，再每天各別平均後取 $\exp$ 而成為一天一筆的資料，畫成如圖 21 (a)所示之 z_0 值隨時間分佈圖，而 C_D 值則直接取每天之合理資料平均，而成為一天一筆的資料，畫成如圖 21 (b)所示之 C_D 值隨時間分佈圖，可以發現圖 21 (a)及(b)兩圖趨勢相近，而且與圖 21 (c)及(d)兩圖比較後也可以發現降雨及濁度變大時， z_0 與 C_D 值均有變大的趨勢。

四、 討論

4.1 潮汐對流速剖面之影響

本研究之實驗地點均為近岸海域，海流大部分以潮流為主，因此觀測到之流速垂直剖面均受到潮汐作用的影響。而潮流包含了加速以及減速的作用，因此在距海底 3 公尺以內的對數層，其流速剖面會受到潮流加速和減速的影響，所以需要利用下式公式(7)加以修正(Gross et al., 1992),

$$U(z) = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + \beta z \right] \quad (7)$$

其中 β 參數的變化與加速或減速結果有關(Soulsby and Dyer, 1981), 如下式所示：

$$\beta = -\frac{1}{g} \frac{du_*/dt}{u_*|u_*|} \quad (8)$$

其中 γ 為一常數。但是根據 Lueck and Lu (1997)指出其觀測到之流速

剖面的對數層高度均大於 3 公尺，且上層流速剖面大部分偏小於對數剖面，與理論上之加速會造成對數剖面偏小，而減速會造成對數剖面偏大的情況不同，是因為加速及減速的效應並不會延伸到海底上方 3 公尺以上的區域，因此此一現象並不是受到加速及減速的效應所影響，而是受到表層摩擦力作用的影響，而且只有在距離海底 3 公尺的範圍內才需要使用公式(7)做修正，超過此一範圍則不需要。本研究所量測到的流剖面也與 Lueck and Lu (1997)相近，大部分剖面之對數層高度均大於 3 公尺，均不在需要修正的範圍內，且量測到的上層流速資料值大多偏小於由底部迴歸所得之對數剖面，不論在漲潮、退潮、加速及減速的時段均有此現象(圖 6、圖 7)，可能是因為表層摩擦力及轉潮期間表層與底層流向不同的影響。

4.2 流速的效應

在只有考慮流速大小的影響下，我們可以選取底質大致相同，但是流速相差甚大的實驗地點做比較。本研究六次實驗中，KH 與 TK 兩次實驗剛好符合此一條件，其中 KH 因為實驗地點位於港內，因此流速比較小，TK 則是因實驗地點位於外海，流速較大，且兩地底質均以淤泥為主。在 KH 與 TK 兩實驗所得之結果，擬以流速剖面、摩

擦速度 u_* 、粗糙長度 z_0 、log layer 高度及底部拖曳係數 C_D 等項各別討論。

1、流速剖面：根據公式(1)及公式(2)可知底部應力與流速成正比，造成流速剖面的斜率也隨著流速增加而遞增。由圖 6 以及圖 7 可以發現四次實驗均有此趨勢，但是在轉潮及漲潮期間因流速變小且表層與底層流向不同，造成流速剖面非常混亂，合理的剖面較少，其中 KH 可能是因為表面淡水在漲潮期間仍然流往退潮方向，而 TK 及 HW1、HW2 則可能是受到在漲潮期間依然流向退潮方向的淨流所影響，所以整體來說，一般流速較大之時段的剖面均比流速較小之時段更符合對數剖面。我們進一步由 KH 和 TK 兩次實驗的比較，發現 TK 的流速剖面比 KH 好，由此可以推知不同地點中，只要底質相同，當中流速較大的地點會有比較好的流速剖面。

2、摩擦速度 u_* ：本文四次實驗結果與 Lueck and Lu (1997)均發現 u_* 隨著時間的變化趨勢呈現出規則的潮汐週期，且根據公式(1)可以推算出 u_* 與流速呈正相關，所以當流速越大時 u_* 也越大，再加上本研究四次實驗之實驗地點的海流均是以潮流為主，且流速相對於潮位有延遲的現象，造成在潮位最高及最低時流速也最大，因此 u_* 會隨著潮汐週

期幾乎同步變化是可以預期的，我們可以在圖 9 中發現四次實驗中均有此一規律性，特別是由圖 8(a)與(b)中更可以明顯發現底質相同的 TK 與 KH 兩地，其流速大的 TK 之 u_* 值比 KH 大約一倍，所以在流速較大的時段或地點，均會有較大且隨潮汐變化的 u_* 值。

3、粗糙長度 z_0 ：本研究中因第一個 bin 離海底的高度均在 1.5m 左右，因此符合條件的資料點較少，造成 z_0 隨潮汐變化較不明顯，且 z_0 值普遍較大(圖 10)。Cheng et al., (1999)指出，因為其觀測資料距離海底比較近且資料點比較密，所以誤差很小並且有隨潮汐變化的現象。

由 Cheng et al., (1999)又提到，當離海底 1.56m 的流速(U_{156})大於 $25\sim 30\text{cm s}^{-1}$ 時， z_0 會隨著流速的增加而有呈線性減少的趨勢，其原因可能為近底層流速大於 $25\sim 30\text{cm s}^{-1}$ 時，底部邊界層的沈積物會受到侵蝕磨耗，進而使底部變的較平滑，因此會有較小的 z_0 ；相反的，當 U_{156} 小於 $25\sim 30\text{cm s}^{-1}$ 時，由於流速太小會造成沈積物開始沈澱與堆積，造成底部邊界層呈現不規則的沙漣形狀，因此會有較大的 z_0 值，所以一樣是淤泥底質的 KH 及 TK，呈現出 KH 之 z_0 平均值大於 TK 約 3.3 倍的情形，加上 TK 流速較大，所以其本身 z_0 值也有隨底層流速增加而減小的趨勢。

4、log layer 高度：log layer 高度與流速剖面的好壞有關，當 log 流速

剖面越接近一直線時，log layer 的高度也就越高，而且 Lueck and Lu (1997)也指出 log layer 高度的變化與潮汐變化一致，在本文圖 12 中也可以發現，當中以 HW1 和 HW2 的變化比較明顯，但是可迴歸的點數卻是以 TK 最多，KH 最少且大多為不合理的剖面，可能是因為流速與 z_0 值成反比，因而流速比較大的地區 z_0 值較低，且 z_0 值較低的地區其底部較平滑，流速剖面比較好，所以 TK 的 log layer 高度比較高，且其合理剖面應該比較多，但其使用誤差較大的 600KHz 之 ADCP，造成合理剖面較少，因此隨潮汐變化趨勢較不明顯。

5 底部拖曳係數 C_D ：由公式(6)以及 Cheng et al. (1999)和 Lueck and Lu (1997)的結果顯示，底部拖曳係數(C_D)有隨潮汐變化的趨勢，在本文圖 13 中也可發現在潮位最高及最低點時，因流速較快，而使 C_D 值較小，更可以發現在流速比較快的 TK 中，其 C_D 值普遍比較小。而且透

過比照底質相當但流速相差甚大的 KH 和 TK，可以發現流速較大的 TK，其 C_D 值普遍比 KH 小，因為一般來說， C_D 值越大代表其流速剖面第三個 bin 的流速 U_{S3} 大於其 u_* 值的倍數越少，也代表此一流速剖面表層到底層的流速遞減越慢，此為底部 z_0 值較高且剪應力較小所造成的結果。相反的，當 C_D 值越小代表其流速剖面的 U_{S3} 值大於其 u_*

值的倍數越多，也代表此一流速剖面表層到底層的流速遞減越快，此為底部 z_0 值較低且剪應力較大所造成的結果，因此可以推知，實驗地點沈積物的顆粒大小以及流速大小均是影響 C_D 值的主要素。

4.3 底質的效應

在只有考慮不同底質的影響下，我們可以選取流速大致相同，但是底質不同的實驗地點做比照，而本研究選擇 KH 與 HW1、HW2 三次實驗，其中 KH 底質以淤泥為主，而 HW1、HW2 則是以礫石為主，且其流速相差不大，以下針對粗糙長度 z_0 及調和分析各別討論。

1、粗糙長度 z_0 ：根據 Log-Average 方法平均 z_0 的結果，我們可以得知流速相差不大的 KH 與 HW1、HW2，其 z_0 值卻是 KH 較大，是因為 KH 的底質為淤泥，而淤泥在流速較低時會有沈澱堆積的現象，造成底部沈積物濃度增加，進而使底部粗糙度加大，而 HW1、HW2 的底質以礫石為主，顆粒較大，在流速比較小時，沈積物的沈澱堆積現象反而較不明顯，造成底部沈積物濃度及粗糙度較低，因此 z_0 值比較低。相反的在流速較大的 TK 中，其底質一樣為淤泥，但其流速卻可以帶動淤泥使底部平滑，而在後灣的底部沈積物顆粒較大，無法被搬動，因而 z_0 值均比 TK 大。

2、調和分析：由調和分析的結果可以發現，KH、TK、HW1 及 HW2 在潮流橢圓的主軸角度之變化方面，因為 KH 及 TK 的底部應力比較小，因此表層與底層潮流橢圓的流向並沒有發現明顯的偏轉(圖 24(a)、(c)，圖 25(a)、(c))，但是在 HW1 及 HW2 兩次實驗，因底部沈積物顆粒較大，不容易被潮流帶動，使得底部應力較大，因而呈現由表層往底層主軸方向偏轉的現象，加上 HW2 的層化現象使得其偏轉角度比 HW1 略大(圖 26(c)，圖 27(c))。

4.4 降雨或濁度的效應

比照圖 21(c)、(d)及圖 22(c)、(d)，可以發現濁度在大雨過後有明顯增加的趨勢，其原因可能是因為雨水將沿岸陸地上的泥土帶入海水中，而慢慢沈積到接近海底時，與海底再懸浮的沈積物會合，而造成底部沈積物濃度增加，產生濁度增高的現象，因此進一步造成底部摩擦力的增加，使得 z_0 及 C_D 值也有隨之變化的趨勢(圖 21(a)、(b)，22(a)、(b))，其中圖 22(a)、(b)中之 8 月 6 日因為沒有合理剖面，所以無法算出平均值，而且 HW3 降雨量比 HW2 多，因此 HW3 濁度比 HW2 大約三倍，且 HW2 和 HW3 的 z_0 及 C_D 值之變化趨勢相近，顯示 z_0 與 C_D 值呈現正相關。

4.5 季節變化或層化的效應

為了瞭解季節變化對於後灣觀測值的影響，本研究引用 HW3 及 HW4 兩次的實驗資料來與 HW1、HW2 相互比較。據 Howarth(1998) 報告，實驗地點有水體層化的現象下，夏季的 z_0 值大於冬季的 z_0 值，因夏季有層化的現象會造成 z_0 值增大。由本研究的 HW1、HW2、HW3、HW4 四次實驗之 z_0 對時間的分佈圖(圖 30)，發現 HW2 在濁度變化較大的 5 月 20 日，其合理點數相對較少(圖 30(b))，而 HW3 在 8 月 28 日之後濁度開始增加，合理點數也相對減少(圖 30(c))。我們將 z_0 值用 Log-Average 方法平均，得到 HW1 為 0.0587m、HW2 為 0.0699m、HW3 為 0.0494m 與 HW4 為 0.0508m，其中 HW3 因為使用誤差較大的 600KHz 之 ADCP，因而可用來平均之點數較少，不適合與其他三次實驗相互比較。但比較 HW1、HW2 和 HW4 卻發現 z_0 值在夏季的 HW1 與冬季的 HW4 相近，可能是後灣在夏季只有些微的層化現象(圖 23 (c)、(d))，無法由 z_0 值觀察到，而且有降雨的 HW2 比 HW1、HW4 大，可能是因為 HW2 降雨較多，而造成底部粗糙度增高的關係。圖 31 為 HW1、HW2、HW3、HW4 四次實驗之 C_D 對時間的分佈圖。在該圖中， C_D 分佈在 0~0.01 內的值不多，且其平均值

分別為 0.0159m、0.0159m、0.0125m、0.0162m，顯示其 C_D 值均大且散亂。圖 26、27、28、29 分別為 HW1、HW2、HW3、HW4 四次實驗調和分析之主軸角度及相位角的垂直分佈圖。由圖 29(a)、(b)可以發現 HW4 上下層主軸角度及相位角變化很小，可見其底部剪應力比較小，相反的，在有降雨的 HW2、HW3 中，由圖 27(a)及(b)發現 HW2 從表層到底層的主軸角度及相位角變化均比 HW4 大。又從圖 28(a)、(b)也可以發現同樣有降雨的 HW3 其主軸角度變化也比 HW4 大，而且相位角變化呈現表層往底層變大後又減小的趨勢。由此可知後灣在夏季及梅雨季節會因為降雨的關係，而使得底部粗糙度比冬季大，而造成夏季及梅雨季節之主軸角度及相位角的垂直變化角度均比冬季大。

五、結論

本研究是利用一台底碇式的 ADCP 以及水位計 TD-410 一起錨碇於海底，實測 10~20 天的流速剖面和水位資料，前後總共完成了六次實驗，由分析所得的結果可以顯示：

- 1、摩擦速度 u_* 值隨時間的變化趨勢與水位一致，從公式(1)可以知道 u_* 值與流速成正比，而且上層流速越大的流速剖面，其流速往底層減小的速率也越快，造成流速剖面比較斜， u_* 值較大。
- 2、粗糙長度 z_0 值與底層流速呈現負相關，即當流速越大時 z_0 值越小。

由 Cheng et al., (1999)發現當離海底 1.56m 的流速(U_{156})大於 $25 \sim 30\text{cms}^{-1}$ 時，底部邊界層的沈積物會受到侵蝕磨耗，進而使底部沈積物表面變平滑，造成底部的拖曳力減小，因此會有較小的 z_0 值；相反的，當 U_{156} 小於 $25 \sim 30\text{cms}^{-1}$ 時，由於流速太小會造成沈

積物開始沈澱與堆積，使得底部邊界層呈現不規則的沙漣形狀，因此會有較大的 z_0 值，此現象與本研究結果的 TK 相近，而屏東後灣是因底部沈積物顆粒較大，且流速小不足以將其侵蝕磨耗，KH 則是流速過小。

- 3、log layer 的高度與流速剖面的好壞有關，也就是當 log 流速剖面越接近一直線時，其 log layer 的高度也越高。一般在轉潮期間，因流速較小且流向較不一致，使得剖面較混亂，因此 log layer 的高度較低；相反的，當流速較大時，因海底沈積物表面變平滑，造成流速剖面接近一直線，因此 log layer 的高度越高，剖面分析出來的結果也越好。
- 4、流速越大的實驗地點其 C_D 值越小。由公式(6)可以得知， C_D 值為 u_* 值平方與第三個 bin 流速 U_{S3} 平方的比值，且因 u_* 值有隨潮汐變化的趨勢，因此 C_D 值有潮汐變化是可以預期的，但在本研究之結果中並沒有發現有明顯的趨勢。而流速增大時， u_* 值隨之增大的速率比 U_{S3} 增大的速率慢，因此可以得知當流速越大時，其 C_D 值就越小，這代表底部應力較小，且沈積物較平滑。
- 5、調和分析結果顯示，四次實驗的潮位均屬於全日潮分量較具優勢的混合潮型，而潮流則是 KH、TK 以 M2 為主，HW1、HW2 以

K1 為主，且四次實驗潮流橢圓的主軸方向均與海岸線平行。屏東後灣在冬季，主軸角度的垂直變化很小，且相位表層稍微領先，在夏季期間，表層與底層的主軸角度相差約 15 度且相位為底層領先約 25 度，是因後灣在夏季及梅雨季節整個水層有層化的現象。

6、濁度會在降雨後增加，因降雨會造成沈積物再懸浮，使底部懸浮沈積物濃度增加，進而使底部摩擦力增加，而 z_0 及 C_D 也隨之增加

六、參考文獻

1. 黃煌輝等人 (1993)：高雄海域海氣象調查研究。台南水工試驗所，研究試驗報告第 140 號。
2. 曾若玄、孫佩君 (1997)：近岸海潮流邊界層特性，第 19 屆海洋工程研討會論文集，台中市，P. 381-385。
3. Anwar H.O. (1996)：Velocity profile in shallow coastal waters, *J. Hydraulic Engineering*, 122, 220-223.
4. Cheng R.T., Chi-Hai Ling and Gartner J.W. (1999)：Estimates of bottom roughness length and bottom shear stress in South San Francisco Bay, California, *J. Geophysical Research*, 104, 7715-7728.
5. Foreman M.G.G. (1977)：*Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*, Patricia Bay Pacific Mar. Sci. Rep. 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Victoria, British Columbia, Canada, 97 pp.
6. Foreman M.G.G. (1978)：*Manual for Tidal Currents Analysis and Prediction*, Patricia Bay Pacific Mar. Sci. Rep. 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Victoria, British Columbia, Canada,

70 pp.

7. Friedrichs C.T., Wright L.D., Hepworth D.A. and Kim S.C. (2000) : Bottom-boundary-layer processes associated with fine sediment accumulation in coastal seas and bays, *Continental Shelf Research*, 20, 807-841.
8. Green M.O. and McCave I.N. (1995) : Seabed drag coefficient under tidal currents in the eastern Irish sea, *J. Geophysical Research*, 100, 16057-16069.
9. Gross T.F., Isley A.E. and Sherwood C.R. (1992) : Estimation of stress and bed roughness during storms on the Northern California Shelf, *Continental Shelf Research*, 12, 389-413.
10. Howarth, M.J. (1998) : The effect of stratification on tidal current profiles, *Continental Shelf Research*, 18, 1235-1254.
11. Johnson, G. C., R. G. Lueck, and T. B. Sanford (1994) : Stress on the Mediterranean Outflow plume, 2, Turbulent dissipation and shear measurements, *J. Physical Oceanography*, 24, 2084-2092.
12. Kawanisi, K. and S. Yokosi (1997) : Characteristics of suspended sediment and turbulence in a tidal boundary layer, *Continental Shelf Research*, 17, 859-875.
13. Kundu P.K., Blanton J.O. and Janopaul M.M. (1981) : Analysis of current observations on the Georgia Shelf, *J. Physical Oceanography*, 11, 1139-1149.
14. Lueck R.G. and Y. Lu (1997) : The logarithmic layer in a tidal channel, *Continental Shelf Research*, 17, 1785-1801.
15. Pingree, R. D. and D. K. Griffiths (1974) : The turbulent boundary layer on the Continental Shelf, *Nature*, 250, 720-722.
16. Pond S. and Pickard G. L. (1983) : Introductory Dynamical Oceanography, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 2nd edition.
17. Sanford T.B. and Ren-Chieh Lien (1999) : Turbulent properties in a

homogeneous tidal bottom boundary layer, *J. Geophysical Research*, 104, 1245-1257.

