

作業化海氣象浮標系統之建立

高家俊 林昭暉 翁俊鴻
國立成功大學水利及海洋工程研究所

周恆豪 林演斌
海儀科技有限公司

摘要

中央氣象局委託成大研究發展基金會研製作業化海氣象資料浮標系統，該系統之目標為取得長期即時海氣象資料，作為中央氣象局海象預報作業參考資訊。本系統之儀測系統及資料之分析、品管系統係依照美國資料浮標中心規範(National Data Buoy Center, NDBC)研發；浮標本體及錨碇系統之設計以適應臺灣環島海況及方便本省公路運輸為考慮重點，經過台中外海實際布放及回收測試，顯示現行作業方式相當方便而且經濟。為驗證浮標觀測資料可靠度，浮標系統研發完成後，選擇在高雄南星計畫填海區外海進行現場測試，與該處海域現有海氣象觀測樁資料進行比對，在該處測試時，資料擷取、計算及傳輸等作業流程均十分穩定正常，證明本系統之軟硬體技術已達作業化之成熟階段。

一、前言

中央氣象局為充實環島海氣象觀測網，於八十二年成立海象測報中心，積極推動由岸邊潮位站、近海波浪站及外海海氣象資料浮標所組成之環島海氣象觀測網。其中近岸之潮位站及波浪站在現有基礎上逐年進行汰舊換新工程，已逐漸達到定時(Regular)觀測、即時(Real-time)傳輸之作業化目標，對於海象預報而言，目前比較缺乏者為外海海氣象資料，近年來隨著太空科技進步，由衛星遙測(Remote Sensing)已可取得外海海氣象資料，但這種方法在解析部份資料(如波高)之技術上尚有限制，且觀測作業常受氣象條件影響，國外作業化海氣象觀測仍以資料浮標為主。

使用資料浮標觀測海氣象在國外行之有年，如美國海洋大氣總署資料浮標中心(National Data Buoy Center, NDBC)即在其東西兩岸沿海設置了百餘資料浮標進行作業化觀測。在台灣亦有單位外購或自研浮標，作短期調查性質之觀測，但尚無將浮標系統作為作業化觀測系統者，主要原因為作業化浮標系統必須整合力學、電子、資料分析、資料品管、資料網路等專業資源，且有長期之經費及人力支援，外購浮標系統也許可達到定時、即時觀測目標，但長期(Long-term)觀測卻常無法維持，因此唯有培養本土技術資源，掌握關鍵性技術，方能在作業化系統運作時隨時掌握資料品質及提升觀測成功率，有鑑於此，中央氣象局參考美國資料浮標中心之發展及操作經驗，於八十四年度起委託成功大學研製作業化海氣象資料浮標系統，該系統之目標為持續定時觀測包括波浪、風速、風向、氣溫、氣壓

及水溫等海氣象元素，並以即時傳輸方式將資料傳送回中央氣象局，作為海象預報作業參考資訊，並建立操作隊伍，以維持系統運作正常及管制資料品質。

組成作業化浮標系統之要素包括：(1)浮標本體；(2)錨碇系統；(3)能源系統；(4)儀測系統；(5)分析系統；(6)傳輸與接收系統；(7)品管系統；(8)作業支援系統等八部份，缺一不可，任何一部份設計不良均將造成觀測作業中斷或浮標流失，無法得到良好的觀測資料，本文將就此八部份要素詳述其設計概念及研發成果。由於此系統係由美國資料浮標中心提供設計規範而設計，為避免在研製過程中有所偏失，本浮標系統研發過程中曾兩度邀請該中心鄧中柱博士至成功大學，就浮標系統研發進行階段性檢驗，並提出改進建議。

本浮標系統研製完成後，為檢驗系統各項功能，經中央氣象局同意，選擇高雄南星計畫填海區外海進行連續36小時以上之現場測試，該處海域現有高雄環保局設立之海氣象觀測樁可提供比對資料，在該處測試之成果詳列於本文中。

二、浮標要素設計

(一)浮標本體

本浮標為測波浮標，浮標本體須有良好隨波性(Wave Following)，依據浮標形狀隨波特性而言以碟形浮標(Discus Buoy)最佳，且此型浮標能提供較大浮力，可抵抗惡劣海況，美國資料浮標中心之中型測波浮標即為3.0m直徑之碟型浮標本體。本