18. Schauer U. (1987) : Determination of bottom boundary layer parameters at two shallow sea sites using the profile method, *Continental Shelf Research*, 7, 1211-1230.
19. Schlichting, H. (1979) : Boundary-Layer Theory, McGraw-Hill Company, 817 PP.
20. Soulsby R.L. (1990) : Tidal-current boundary layer, In : The Sea (ed., B. Le Mehaute and D.M. Hanes), John Wiley and Sons, Inc., pp.523-566.
21. Soulsby, R. L. and Dyer, K. R. (1981) : The form of the near-bed velocity profile in a tidally accelerating flow, *J. Geophysical Research*, 86, 8067-8074

表 1 六次實驗的時間、地點與量測之資料

實驗代號	KH	TK	HW1	HW2	HW3	HW4
地點	高雄港內	東港外海	後灣	後灣	後灣	後灣
日期	2000 4/7 4/19	2000 6/19 7/15	2000 9/22 10/3	2001 5/4 5/24	2001 8/20 9/10	2000 12/21 2001 1/1
天氣狀況	良好	大浪	良好	大雨	大雨	良好
底質	Mud	Mud	Gravel and Sand	Gravel And Sand	Gravel And Sand	Gravel and Sand
ADCP	YES	YES	YES	YES	YES	YES
水位	YES	YES	YES	YES	YES	YES
濁度	NO	NO	NO	YES	YES	NO
溫鹽度	YES	NO	YES	NO	NO	NO

表 2 六次實驗所使用 ADCP 的設定

實驗代號	KH	TK	HW1	HW2	HW3	HW4
Frequency (KHz)	1200	600	1200	1200	600	1200
Number of bins with good data	25	24	25	20	19	25
Bin Size (m)	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3
Pings Per Ensemble	80	60	80	220	220	80
Ensemble Interval (min)	2	2	2	10	10	2

表 3 KH 潮位調和分析結果

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN KH 2000/04/07 ~ 2000/04/19 NO.OBS.= 287 NO.PTS.ANAL. = 287			
NAME	PERIOD (HR)	AMPLITUDE (m)	PHASE (deg)
M2	12.42	0.1963	120.80
K1	23.93	0.1593	100.80

表 4 TK 潮位調和分析結果

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN TK 2000/06/29 ~ 2000/07/15 NO.OBS.= 372 NO.PTS.ANAL. = 360			
NAME	PERIOD (hr)	AMPLITUDE (m)	PHASE (deg)
K1	23.93	0.2683	174.18
M2	12.42	0.2359	264.48
O1	25.82	0.1834	32.91
S2	12.00	0.1154	359.34
Form ratio = [K1 + O1] / [M2 + S2] = 1. 28			

表 5 HW1 潮位調和分析結果

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN HW1 2000/09/22 ~ 2000/10/3 NO.OBS.= 258 NO.PTS.ANAL. = 258			
NAME	PERIOD (hr)	AMPLITUDE (m)	PHASE (deg)
K1	23.93	0.3521	82.84
M2	12.42	0.2317	21.83

表 6 HW2 潮位調和分析結果

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN HW2 2001/05/04 ~ 2001/05/25 NO.OBS.= 504 NO.PTS.ANAL. = 504			
NAME	PERIOD (hr)	AMPLITUDE (m)	PHASE (deg)
K1	23.93	0.3883	286.29
O1	25.82	0.3053	111.72
M2	12.42	0.2873	83.31
S2	12.00	0.1975	190.73
Form ratio = [K1 + O1] / [M2 + S2] = 1 . 43			

表 7 HW3 潮位調和分析結果

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN HW3 2001/08/21 ~ 2001/09/09 NO.OBS.= 480 NO.PTS.ANAL. = 480			
NAME	PERIOD (hr)	AMPLITUDE (m)	PHASE (deg)
M2	12.42	0.3192	227.2
K1	23.93	0.2713	81.99
O1	25.82	0.2637	146.65
S2	12.00	0.2085	222.21
Form ratio = [K1 + O1] / [M2 + S2] = 1.01			

表 8 HW4 潮位調和分析結果

ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN HW4 2000/12/22 ~ 2001/01/01 NO.OBS.= 249 NO.PTS.ANAL. = 240			
NAME	PERIOD (HR)	AMPLITUDE (m)	PHASE (deg)
K1	23.93	0.3486	227.63
M2	12.42	0.1457	70.33

表 9 KH 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

K1				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.52	3.32	0.011	122.90	48.20
8.22	3.39	-0.051	124.20	49.10
7.92	3.48	-0.022	123.50	49.70
7.62	3.67	-0.015	125.40	51.30
7.32	3.87	0.048	124.40	54.40
7.02	4.14	0.002	123.10	55.90
6.72	4.33	-0.039	122.10	58.20
6.42	4.59	-0.013	121.40	59.00
6.12	4.78	-0.099	120.30	61.60
5.82	5.11	-0.101	120.10	63.70
5.52	5.32	-0.079	119.50	65.10
5.22	5.60	-0.125	117.60	67.00
4.92	5.72	-0.137	117.10	67.60
4.62	5.80	-0.126	116.50	68.30
4.32	5.84	-0.088	115.90	68.30
4.02	5.75	-0.093	115.20	67.70
3.72	5.54	-0.035	115.10	68.00
3.42	5.41	0.026	115.30	67.00
3.12	5.22	0.103	115.80	65.90
2.82	5.01	0.251	116.00	66.10
2.52	4.78	0.292	117.40	65.50
2.22	4.33	0.422	117.20	65.80
1.92	3.70	0.425	119.40	65.40
1.62	3.26	0.429	121.10	64.20
1.32	2.81	0.426	121.40	64.50

表 10 KH 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

M2				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.52	5.30	-0.146	122.80	180.40
8.22	5.23	-0.090	123.00	181.40
7.92	5.22	-0.052	123.50	181.90
7.62	5.31	-0.038	122.70	183.90
7.32	5.28	0.006	121.70	184.80
7.02	5.29	-0.006	121.10	186.50
6.72	5.22	-0.031	121.40	187.10
6.42	5.21	-0.003	120.80	187.80
6.12	5.21	-0.045	120.90	188.60
5.82	5.10	-0.044	121.80	189.60
5.52	5.00	-0.085	121.10	189.60
5.22	4.89	-0.123	122.50	189.40
4.92	4.80	-0.067	122.20	189.80
4.62	4.63	-0.157	122.10	188.60
4.32	4.43	-0.136	122.50	188.00
4.02	4.28	-0.091	122.20	187.70
3.72	4.06	-0.119	121.90	184.10
3.42	3.94	-0.125	122.20	182.90
3.12	3.85	-0.115	122.40	182.30
2.82	3.73	-0.074	122.40	180.60
2.52	3.59	-0.081	123.30	180.70
2.22	3.37	-0.158	124.20	178.30
1.92	3.11	-0.148	125.80	174.90
1.62	2.93	-0.152	126.80	172.20
1.32	2.63	-0.187	129.00	169.50

表 11 TK 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

K1				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.42	6.49	-0.412	157.80	16.70
8.12	6.38	-0.359	157.80	16.20
7.82	6.39	-0.428	157.70	15.70
7.52	6.41	-0.437	158.90	15.80
7.22	6.32	-0.351	158.90	15.70
6.92	6.23	-0.368	159.30	15.50
6.62	6.23	-0.488	159.20	15.10
6.32	6.01	-0.374	158.70	14.80
6.02	5.97	-0.352	159.60	15.10
5.72	5.93	-0.270	160.90	16.10
5.42	5.83	-0.346	161.00	15.00
5.12	5.70	-0.330	160.00	15.20
4.82	5.57	-0.327	160.10	15.90
4.52	5.55	-0.273	160.50	16.00
4.22	5.43	-0.279	160.50	16.90
3.92	5.32	-0.248	160.70	17.20
3.62	5.16	-0.217	159.30	16.60
3.32	5.00	-0.212	159.30	16.40
3.02	4.91	-0.160	159.50	17.60
2.72	4.71	-0.059	159.00	16.80
2.42	4.54	0.032	157.60	16.60
2.12	4.36	-0.038	157.20	16.90
1.82	4.28	-0.034	156.30	16.90
1.52	4.17	-0.088	155.60	16.40

表 12 TK 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

M2				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.42	19.18	-0.428	163.50	200.20
8.12	18.80	-0.482	163.40	199.40
7.82	18.34	-0.426	163.50	198.60
7.52	18.03	-0.354	163.40	197.80
7.22	17.67	-0.364	163.50	196.80
6.92	17.34	-0.466	163.50	195.90
6.62	16.88	-0.513	163.60	195.30
6.32	16.52	-0.610	163.20	194.50
6.02	16.07	-0.569	163.60	194.00
5.72	15.61	-0.690	163.90	193.30
5.42	15.19	-0.712	164.10	192.90
5.12	14.73	-0.850	164.50	192.40
4.82	13.99	-0.791	164.40	191.80
4.52	13.63	-0.755	164.30	191.20
4.22	13.10	-0.844	164.50	190.90
3.92	12.74	-0.935	165.20	190.60
3.62	12.22	-0.892	165.40	190.60
3.32	11.57	-0.912	165.10	190.70
3.02	10.99	-1.009	165.60	190.80
2.72	10.43	-0.922	166.10	191.60
2.42	9.88	-0.943	166.50	191.40
2.12	9.40	-0.949	166.30	191.90
1.82	8.93	-0.986	166.90	192.10
1.52	8.28	-0.964	166.00	192.30

表 13 HW1 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增)G：相位角

K1				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.35	9.10	0.241	70.90	273.70
8.05	9.01	0.254	70.40	273.00
7.75	8.85	0.094	70.00	272.40
7.45	8.81	-0.037	70.10	270.60
7.15	8.72	-0.115	71.40	269.60
6.85	8.63	-0.136	71.60	269.00
6.55	8.42	-0.168	71.50	268.20
6.25	8.27	-0.159	71.80	266.70
5.95	8.09	-0.223	72.00	266.10
5.65	7.83	-0.327	72.30	265.10
5.35	7.64	-0.330	72.70	264.70
5.05	7.35	-0.480	73.30	263.40
4.75	7.12	-0.443	73.60	262.00
4.45	6.67	-0.425	73.40	261.20
4.15	6.49	-0.420	73.40	259.80
3.85	6.19	-0.496	74.30	258.80
3.55	5.88	-0.513	74.80	256.90
3.25	5.57	-0.514	75.60	257.30
2.95	5.32	-0.506	76.10	255.40
2.65	4.98	-0.546	77.90	253.50
2.35	4.68	-0.498	78.40	252.80
2.05	4.26	-0.494	78.80	252.30
1.75	3.93	-0.487	80.80	250.10
1.45	3.56	-0.444	80.70	250.90
1.15	3.13	-0.431	83.60	249.30

表 14 HW1 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

M2				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.35	4.40	-0.388	74.30	79.90
8.05	4.40	-0.442	75.70	79.30
7.75	4.42	-0.461	74.50	79.10
7.45	4.51	-0.510	75.10	79.10
7.15	4.62	-0.546	77.00	78.40
6.85	4.66	-0.584	77.50	78.20
6.55	4.73	-0.657	78.60	77.60
6.25	4.78	-0.614	80.10	76.20
5.95	4.82	-0.648	79.50	76.40
5.65	4.82	-0.695	80.30	75.70
5.35	4.78	-0.715	82.40	74.50
5.05	4.76	-0.796	82.50	75.00
4.75	4.74	-0.818	82.70	75.00
4.45	4.62	-0.834	83.20	74.40
4.15	4.60	-0.830	84.20	74.30
3.85	4.48	-0.908	85.70	73.80
3.55	4.35	-0.859	86.00	73.40
3.25	4.28	-0.892	87.00	73.00
2.95	4.19	-0.890	88.00	72.60
2.65	4.00	-0.918	89.20	71.50
2.35	3.84	-0.853	90.00	71.50
2.05	3.72	-0.823	91.80	69.90
1.75	3.45	-0.764	93.30	67.90
1.45	3.18	-0.650	95.40	67.30
1.15	2.84	-0.609	96.60	65.80

表 15 HW2 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

K1				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
10.82	8.19	-1.169	82.90	191.40
10.32	8.17	-1.162	82.50	192.70
9.82	8.08	-1.175	82.70	193.70
9.32	7.97	-1.178	82.70	195.10
8.82	7.91	-1.169	82.70	196.30
8.32	7.79	-1.155	82.70	197.60
7.82	7.73	-1.146	82.50	199.00
7.32	7.60	-1.124	82.50	200.40
6.82	7.54	-1.087	82.70	201.70
6.32	7.45	-1.039	82.80	203.50
5.82	7.31	-1.030	83.00	204.90
5.32	7.18	-0.953	83.30	206.10
4.82	7.00	-0.910	83.60	207.70
4.32	6.82	-0.835	83.70	209.20
3.82	6.53	-0.736	84.60	210.50
3.32	6.15	-0.595	85.10	211.60
2.82	5.74	-0.559	85.80	212.80
2.32	5.22	-0.474	86.60	213.50
1.82	4.57	-0.396	87.20	214.40
1.32	3.76	-0.302	88.10	214.60

表 16 HW2 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

M2				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
10.82	1.99	-0.097	79.00	76.00
10.32	1.98	-0.059	81.60	76.10
9.82	2.05	-0.057	82.60	78.40
9.32	2.11	-0.042	83.10	80.00
8.82	2.26	-0.102	84.40	81.30
8.32	2.37	-0.128	85.80	82.10
7.82	2.46	-0.159	86.00	84.00
7.32	2.57	-0.153	86.50	85.30
6.82	2.66	-0.149	88.10	85.90
6.32	2.76	-0.166	88.70	87.00
5.82	2.86	-0.180	90.10	88.30
5.32	2.92	-0.167	91.00	89.20
4.82	2.97	-0.165	92.30	90.20
4.32	2.95	-0.151	93.50	91.10
3.82	2.85	-0.142	95.20	91.40
3.32	2.69	-0.106	96.70	92.70
2.82	2.45	-0.104	98.30	93.20
2.32	2.13	-0.102	100.70	94.10
1.82	1.82	-0.103	103.60	95.00
1.32	1.42	-0.107	105.40	97.60

表 17 HW3 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

K1				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
10.82	10.62	-0.789	82.00	175.30
10.32	10.54	-0.932	81.30	176.30
9.82	10.32	-1.033	81.80	176.00
9.32	10.26	-1.225	81.50	178.00
8.82	10.23	-1.393	81.70	178.00
8.32	10.10	-1.447	82.00	177.70
7.82	10.02	-1.492	81.30	178.30
7.32	9.90	-1.584	81.70	178.70
6.82	9.87	-1.525	82.20	178.50
6.32	9.82	-1.534	82.70	178.90
5.82	9.65	-1.537	81.80	180.20
5.32	9.52	-1.417	83.10	180.00
4.82	9.36	-1.249	83.60	179.70
4.32	8.90	-1.132	84.80	179.20
3.82	8.48	-0.983	85.60	179.20
3.32	8.09	-0.813	86.70	178.90
2.82	7.59	-0.751	87.40	177.40
2.32	7.05	-0.582	88.10	176.90
1.82	6.19	-0.458	89.30	175.30

表 18 HW3 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

M2				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
10.82	6.31	-0.595	86.10	204.70
10.32	6.14	-0.536	85.80	204.00
9.82	6.04	-0.523	85.50	202.90
9.32	5.86	-0.589	83.50	202.00
8.82	5.59	-0.585	83.50	202.70
8.32	5.46	-0.535	82.90	202.40
7.82	5.23	-0.446	81.70	201.80
7.32	5.01	-0.499	81.30	200.50
6.82	4.80	-0.510	80.40	200.20
6.32	4.64	-0.554	80.20	199.80
5.82	4.57	-0.512	80.00	198.70
5.32	4.42	-0.491	79.50	198.30
4.82	4.18	-0.391	78.00	197.30
4.32	4.09	-0.414	78.70	196.80
3.82	3.92	-0.290	77.00	195.60
3.32	3.80	-0.233	75.10	195.00
2.82	3.43	-0.398	76.10	192.30
2.32	3.28	-0.414	77.60	189.70
1.82	2.95	-0.559	79.10	186.50

表 19 HW4 之 K1 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

K1				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.35	7.34	-1.129	81.50	206.90
8.05	7.30	-1.126	81.50	207.10
7.75	7.25	-1.071	81.30	207.60
7.45	7.25	-1.101	81.80	207.80
7.15	7.22	-1.063	81.80	208.00
6.85	7.16	-1.031	82.00	208.40
6.55	7.12	-1.002	82.50	208.50
6.25	7.11	-0.948	82.20	208.80
5.95	7.05	-0.972	82.40	208.90
5.65	6.98	-0.910	82.40	209.40
5.35	6.91	-0.874	83.10	209.80
5.05	6.81	-0.828	83.30	210.30
4.75	6.74	-0.745	83.60	210.20
4.45	6.64	-0.722	83.80	210.80
4.15	6.53	-0.682	84.20	210.50
3.85	6.39	-0.602	84.50	211.00
3.55	6.23	-0.567	85.20	211.30
3.25	6.09	-0.484	85.80	210.80
2.95	5.92	-0.424	86.20	211.20
2.65	5.70	-0.375	86.60	211.00
2.35	5.45	-0.387	86.90	211.30
2.05	5.18	-0.232	87.10	211.60
1.75	4.90	-0.225	87.30	211.80
1.45	4.54	-0.204	88.20	212.90
1.15	4.11	-0.210	88.60	212.90

表 20 HW4 之 M2 分潮的潮流橢圓分析結果，INC：主軸的角度(正東為 0° 逆時針遞增) G：相位角

M2				
Depth(mab)	Major(cm/s)	Minor(cm/s)	INC(°)	G(°)
8.35	6.17	-0.563	85.30	277.50
8.05	6.14	-0.572	85.40	278.20
7.75	6.20	-0.513	86.20	278.80
7.45	6.22	-0.499	85.80	279.70
7.15	6.15	-0.468	87.00	280.10
6.85	6.14	-0.432	86.70	281.20
6.55	6.13	-0.373	87.00	282.00
6.25	6.10	-0.351	87.40	283.10
5.95	6.11	-0.281	87.70	283.50
5.65	6.07	-0.304	87.70	284.40
5.35	6.03	-0.218	88.30	284.60
5.05	5.97	-0.212	88.80	285.60
4.75	5.93	-0.127	89.00	286.90
4.45	5.83	-0.078	89.20	286.70
4.15	5.72	-0.060	89.70	286.80
3.85	5.60	-0.062	89.20	288.00
3.55	5.50	-0.030	90.50	288.20
3.25	5.47	0.041	90.60	288.80
2.95	5.31	0.092	91.90	289.30
2.65	5.15	0.112	91.90	289.80
2.35	5.04	0.129	92.20	289.40
2.05	4.83	0.181	92.90	290.00
1.75	4.61	0.213	93.50	290.30
1.45	4.35	0.144	94.70	290.10
1.15	4.02	0.057	95.90	290.20

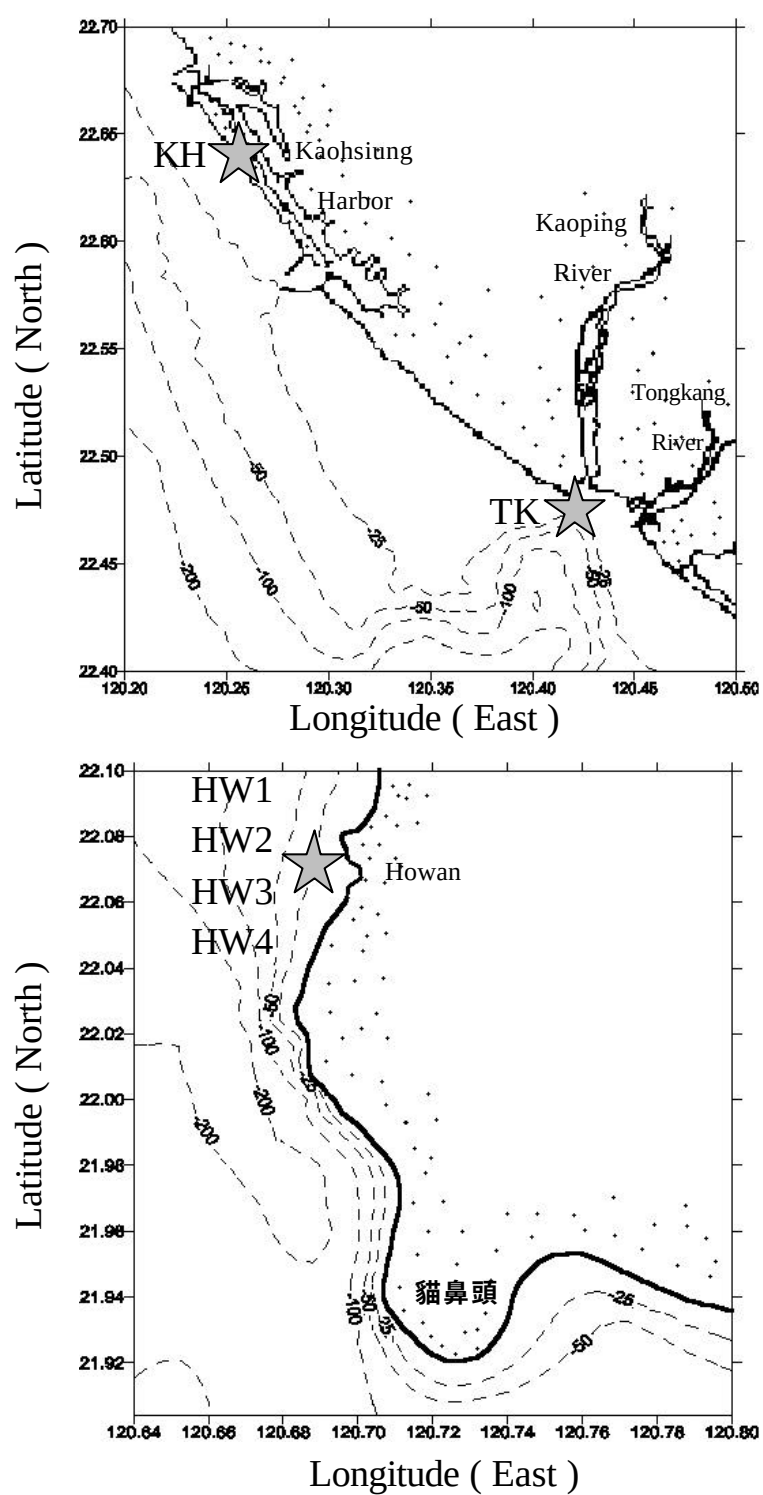


圖 1 海潮流三個測站之地理位置圖

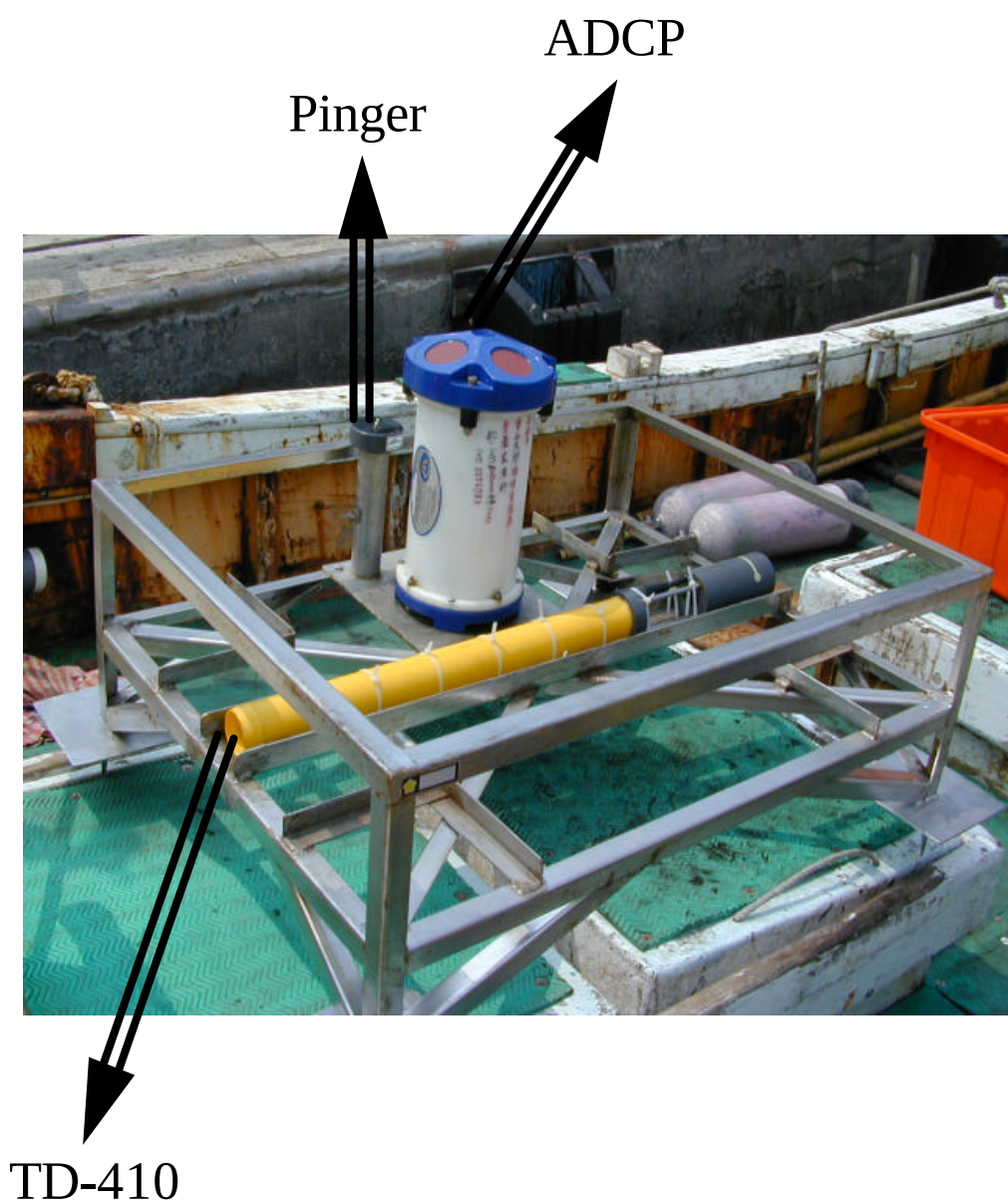


圖 2 ADCP 與 TD-410 安裝於架子上的相對位置圖

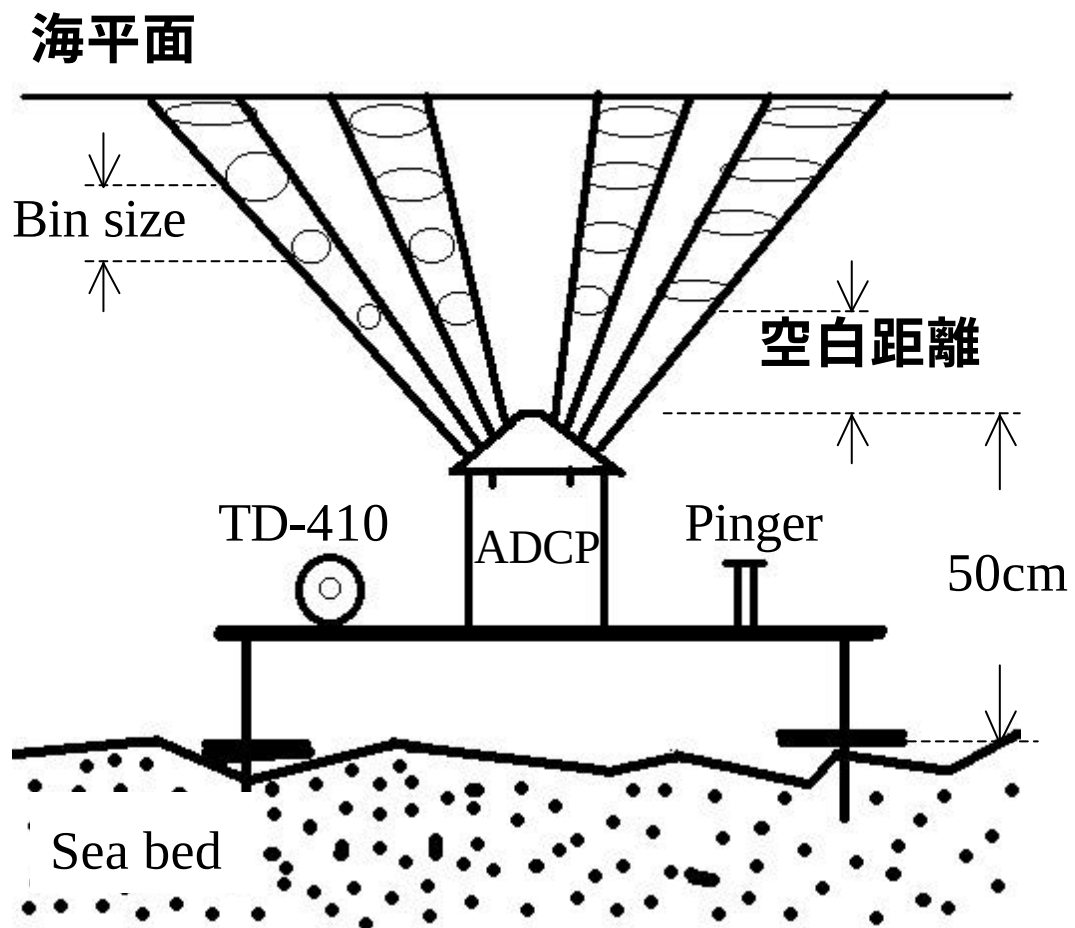


圖 3 儀器放置示意圖

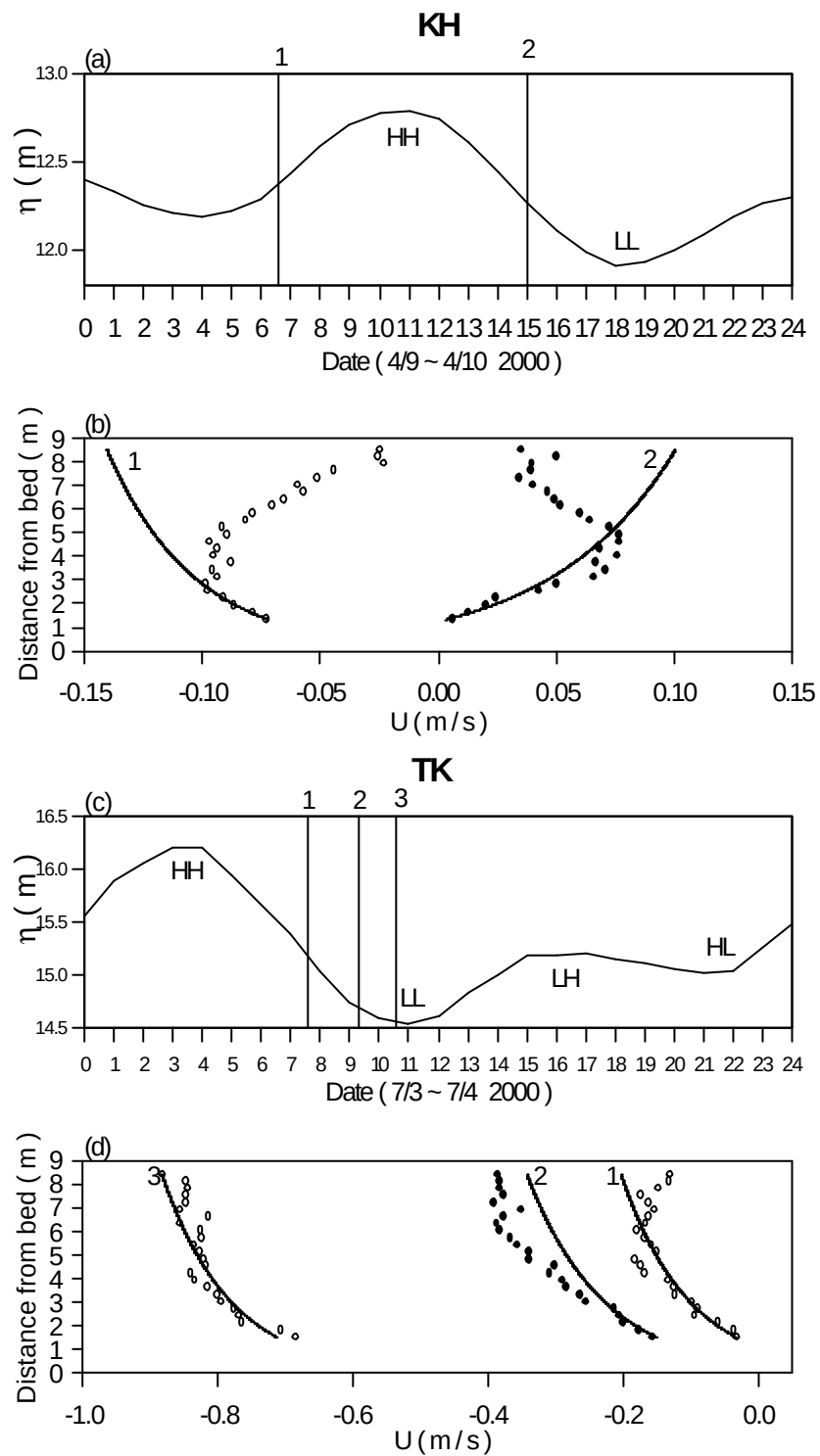


圖 4 KH(a)水位(b)流速剖面及 TK(c)水位(d)流速剖面分佈圖

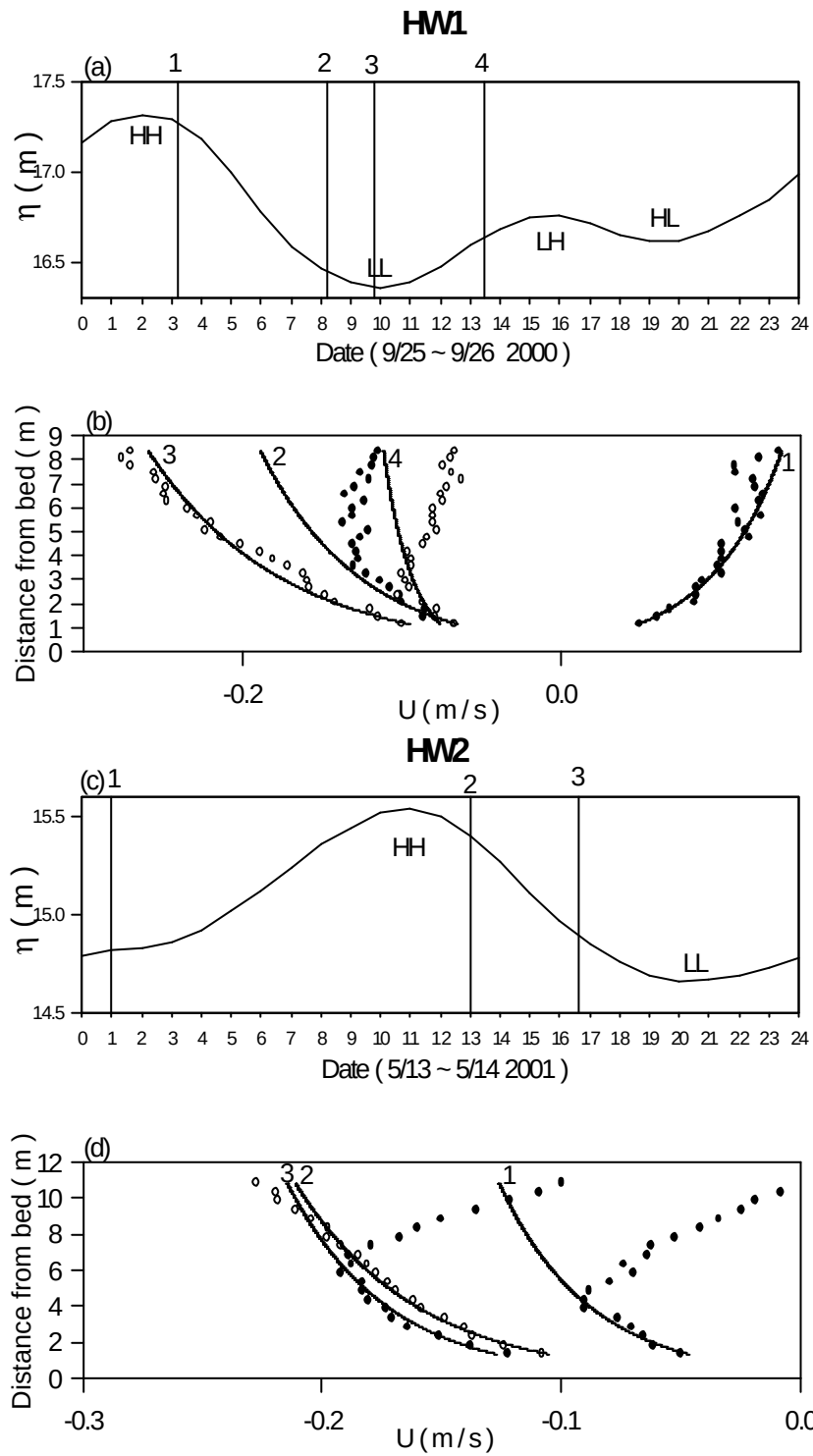


圖 5 HW1(a)水位(b)流速剖面及 HW2(c)水位(d)流速剖面分佈圖

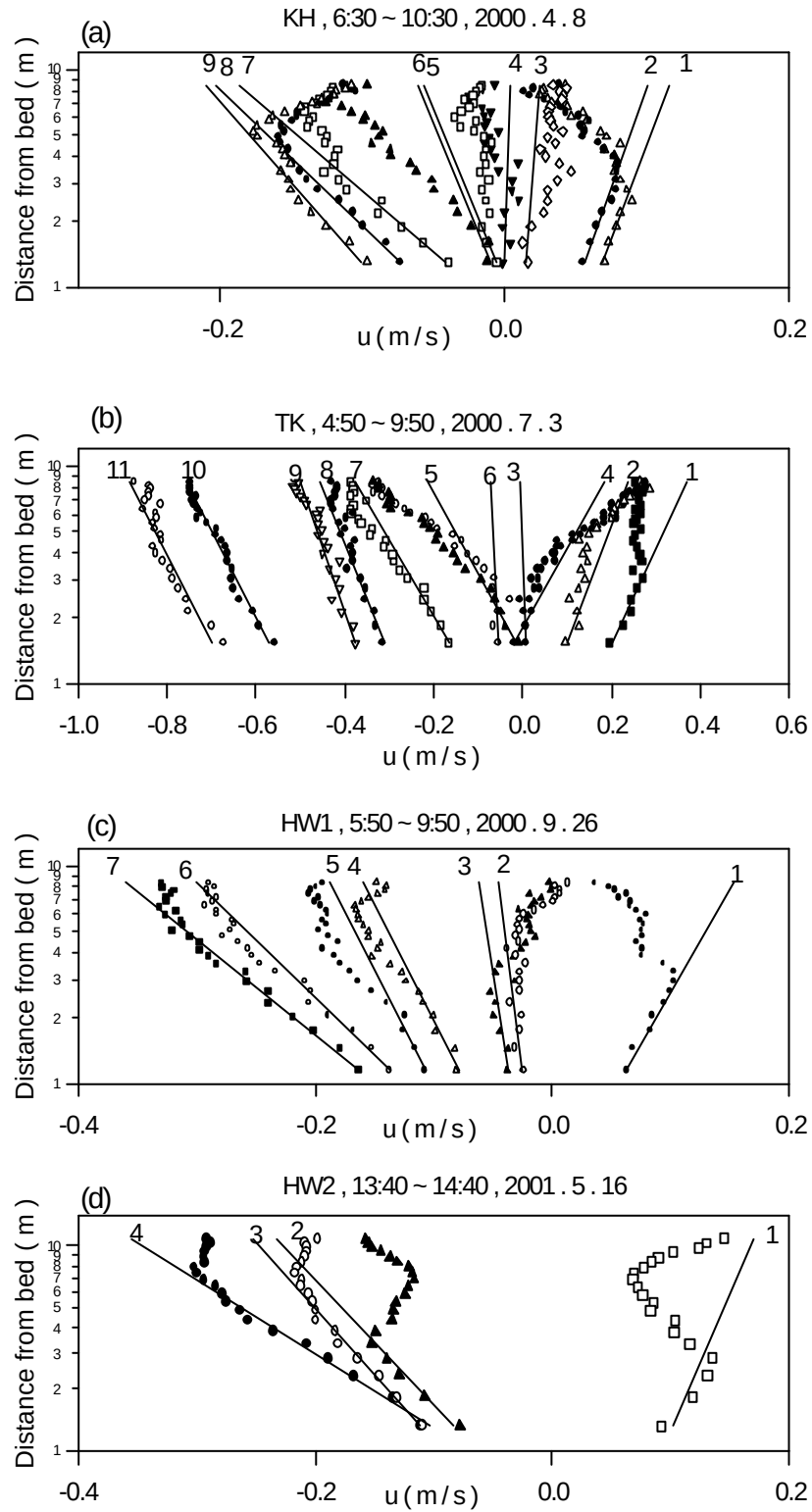


圖 6 四次實驗的流速剖面隨時間每隔 20 分鐘的分佈圖，流速為正值的代表漲潮，負值代表退潮