系統浮標本體亦採碟型設計，但考慮到本省公路運輸便利性(一般卡車寬為2.4m~2.6m)，直徑採用2.5m，設計示意圖如圖1所示，本體自重為1230kg，可提供總浮力3220kg，剩餘浮力1990kg(Reserved Buoyancy)，可抵抗大於氣象局要求之設計海況條件，上層支撐架裝設(1)氣壓、氣溫、風速、風向等氣象觀測設備，(2)定位系統、警示燈、雷達反射器等航警輔助設備，(3)太陽能板；浮標殼體中央上層為儀控室裝設儀控設備及波浪儀，中央下層為電瓶室。

(二) 錨碇系統

錨碇系統包括錨鍊及錨碇兩部份，依不同水深及布放方式進行個別設計。本浮標系統預定布放地點為台中港外海及蘭嶼東清灣兩處，水深分別為30m及60m，其中台中港外海離岸不遠，可用漁船拖放，蘭嶼東清灣離本島甚遠，漁船拖放方式不可行，必須租用大型工作船將整套浮標系統載運至現場布放，依兩種不同布放情況之錨碇系統設計方法分別如下：

1. 台中港外海

- (1) 錨鍊：依錨鍊設計規範，當水深小於100 feet時，錨鍊自重較小且錨鍊受海流拖曳力可以忽略，此時錨鍊可採全鐵鍊設計。台中浮標採用兩條27.5m@26mm之鐵鍊連接作為錨鍊，共計55m長，其最大抗拉力為18.7ton，遠較浮標剩餘浮力及瞬間拉力為大，在鐵鍊與鐵鍊連接處及鐵鍊與浮標連接處均使用轉環以防止扭力破壞。
- (2) 錨碇：一般漁船無法拋放重量甚大之錨碇，必須以拖拉方式運送至布放點，為此限制，本系統錨碇以一澆製混凝土之鐵殼體及一小型福士曼錨勾(fisherman anchor)組成，此組合在水中重量約為2,200kg，可提供遠大於錨鍊拉力之磨擦力，鐵殼體內保持足夠浮力，使拖放過程中錨碇及錨鍊浮於水面，水線下設置四個進水閘門，在到達布放點後，將閘門打開進水，即可使錨碇緩緩下沉至海底。

2. 蘭嶼東清灣

- (1) 錨鍊—此處設計水深較大，達60m，全鐵鍊設計之錨鍊自重隨之增加，且錨鍊受海流拖曳力不可忽略，在此條件下，錨鍊採鐵鍊及鋼索並用之複合式設計，浮標下方先接一段10m@26mm之鐵鍊，利用錨鍊重量增加浮標穩定性，鐵鍊下方接一段40m@18mm之不銹鋼鋼索，此鋼索作用為降低錨鍊重量及減小海流拖曳力受力面積，鋼索下方再接二段27.5m@26mm鐵鍊，其

作用為抵抗底床磨擦。錨鍊總長度為105m。

- (2) 錨碇—蘭嶼浮標委由台大海研一號研究船布放，該船上有充足空間放置浮標及錨碇系統，並配備大型吊桿，布放作業方式為將浮標連錨碇系統一同載運至布放點，再以船上吊桿吊運下水，本系統錨碇部份由8個廢火車鐵輪串接組成，水中總重量為1,750kg。

(三) 能源系統

取得穩定能源對於作業化浮標系統非常重要，由於浮標無法由岸上提供能源，本浮標能源系統由三片60W之太陽能板及總容量390AH之密閉式12VDC蓄電池組成，三片太陽能板在浮標上成等邊三角形排列，以使浮標任何轉動下均能有同樣之吸光面積，此種組合之每日平均發電量經長期測試為18AH。系統耗電量包括儀器及警示燈經實測為每日14.47AH，於天氣惡劣無法發電之極端情況下，蓄電量可供系統使用27日左右。