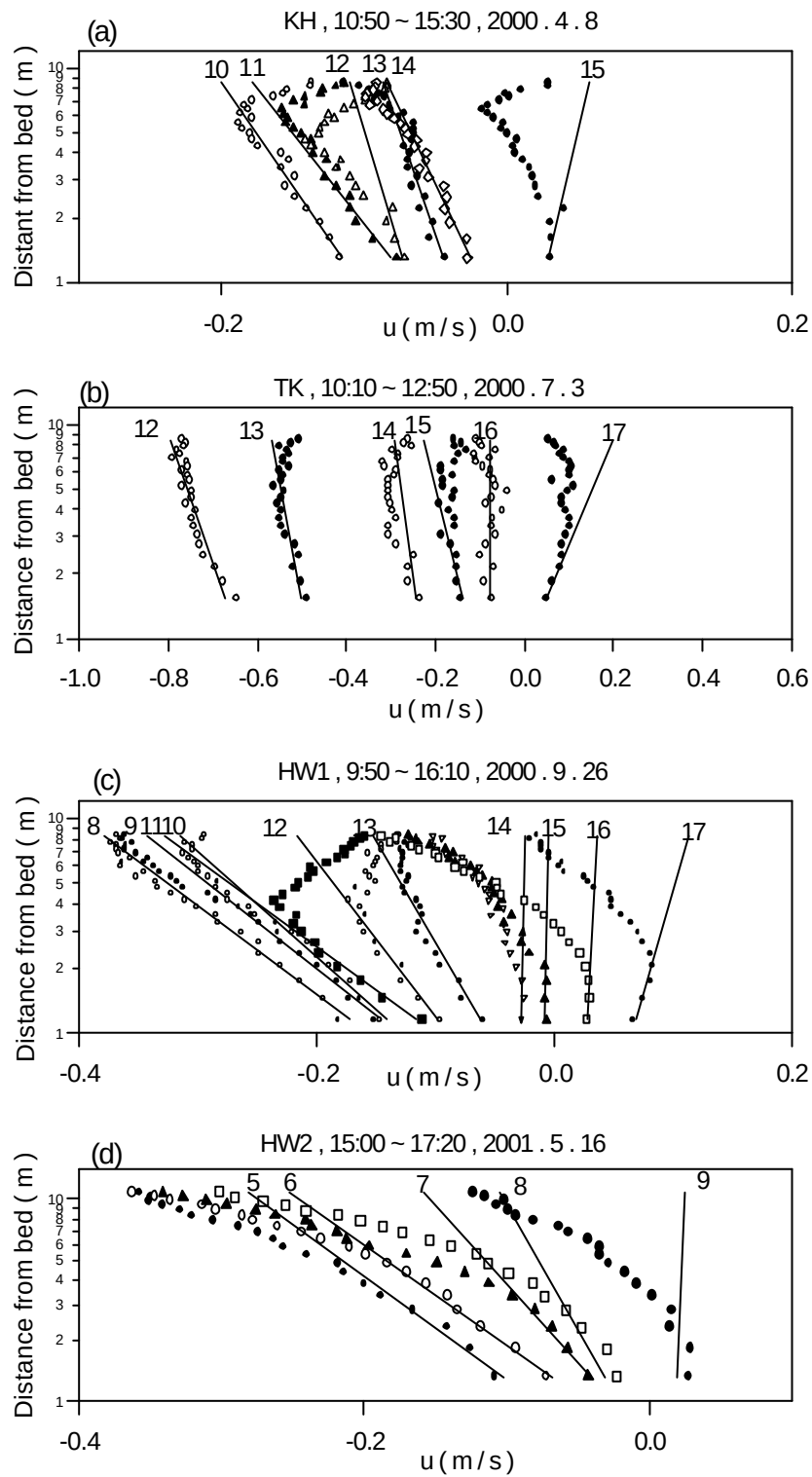


圖 7 四次實驗的流速剖面隨時間每隔 20 分鐘的分佈圖，流速為正值的代表漲潮，負值代表退潮

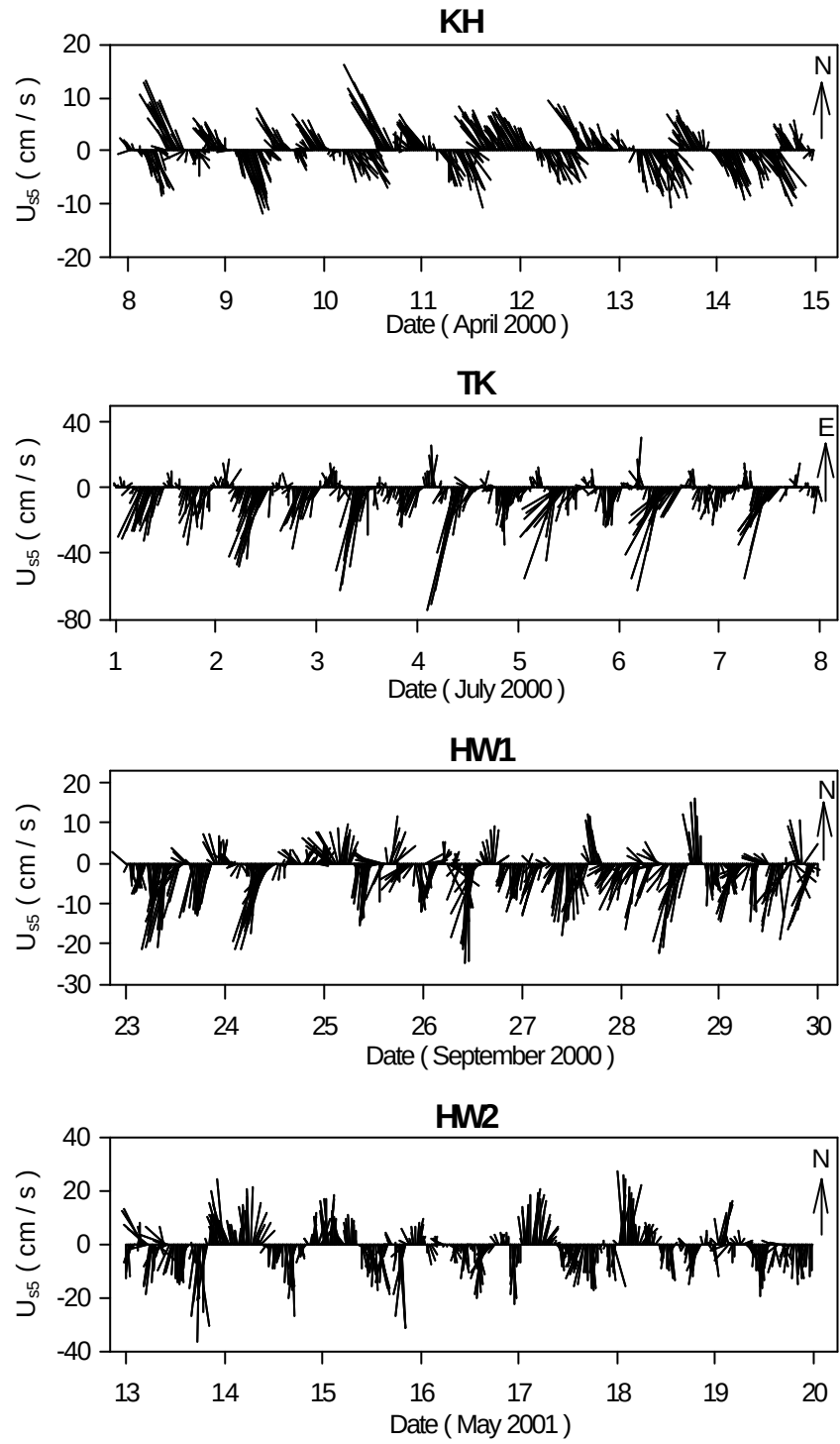


圖 8 (a) KH(b) TK (c) HW1 (d) HW2 之第五個 bin 的流速棍棒圖

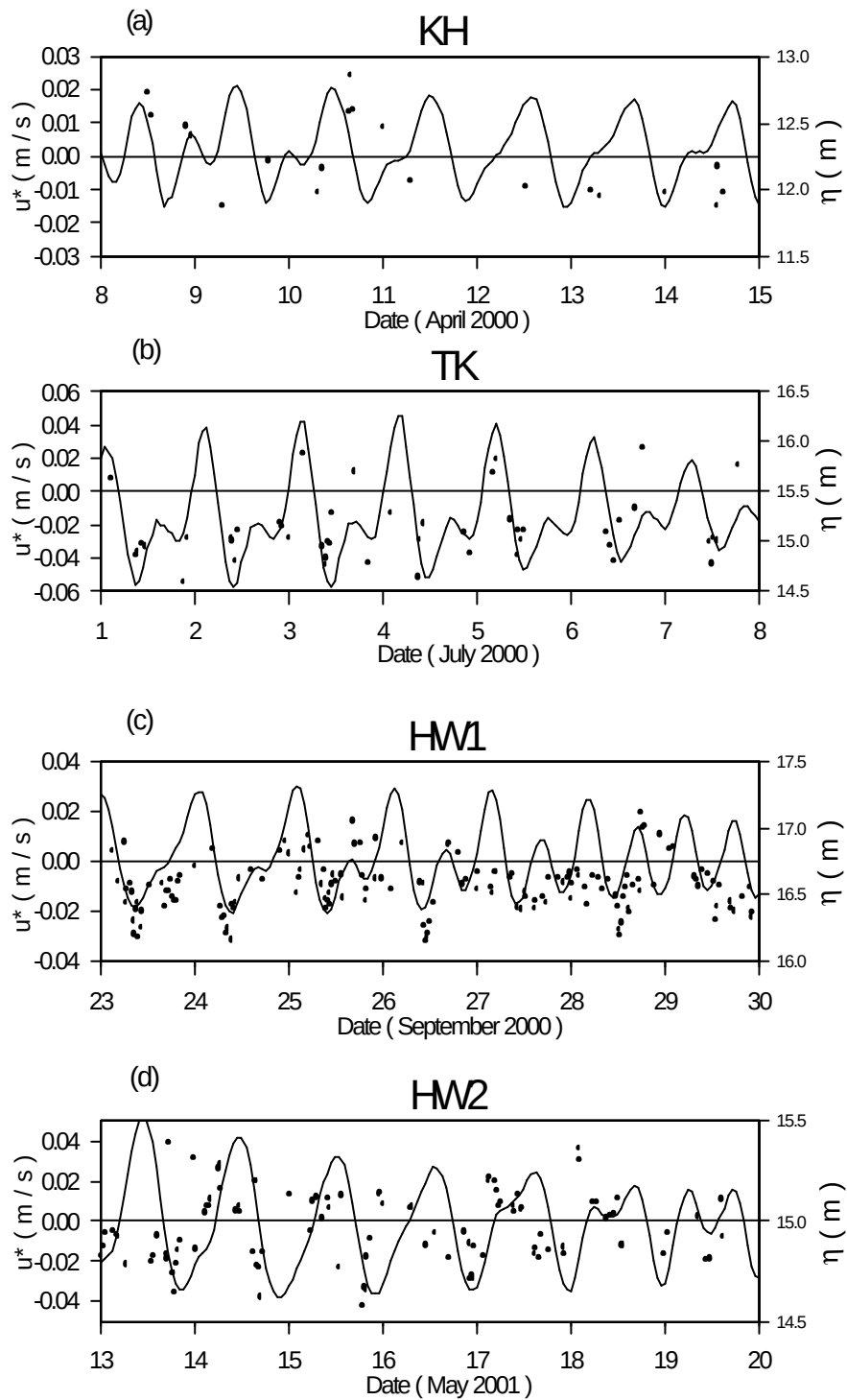


圖 9 (a) KH(b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 u^* (實心圓點)與水位(實線)對時間的分佈圖

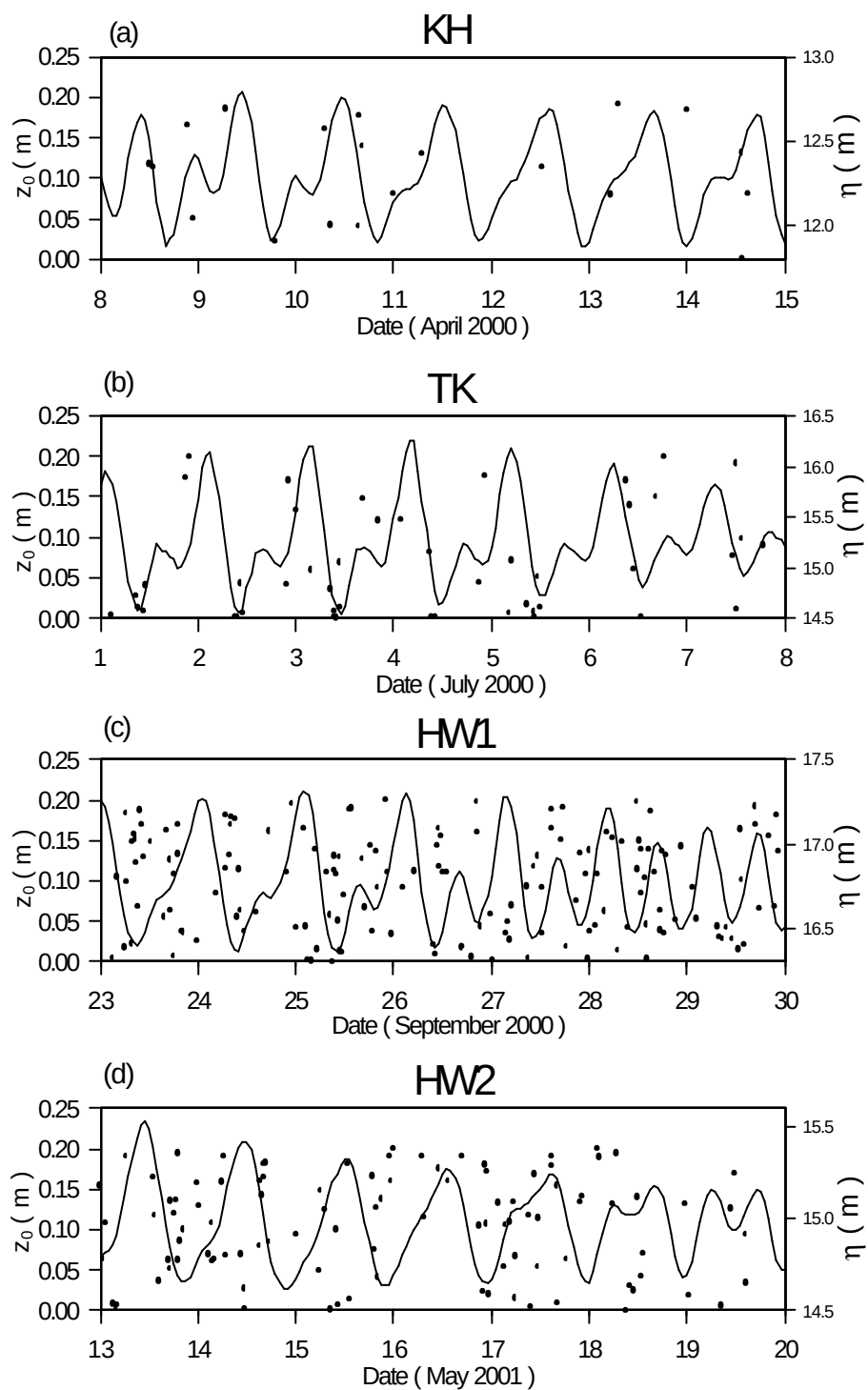


圖 10 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 z_0 (實心圓點) 與水位 (實線) 對時間的分佈圖