(四) 儀測系統

儀測系統包括：(1)海氣象量測儀器及(2)數據擷取與控制器兩部份。量測儀器包括三合一波浪感測器、風速風向計、水溫計、氣溫計、大氣壓計及全球定位儀(Global Position System, GPS)等儀器；由於浮標系統之數據擷取與控制功能相當複雜，且需達到省電功能，本浮標數據擷取與控制器委由海儀科技有限公司針對浮標系統需求專案開發。儀測系統兩部份現有功能如下：

1. 海氣象量測儀器

- (1) 規格：本系統測量項目包括波浪加速度及兩軸傾角、浮標體絕對方位、風速及風向、海水溫度、空氣溫度、海面大氣壓及浮標位置經緯度等，由數據擷取與控制器控制，定時進行各項量測作業。各儀器之量測範圍依照美國資料浮標中心規範如表1。

項目	量測範圍	解析度	準確度
1. 風速	0-60 m/sec	0.1 m/sec	1 m/sec
2. 風向	0-360 度	1.0 度	10 度
3. 氣溫	攝氏0-50 度	0.1 度	1 度
4. 水溫	攝氏0-50 度	0.1 度	1 度
5. 大氣壓	900-1100 毫巴	0.1 毫巴	1 毫巴
6. 方位	0-360 度	1.0 度	10 度
7. 示性波高	0-20 m	0.1 m	0.2 m
8. 示性週期	3-30 秒	0.1 秒	1 秒
9. 波浪譜	0.03-0.40 Hz	0.01 Hz	

表1. 資料浮標儀器量測規格

(2)率定：為確保量測準確度，儀器系統中各感應器及其系統組合均經詳細的率定，其中波浪加速度、兩軸傾角及羅盤由成功大學設計、製造之靜態及動態率定機率定；風速風向計、水溫計、氣溫計、大氣壓計等氣象儀器則與台南氣象站資料進行長期比對。

本系統配備一部全球定位儀，其目的在取得浮標經緯度資料及格林威治標準時間。浮標經緯度資料隨觀測資料定時傳送回岸上，隨時監測浮標位置，若浮標漂離布放位置，即需立即追蹤避免流失，該全球定位儀最大量測誤差為3秒，約為93公尺；全球定位儀之格林威治標準時間則作為調整系統時間之依據。

2. 數據擷取與控制器

(1)數據擷取：觀測儀器輸出之類比訊號需經數據擷取與控制器擷取為數位訊號；本數據擷取與控制器之類比訊號擷取頻道總共有27組，目前各感應器總共使用14組，預留13組可作為擴增儀器使用，各擷取頻道之擷取頻率及擷取長度均為獨立，可以程式控制，目前除加速度及傾角外，均以2Hz取樣10分鐘；除類比訊號擷取頻道外，亦具7組RS-232通訊界面，用於擷取GPS訊號及通訊。

(2)作業控制：本浮標觀測、濾波、分析及傳輸作業設定為每天12次，即每2小時進行一次，每次作業約60分鐘，作業流程由數據擷取與控制器控制。

(3)硬體濾波：電子線路組合常產生之雜訊，對於只取平均值之氣象資料影響甚小，因為雜訊期望值(Expectation Value)為零；但對於波浪譜卻有極大影響，必須做濾波處理，浮標之波浪譜由加速度譜乘以轉換函數求得，關係式如下：

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \frac{1}{\omega^4} S_{aa}(\omega) \quad (1)$$

式中 $S_{\eta\eta}(\omega)$ 為波浪譜， $S_{aa}(\omega)$ 為加速度譜， ω 為角頻率，當加速度譜中含有雜訊時，波浪譜之誤差將隨著頻率降低而呈指數放大，因此濾除雜訊成為求取正確波浪譜之重點工作，對於加速度計及傾角計，目前採用硬體及軟體互相配合之方式進行濾波。硬體濾除雜訊的方法為在數據擷取與控制器之擷取線路上加入一組電阻電容低通濾波器(Low pass filter)以消除高頻雜訊。

(4)軟體濾波：為了配合電阻、電容之電子特性，及避免頻譜分析時產生 Aliasing 效應，數據擷取與控制器對加速度及傾角取樣之取樣頻率(Sampling rate)為20Hz，取樣10分鐘後以快速傅利葉轉換法(FFT)進行低通濾波運算及訊號處理，輸出2Hz之訊號供波浪分析使用。

(五)分析系統

1. 雜訊修正(Noise correction)