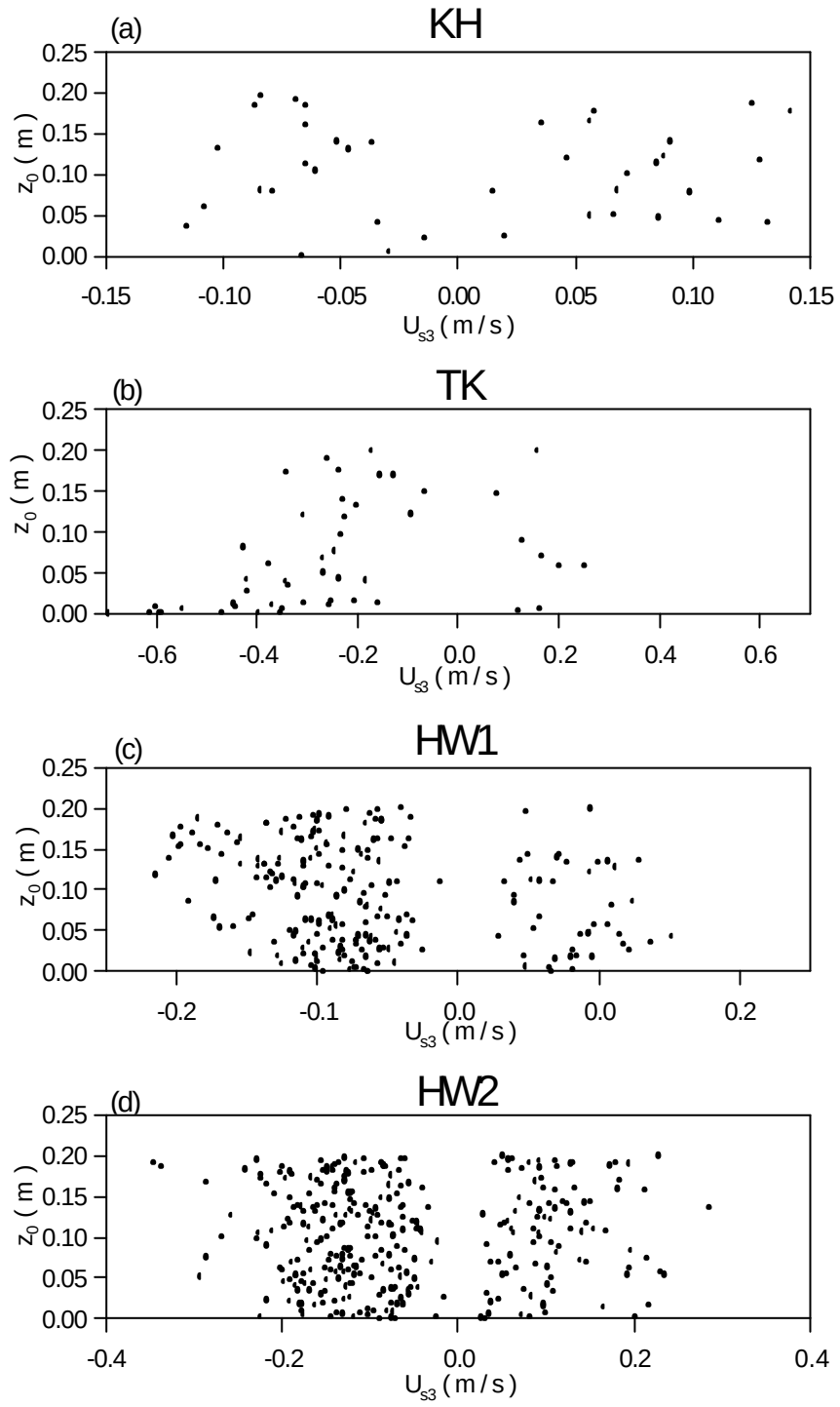


圖 11 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 z_0 對第三個 bin 流速之分佈圖

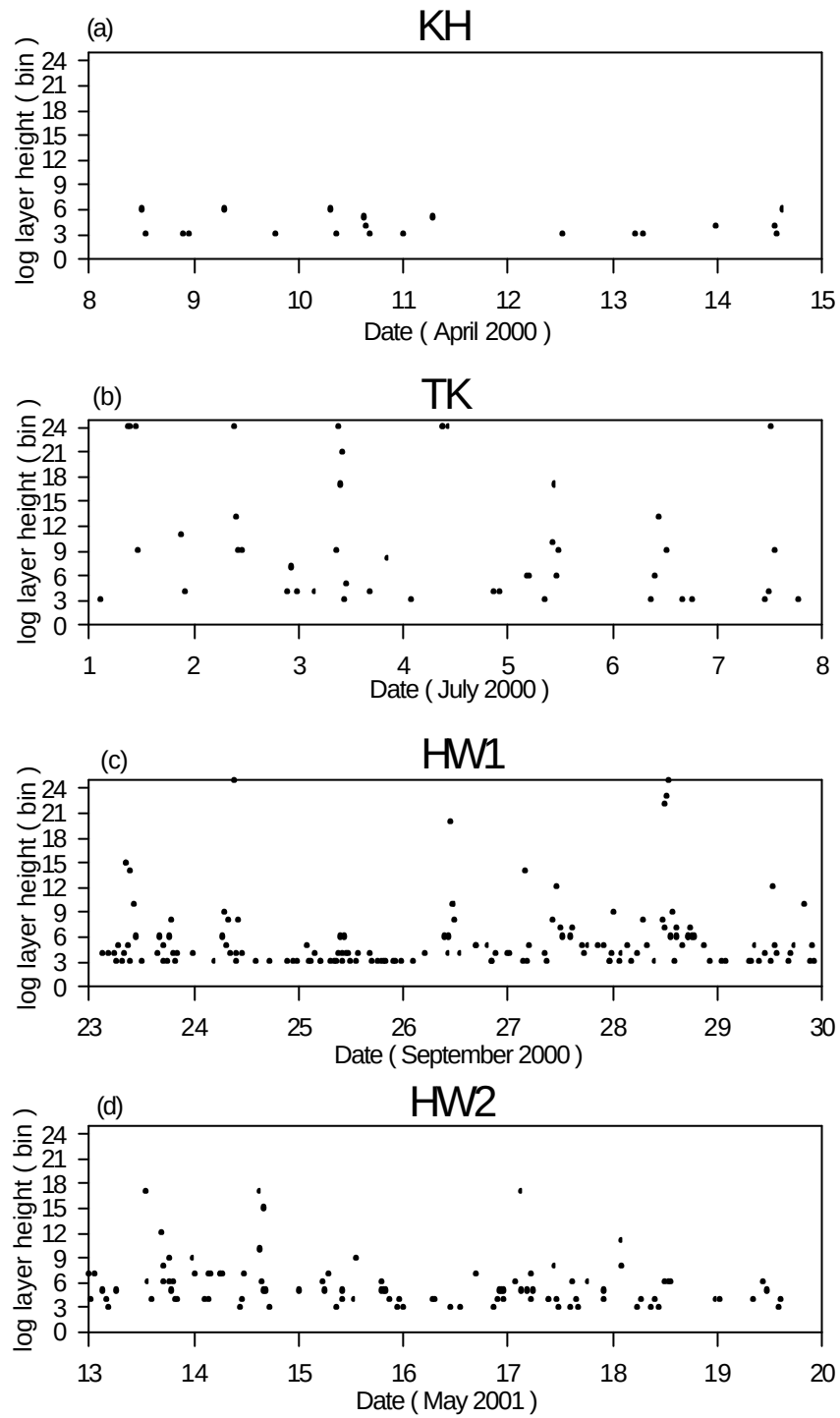


圖 12 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 log layer 高度隨時間之分佈圖

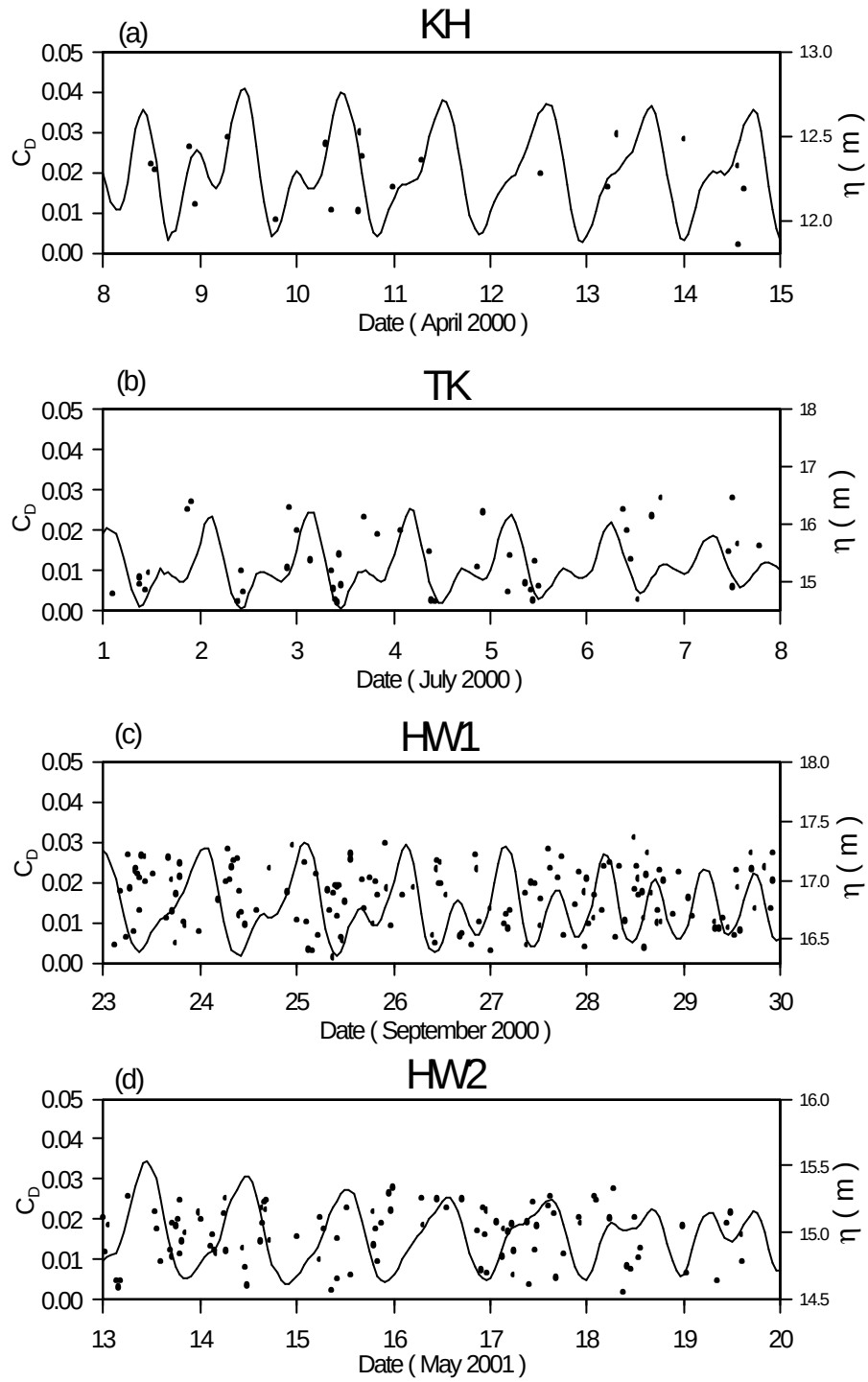


圖 13 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 之 C_D (實心圓點) 與水位 (實線) 隨時間之分佈圖

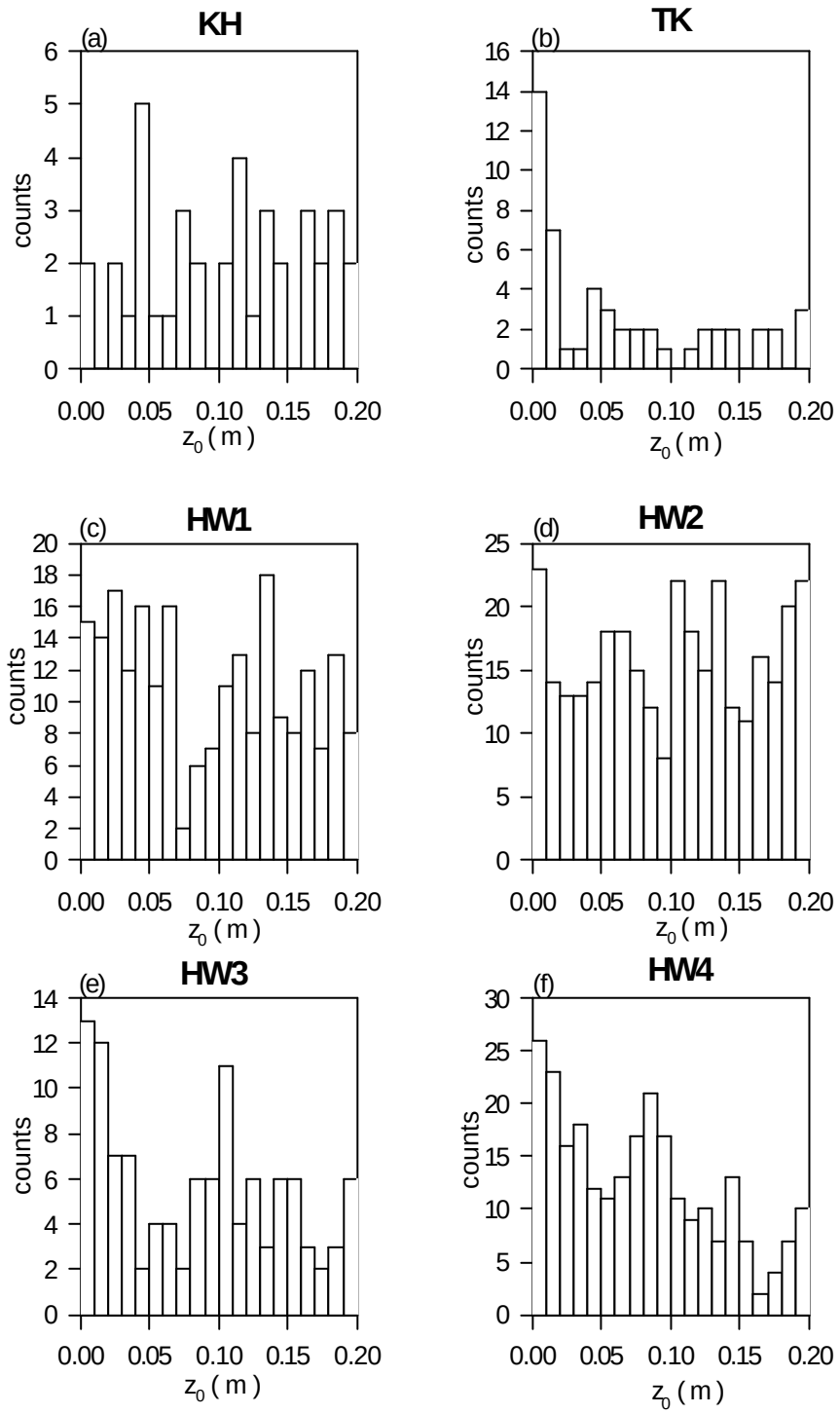


圖 14 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 (e) HW3 (f) HW4 之 z_0 統計直方圖

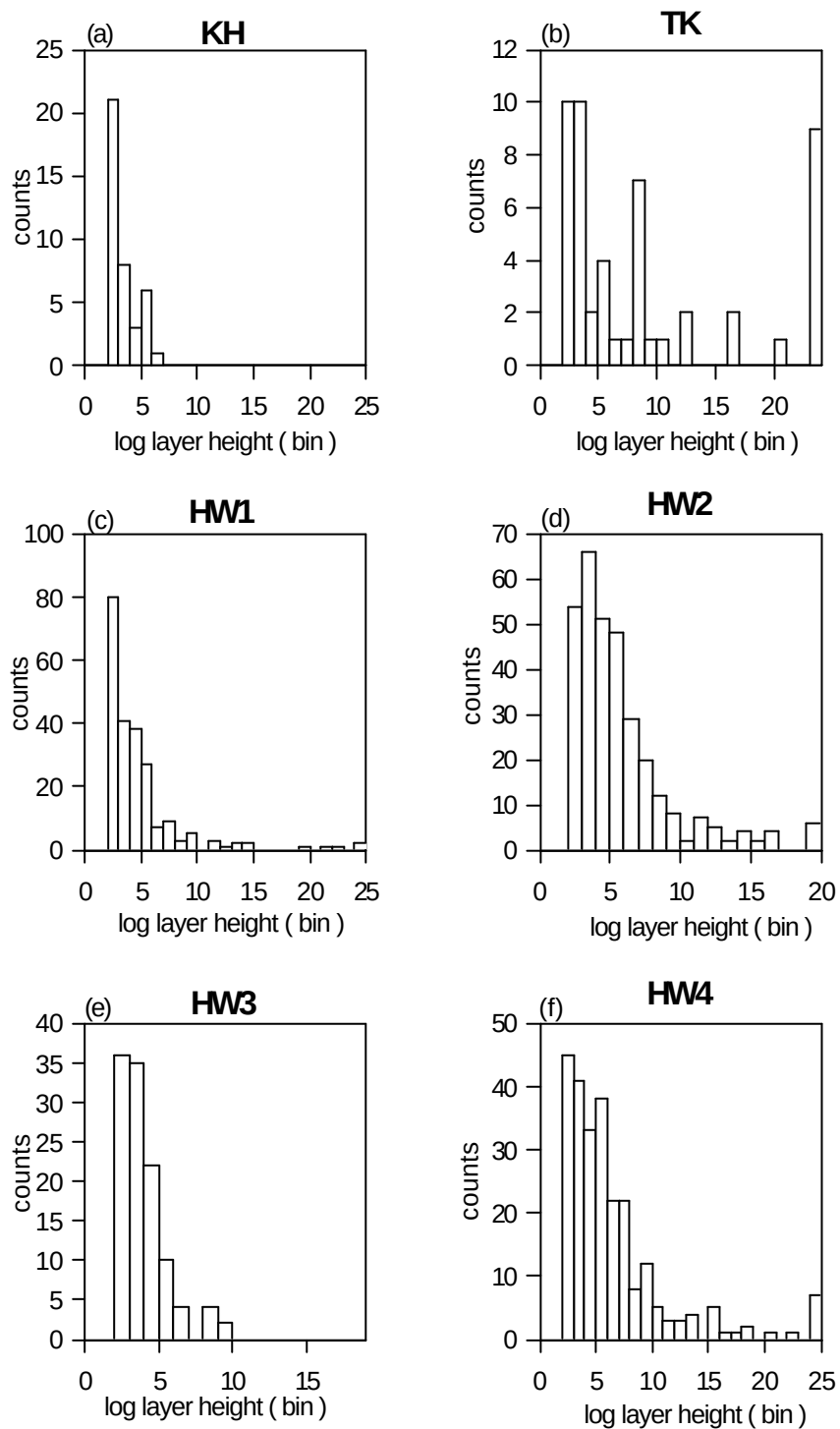


圖 15 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 (e) HW3 (f) HW4 之 log layer height (bin)統計直方圖

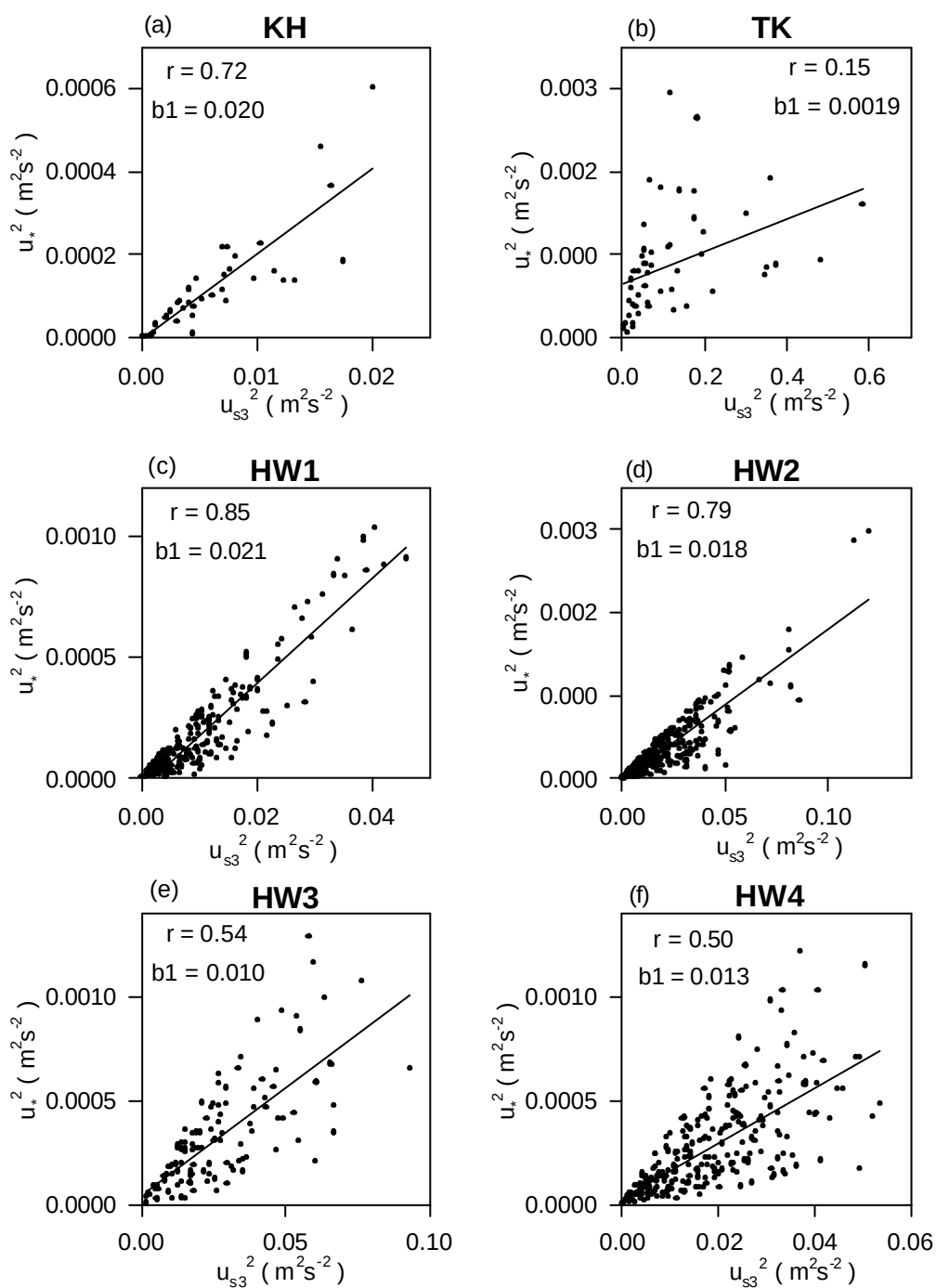


圖 16 (a) KH (b) TK (c) HW1 (d) HW2 (e) HW3 (f) HW4 之 u_*^2 對 U_{r3}^2 的分佈圖

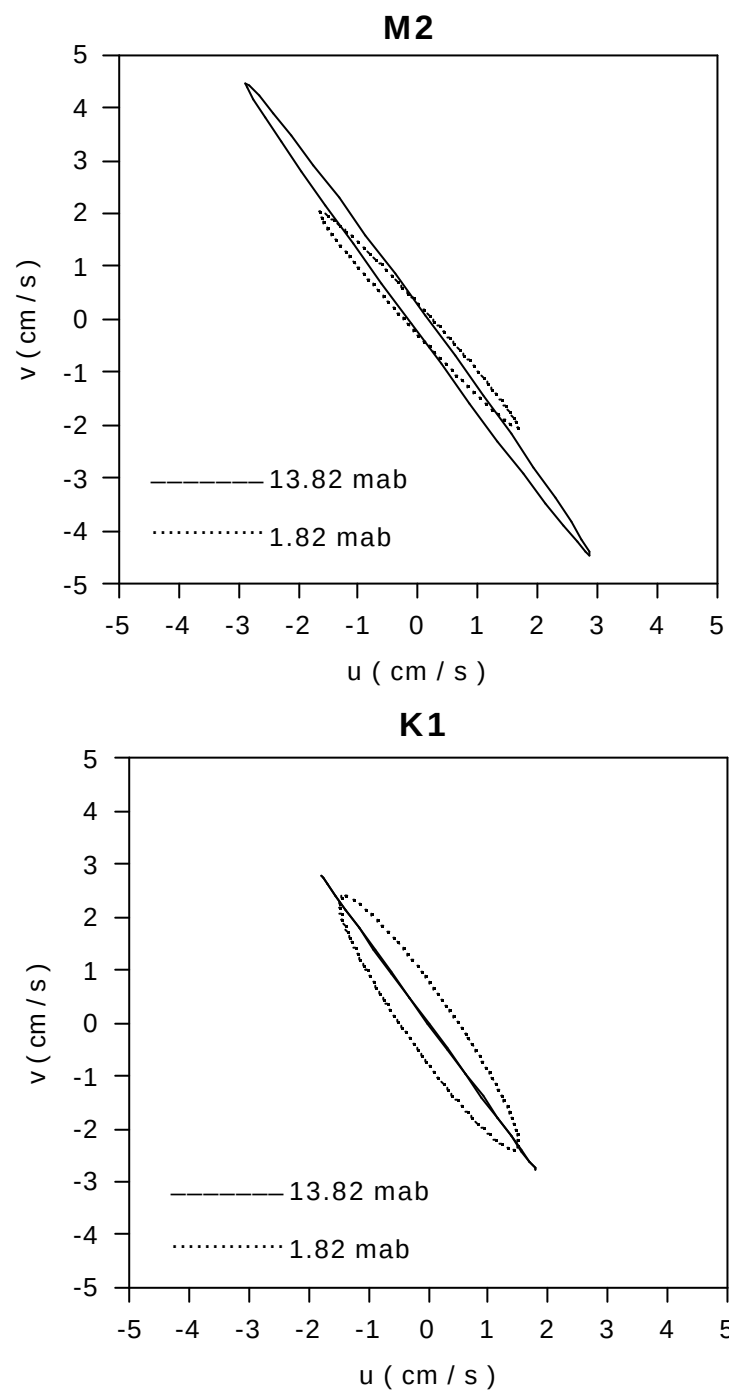


圖 17 KH 之潮流橢圓

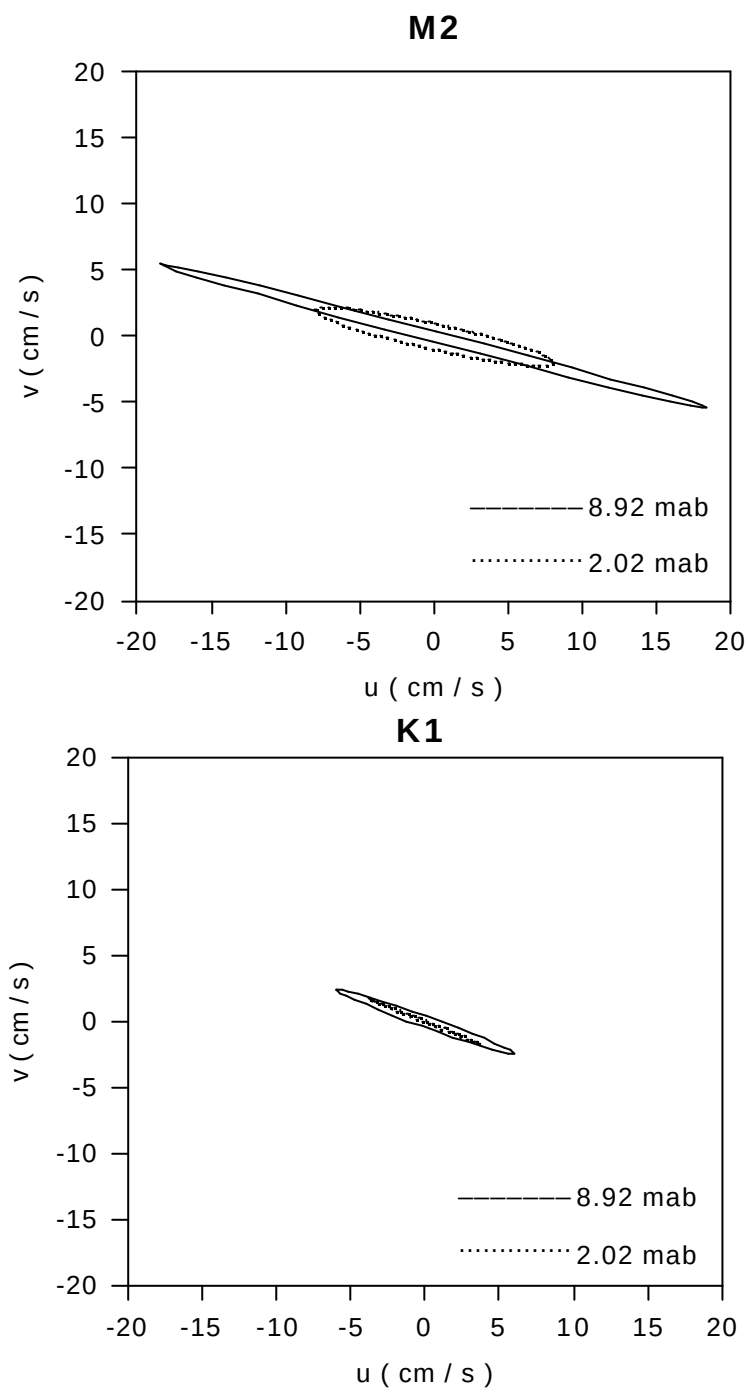


圖 18 TK 之潮流橢圓

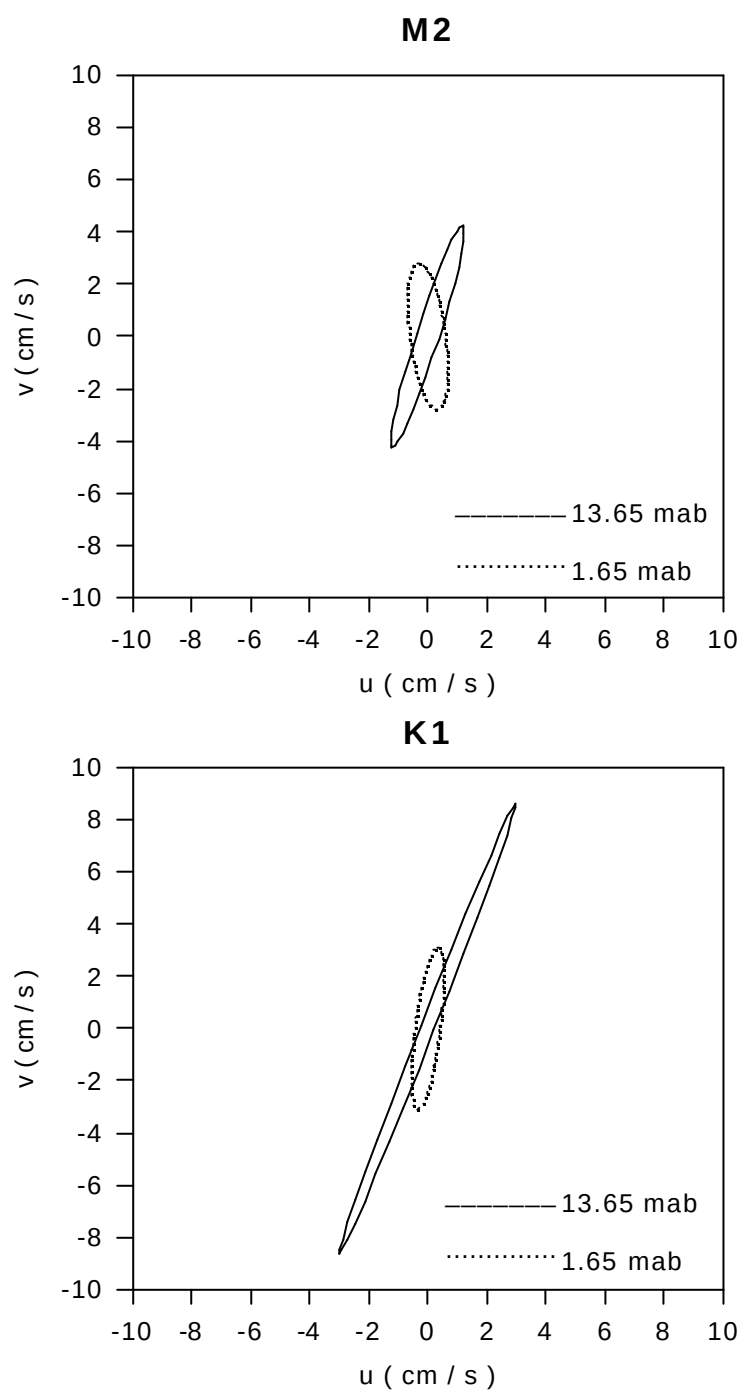


圖 19 HW1 之潮流橢圓

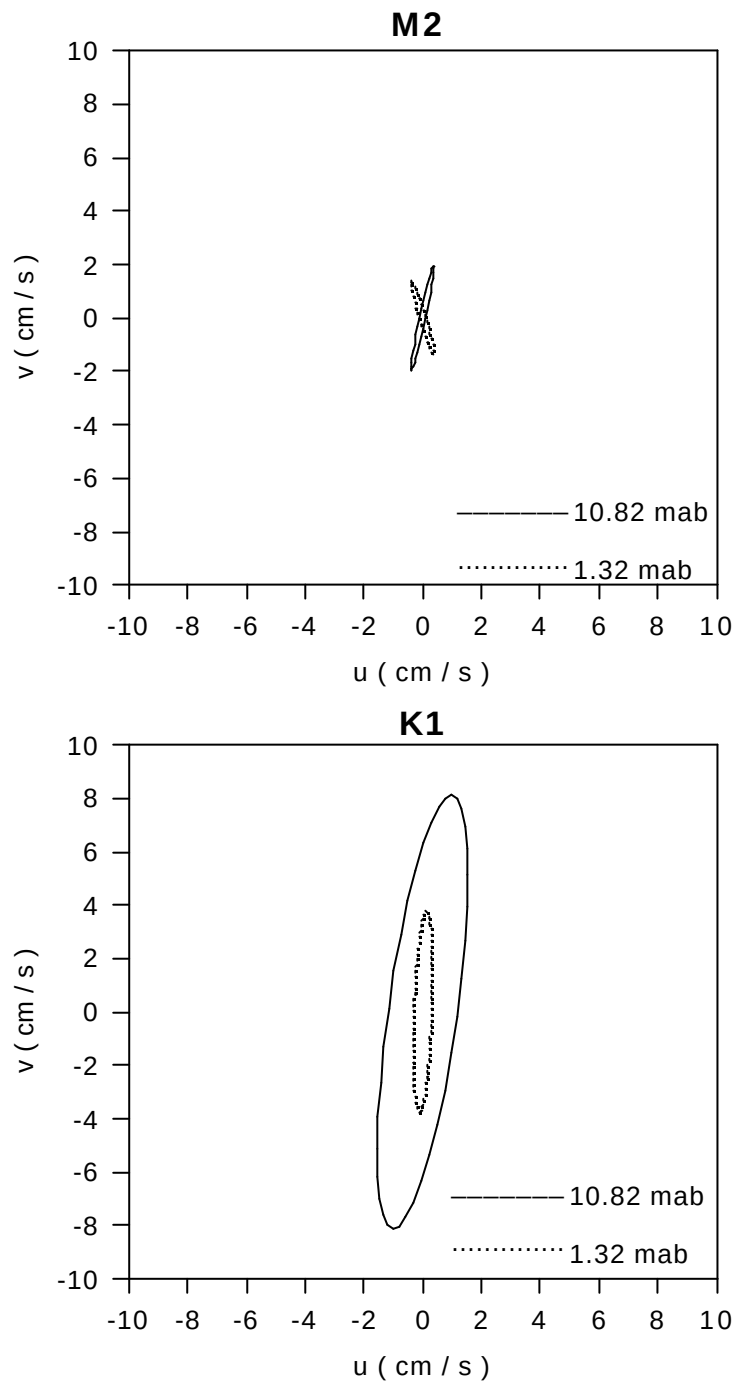


圖 20 HW2 之潮流橢圓

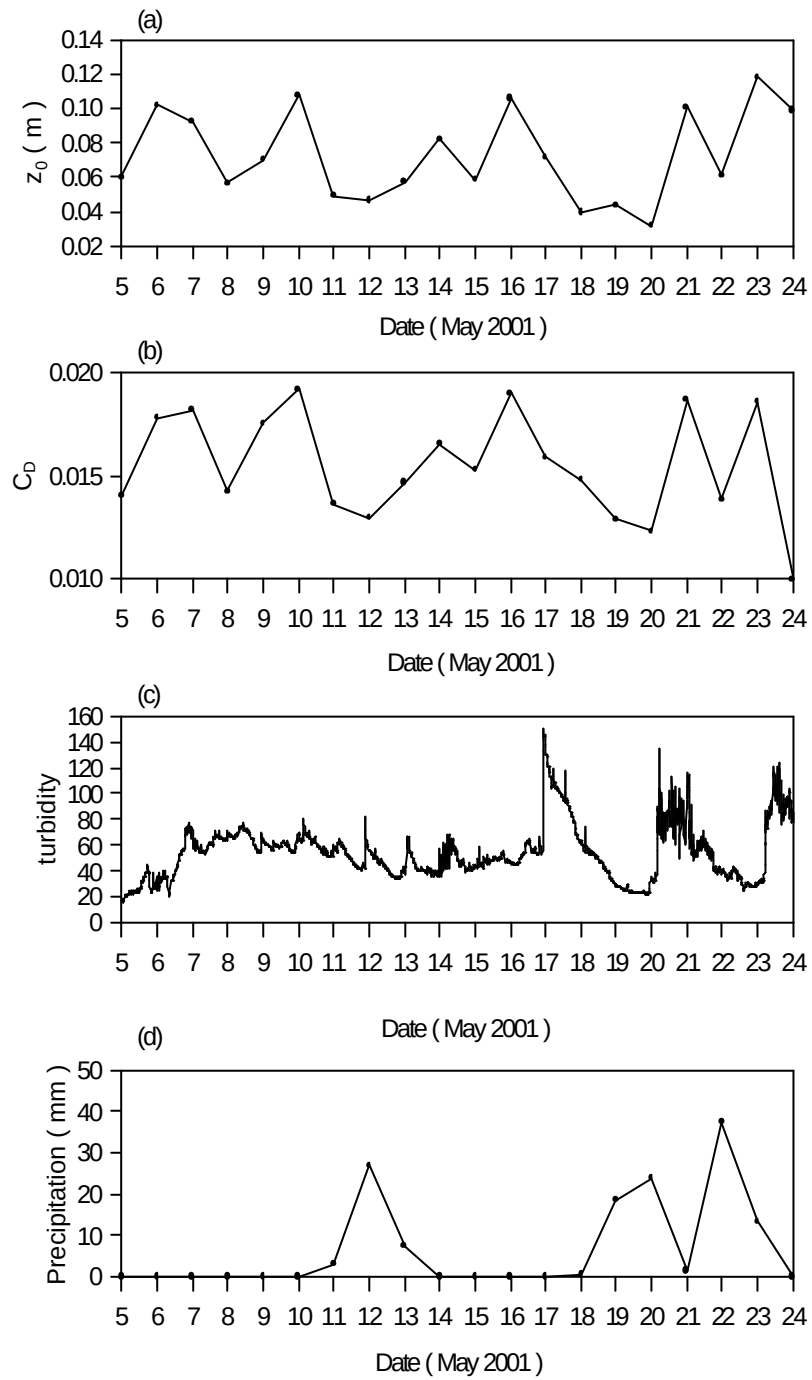


圖 21 HW2 的(a) z_0 (b) C_D (c)濁度及(d)恆春的降雨量隨時間變化圖

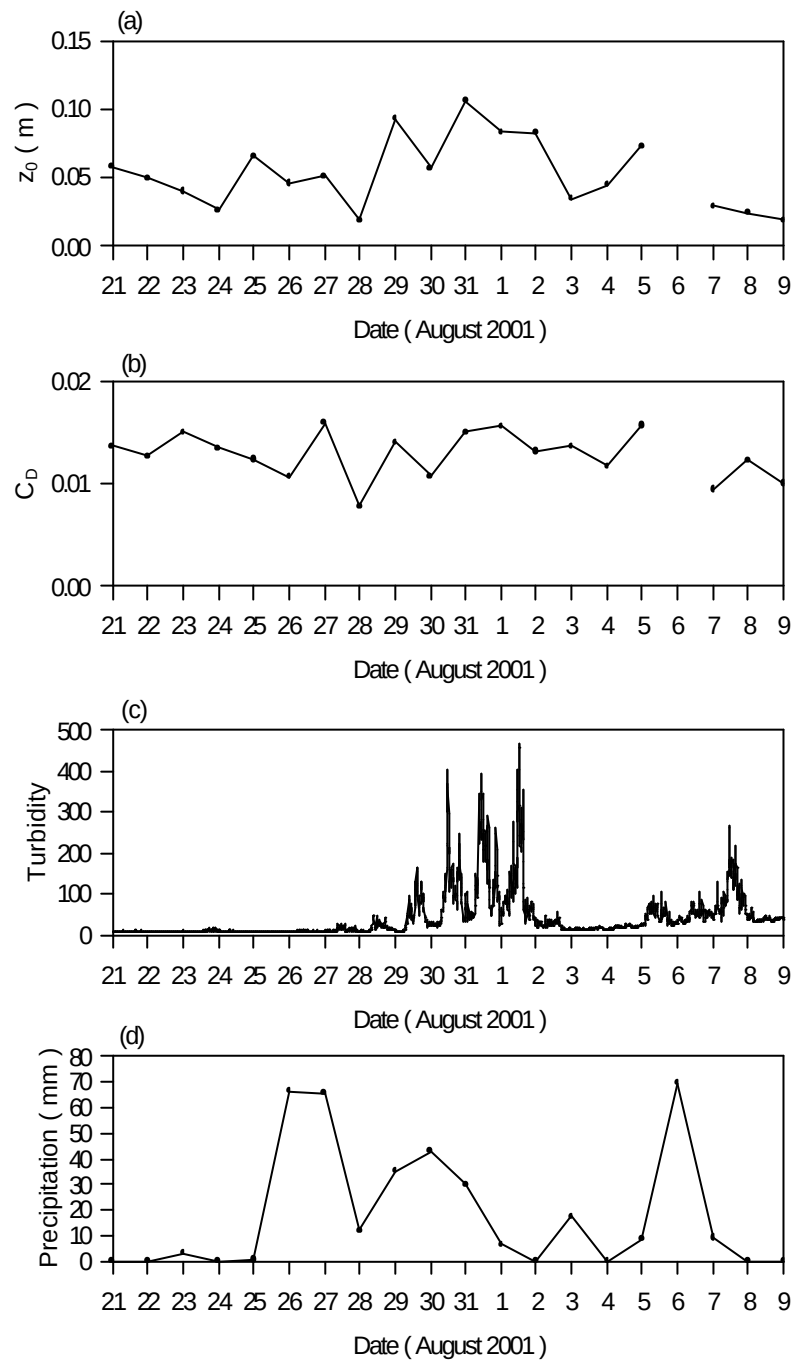