加速度訊號經數據擷取與控制器處理後，雜訊已被大幅消除，訊號中仍存在少量雜訊，其來源有二，一為因硬體低通濾波限制而未完全濾除之高頻疊折(Folding)訊號，二為因傾側運動引起之低頻雜訊，此二部份雜訊無法以硬體濾波，必須以數據分析方法濾除，處理方法為量測多筆系統靜態下之輸出雜訊譜，依據這些雜訊譜率定出雜訊譜曲線 $NC(f)$ ，此純屬電子雜訊。電子雜訊與所使用的電子設備及訊號處理方式有關，因此， $NC(f)$ 會隨系統而異，必須針對系統特性，採用適當的統計方法決定出個別的 $NC(f)$ 。經觀察本浮標系統約二十筆靜態雜訊譜後，取其上限暫定雜訊譜曲線方程式為：

$$NC(f) = 0.0015585 \times f^{-0.5} \quad (2)$$

式中 f 為頻率。NDBC為消除頻譜低頻雜訊，針對其三米中型浮標率定出雜訊修正函數，如(3)式：

$$NC(f) = 0.5 \times (C11(0.01) + C11(0.02)) \times 13 \times (0.15 - f) \quad (3)$$

式中 $C11$ 會隨資料不同而可自動調整。本系統分別採用此二種雜訊修正函數於現場測試資料，探討其適用性，其結果詳見於本文成果討論。

2. 波浪分析

資料浮標係依照浮標體具有良好隨波性之特點，量測浮標體運動加速度及瞬間傾角，經由數據分析求得波浪值，屬間接量測，本系統波浪數據分析流程如下：

(1) 浮標在海上隨波呈三維空間運動，觀測數據中之兩測傾角受浮標運動而與絕對座標值產生差異，分析前須先進行座標轉換計算，將相對觀測值換算成絕對座標值：

$$Z_x = \frac{\sin(A)\sin(P)}{\cos(P)} - \frac{\cos(A)\sin(R)}{\cos(P)\cos(R)} \quad (4.1)$$

$$Z_y = \frac{\cos(A)\sin(P)}{\cos(P)} - \frac{\sin(A)\sin(R)}{\cos(P)\cos(R)} \quad (4.2)$$

式中 Z_x 及 Z_y 分別為東西向及南北向傾角絕對座標， A 為由羅盤量測之浮標方位角， P 及 R 分別為浮標相對於本身 X 軸及 Y 軸傾角。

(2) 利用快速傅利葉轉換分析法(FFT)計算浮標加速度譜，並以一15點之矩形視窗平滑。

(3) 浮標加速度譜減去雜訊修正函數後利用(1)式

計算一維水位譜，再以一15點之矩形視窗平滑。

- (4) 方向波譜計算一方向波譜為一維水位譜及方向分佈函數之乘積，表示如下式：

$$S(\theta, \omega) = S(\omega) \cdot D(\theta|\omega) \quad (5)$$

計算方向波譜須先求得方向分佈函數，為計算方向分佈函數現已發展許多新分析方法，本系統採用Longuet-Higgins(1963)發展之有限傅利葉法分析，此法較無計算限制且計算速度快，適用於作業化系統，美國資料浮標中心亦以此法計算其方向波譜。有限傅利葉法型式為：

$$D(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^m [a_n \cos(n\theta) + b_n \sin(n\theta)] \quad (6)$$

量取浮標三軸運動加速度、兩軸傾角及浮標方位角後，利用座標轉換求得絕對座標系統上起伏加速度及兩軸傾角，此三參數可建構 $3(3+1)/2=6$ 對交錯譜，依據傅利葉級數之階數 m 有 $2m+1$ 個未知數，因此可解至 $m=2$ 階。

3. 氣象資料分析

風向由向量合成方式求得，計算每一個風向時均依照浮標方位做方位修正。風速、氣壓、氣溫及水溫值則於去除三倍標準偏差值(Standard Deviation)後，計算平均值求得。