圖 22 HW3 的(a) z_0 (b) C_D (c)濁度及(d)恆春的降雨量隨時間變化圖

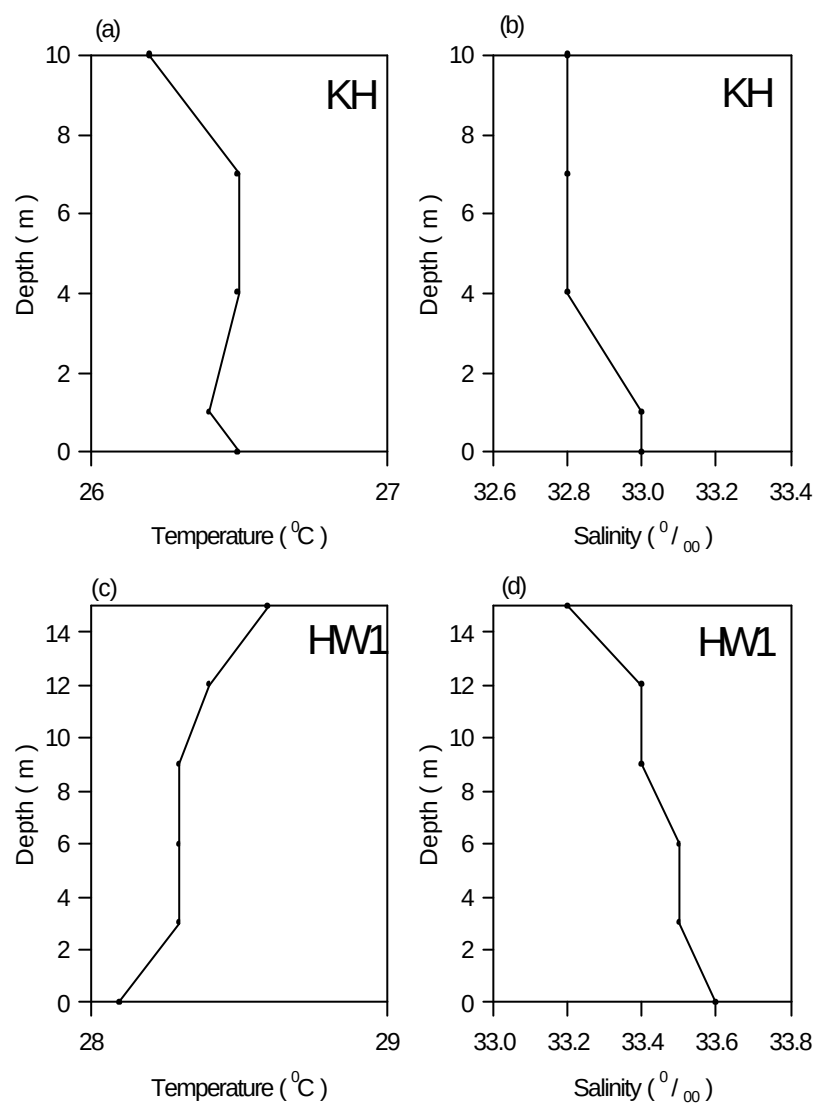


圖 23 KH (a)溫度、(b)鹽度及 HW1 (c)溫度、(d)鹽度 之垂直剖面分佈圖

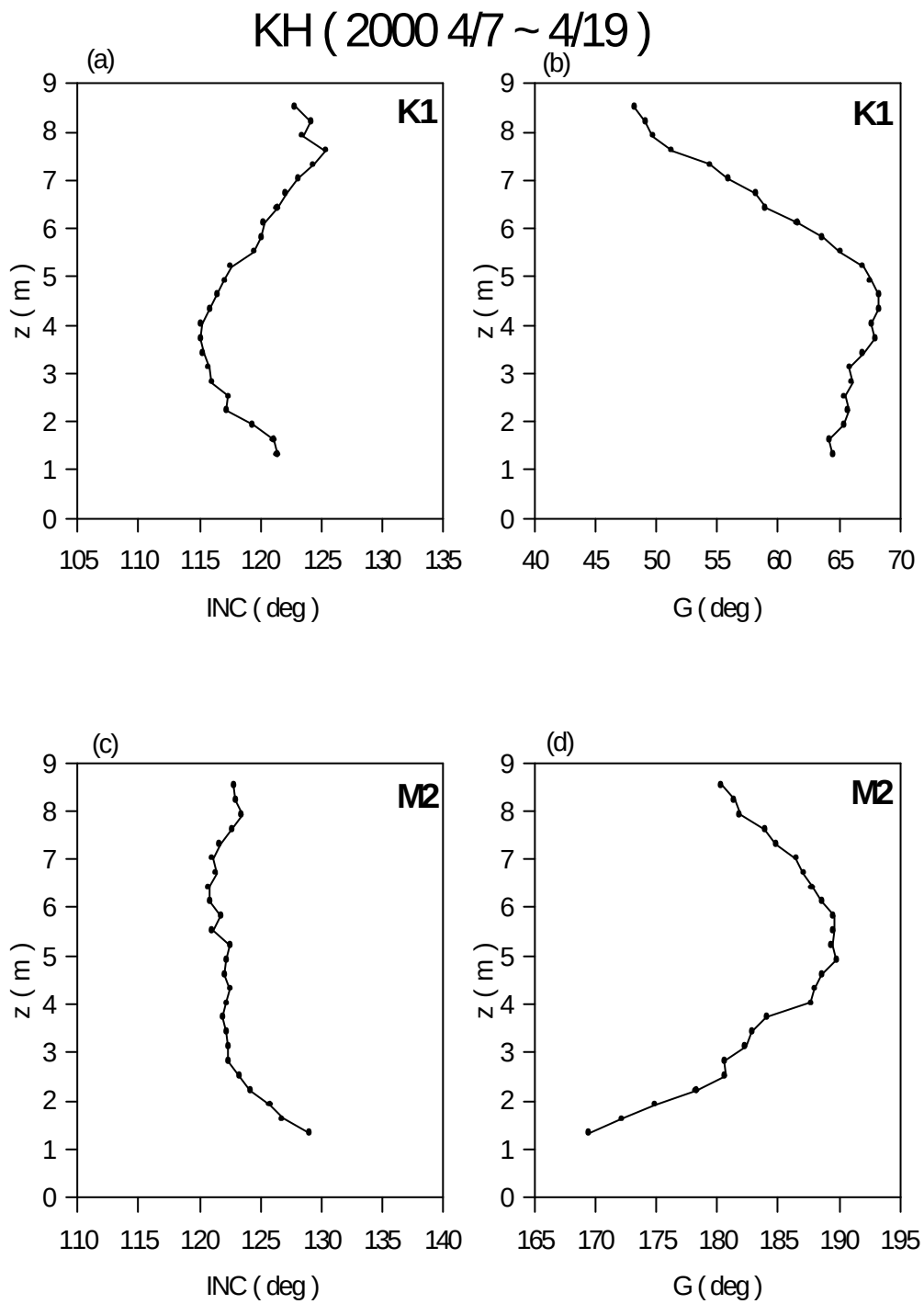


圖 24 KH 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖

TK (2000 6/19 ~ 7/15)

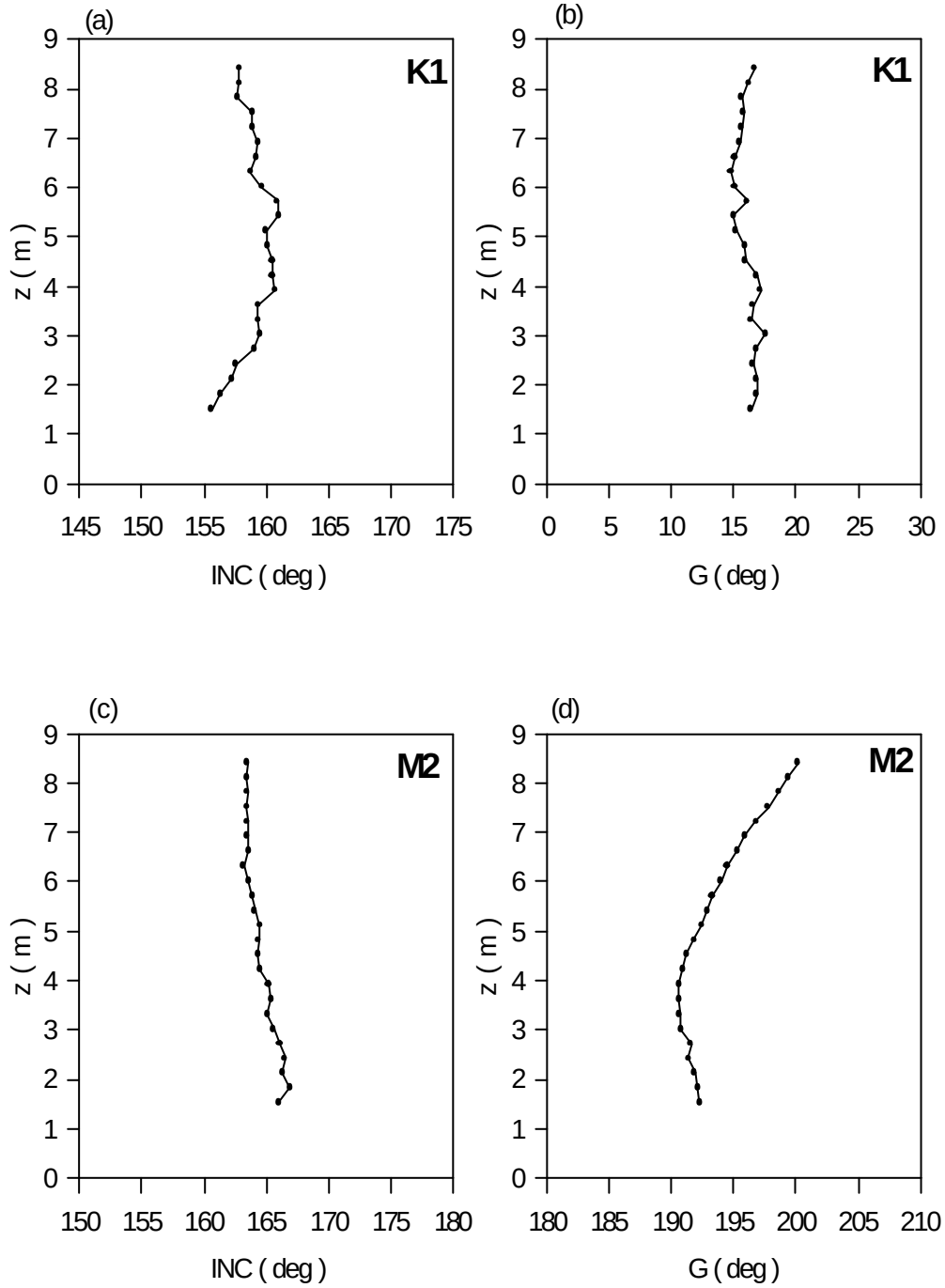


圖 25 TK之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖

HW 1 (2000 9/22 ~ 10/3)

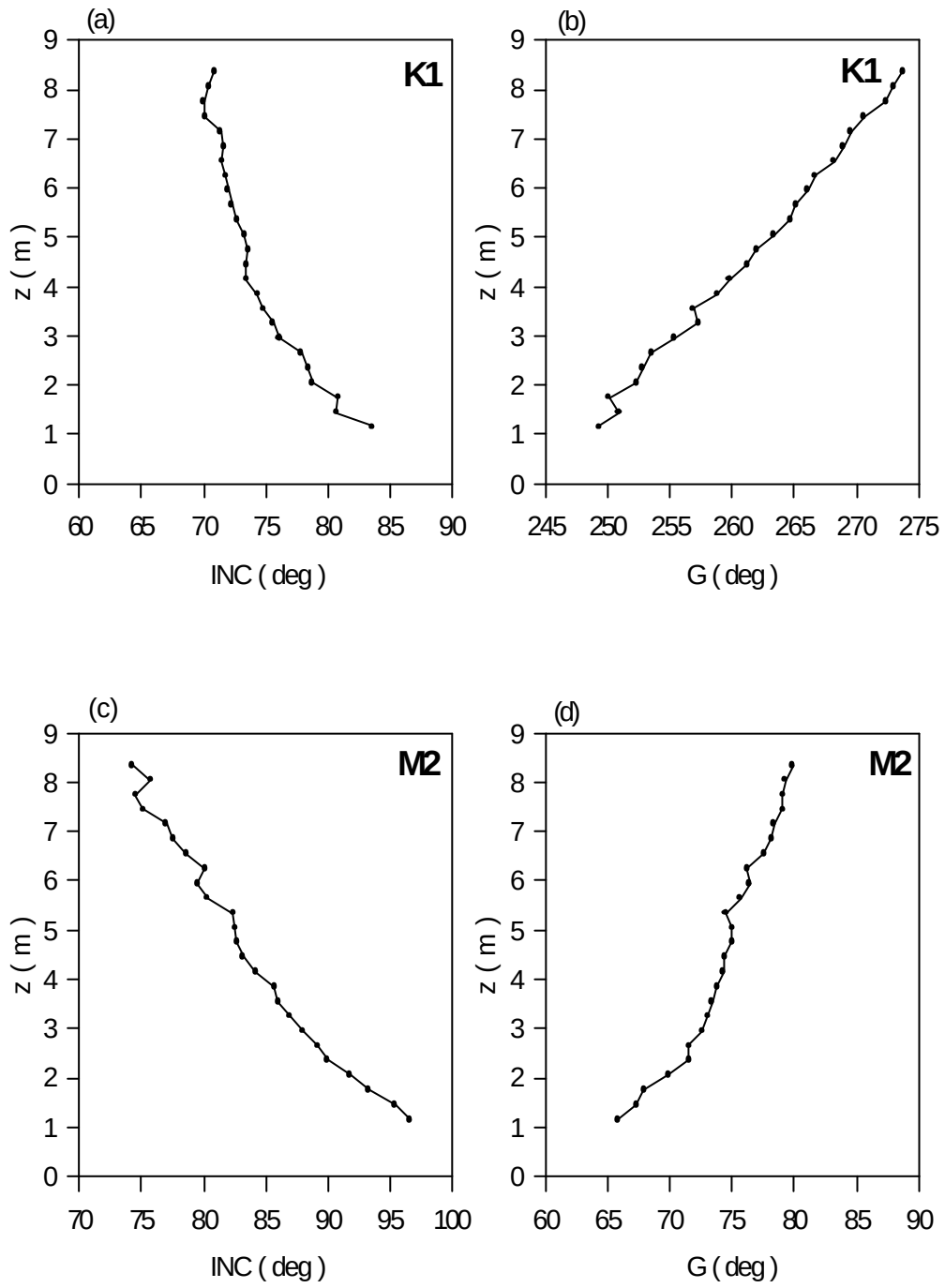


圖 26 HW1之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖

HW 2 (2001 5/4 ~ 5/25)

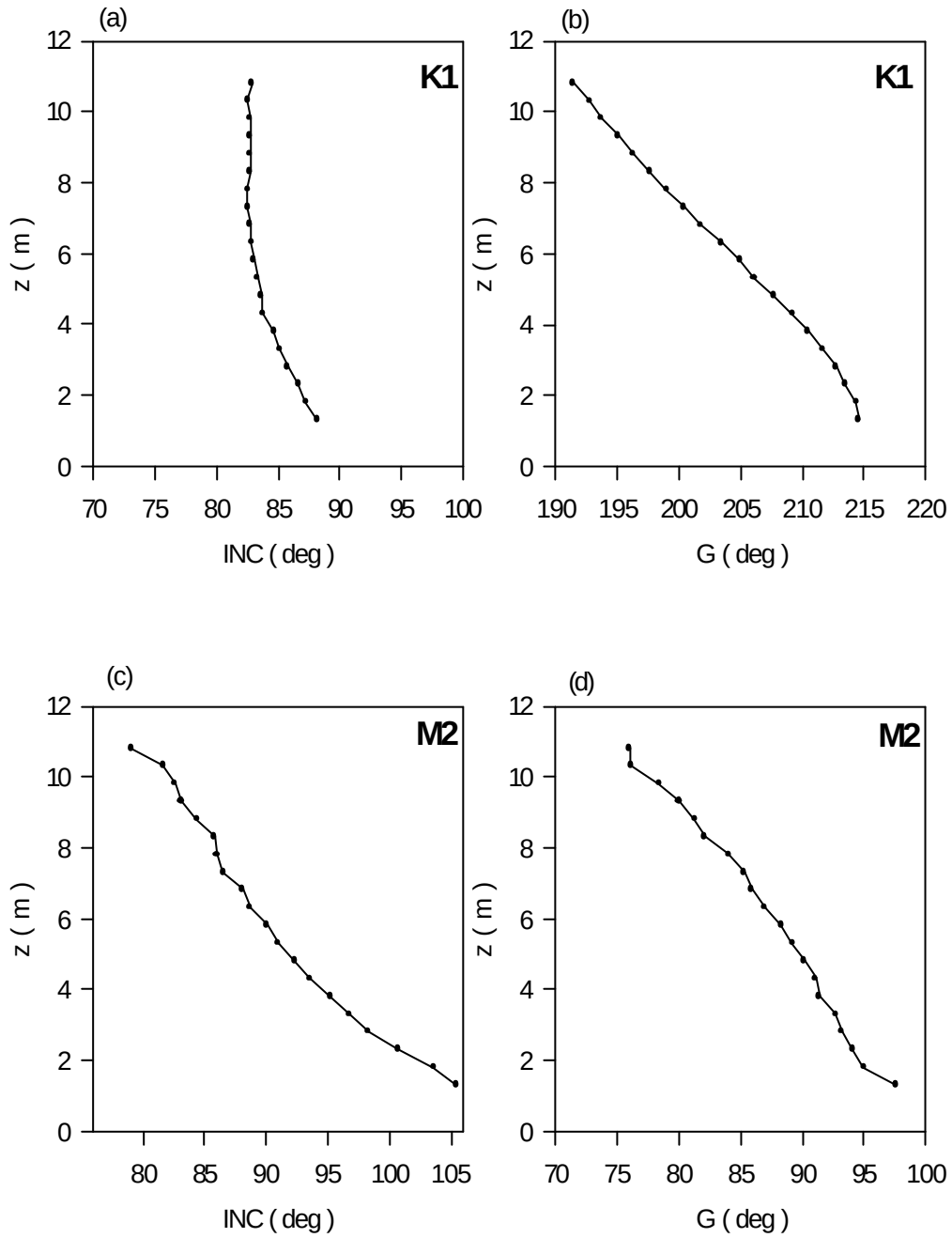


圖 27 HW2 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖

HW 3 (2001 8/20 ~ 9/10)

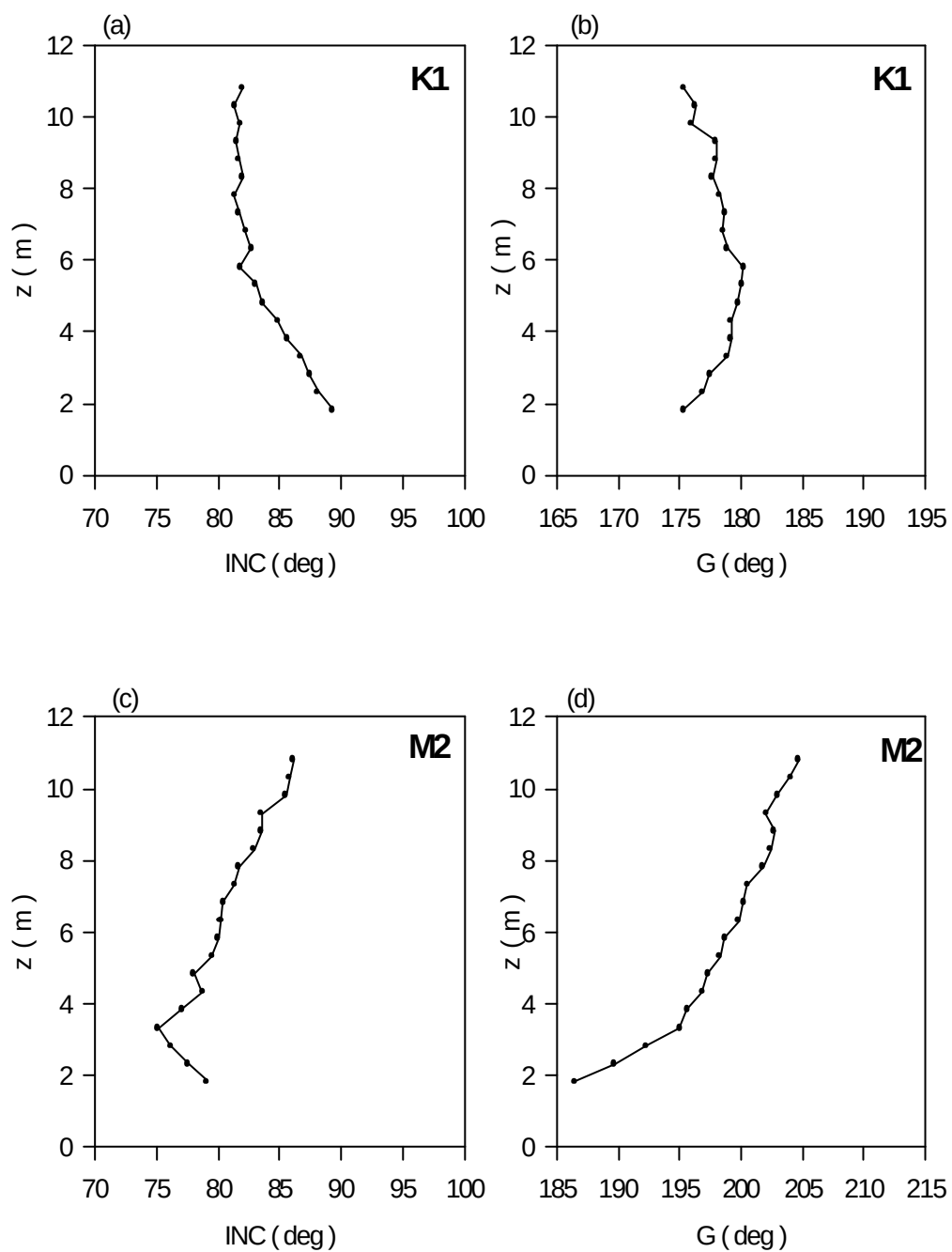


圖 28 HW3 之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖

HW 4 (2000 12/21 ~ 2001 1/1)

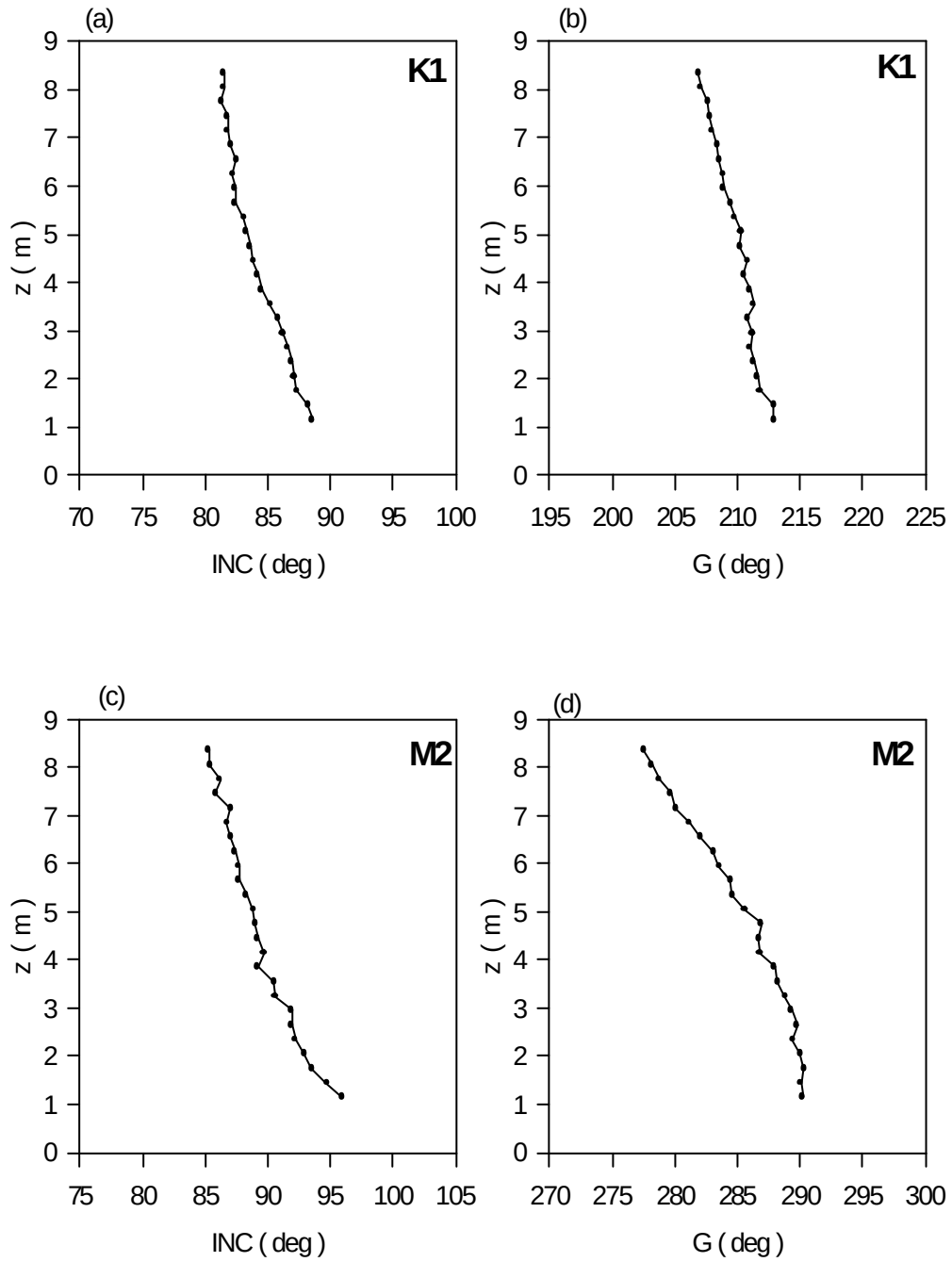


圖 29 HW4之 K1 的(a)INC (b)G 及 M2 的(a)INC (b)G 垂直剖面分佈圖

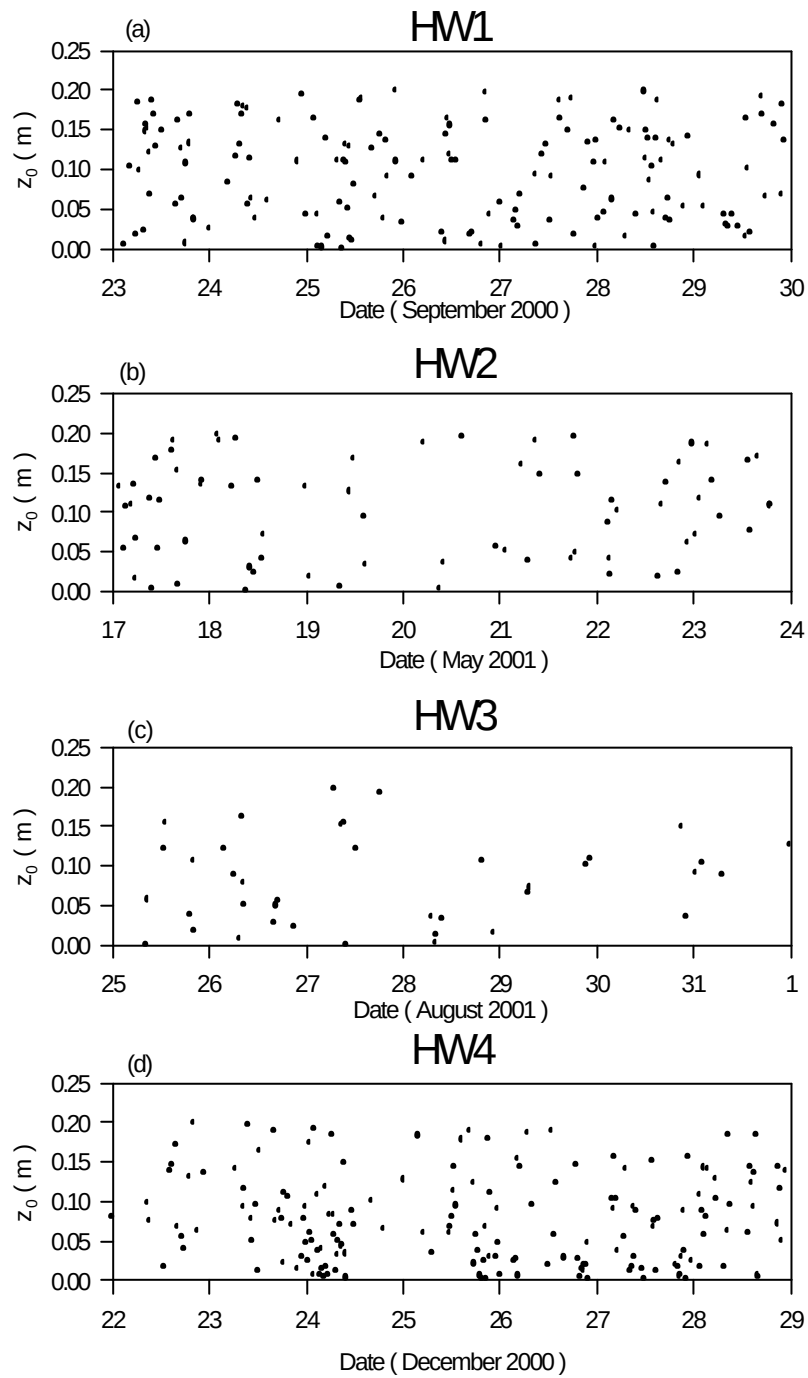


圖 30 (a)HW1 (b) HW2 (c)HW3 (d) HW4 之 z_0 對時間的分佈圖

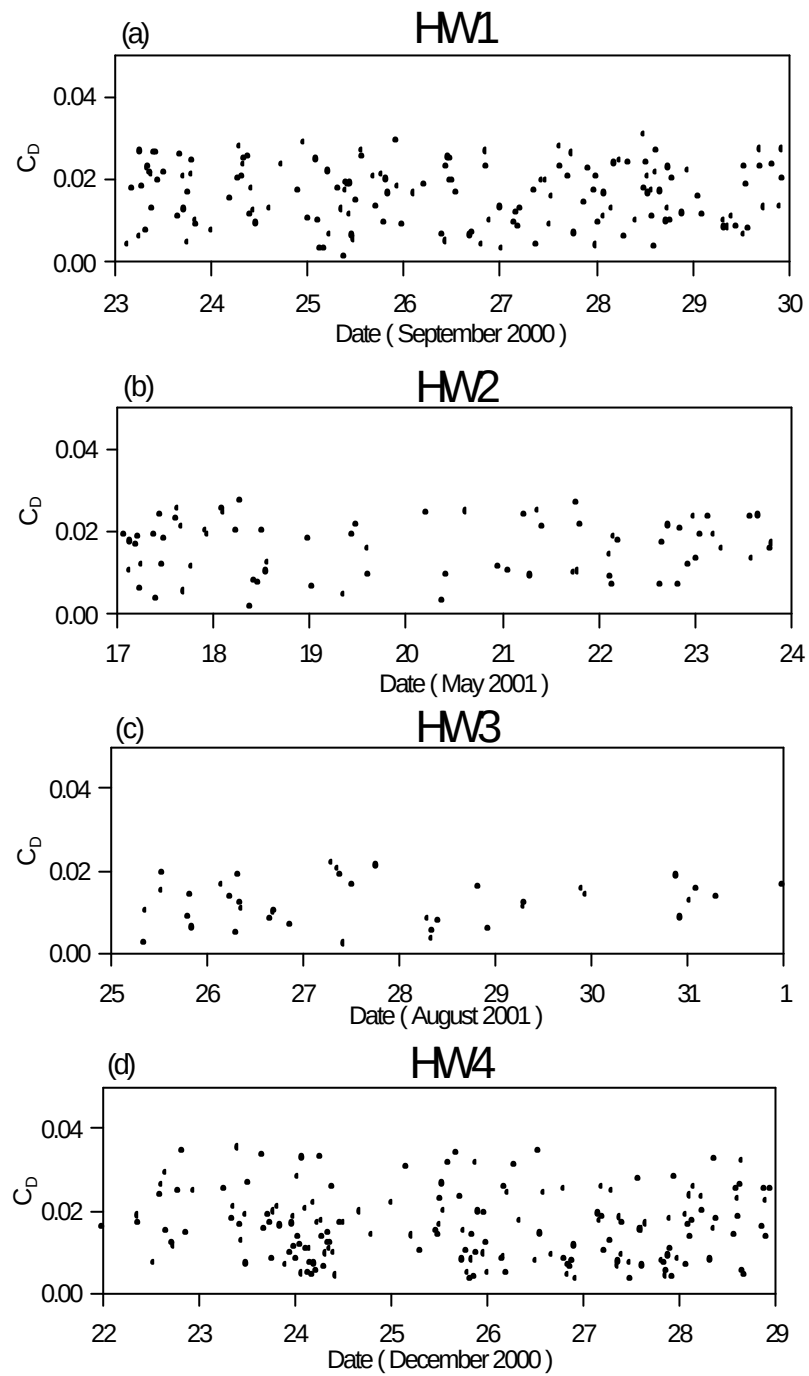


圖 31 (a)HW1 (b) HW2 (c)HW3 (d) HW4 之 C_D 對時間的分佈圖