(六) 傳輸與接收系統

浮標系統觀測資料利用無線電傳輸至岸上接收站，本系統使用之無線電分別為台中VHF 918MHz頻帶，傳輸功率2W；蘭嶼VHF 460.3MHz頻帶，傳輸功率15W。經現場電波測試證實傳輸品質良好，傳輸內容包括海氣象統計值、一維波浪譜、方向波浪譜、經緯度及三合一波浪感應器之原始時序列等資料。

陸上接收站以PC為工作核心，具有WINDOW 95作業系統之資料處理程式，可供使用者監看、查詢、列印各項資料。為提供氣象局正確資料，接收站資料處理程式具電話網路傳輸功能，資料接收後即時透過電話網路傳送至成功大學品管中心進行品管作業後，再傳送氣象局。

(七) 品管系統

資料品管為保證浮標系統觀測資料品質重要一環，亦為測知系統運作狀態、判斷維修時機之依據，資料品管中心設於成功大學，專職資料品管之任務。資料品管分為合理性、連續性及關聯性三個方法：

- (1) 合理性檢驗認定觀測數據應不超過儀器可測範

圍或觀測地點可能發生之海氣象狀況，此項標準與儀器規格及布放地點之海況條件有關，以蘭嶼為例，各海氣象元素之合理範圍如下：

項目	上限	下限
1. 風速	60 m/sec	0 m/sec
2. 氣溫	攝氏40度	攝氏0度
3. 水溫	攝氏40度	攝氏0度
4. 大氣壓	1100 毫巴	900 毫巴
5. 示性波高	15 m	0m
6. 示性週期	20 秒	2.5 秒

表2 資料浮標合理性檢驗標準

- (2) 連續性檢驗各海氣象元素在時間上應具有連續性，變化量應落於合理範圍內。為建立此項檢驗標準，共取得以下三處資料進行迴歸分析：a. 中油永安廠80/01~83/06約3.5年波浪及風速、風向資料；b. 高雄氣象站84/01~85/09約20月氣溫、氣壓；c. 基隆港新建工程風場觀測站84/03~85/02約一年風速風向。水溫較少單位觀測，不容易取得資料，故於參考NDBC之準則後，以氣溫容許變量之2/3作為時間連續性之檢驗標準。訂立檢驗標準如下：

間隔	風速	陣風	氣壓	氣溫
2	4.58	5.09	3.03	1.66
4	5.42	6.39	4.80	2.75
6	5.93	6.85	8.81	3.32
8	6.23	7.14	6.24	3.46
10	6.38	7.42	6.33	3.32
12	6.51	7.61	6.35	3.37
14	6.59	7.87	6.40	3.92
16	6.68	8.13	6.38	4.53
18	6.69	8.34	6.69	4.91
20	6.66	8.56	5.39	4.97
22	6.54	8.74	4.50	4.86
24	6.52	8.90	4.22	4.92

表3 資料浮標連續性檢驗標準

間隔	H _{max}	T _{max}	H _{1/10}	T _{1/10}	H _{1/3}	T _{1/3}	H _{mean}	T _{mean}
2	74	2.83	47	1.40	36	1.18	24	0.95
4	89	2.99	62	1.74	49	1.52	62	1.22
6	101	3.08	74	1.94	58	1.75	37	1.42
8	110	3.17	81	2.06	64	1.90	41	1.56
10	116	3.19	87	2.13	69	1.99	44	1.65
12	123	3.23	94	2.21	75	2.06	47	1.71
14	130	3.28	100	2.28	80	2.12	50	1.74
16	139	3.32	108	2.34	87	2.17	54	1.76
18	147	3.37	114	2.41	91	2.24	57	1.78
20	152	3.39	119	2.45	95	2.28	60	1.79

22	157	3.41	124	2.47	99	2.31	62	1.80
24	162	3.42	128	2.52	103	2.36	64	1.83

表3(續) 資料浮標連續性檢驗標準

(3)關聯性檢驗認為不同資料間應具有關聯性，例如風浪關聯、氣壓氣溫關聯等。使用(2)項各資料，現已建立之關聯性檢驗如下：

回歸方程式	相關係數	90%信賴區間
$\bar{H}_{1/2} = 0.577 \cdot U + 0.5276$	0.287	$\bar{H}_{1/2} \pm 4.168 \cdot \sqrt{1 + \frac{(U - 5.532)^2}{127106.1}}$
$\bar{H}_{max} = 1.4933 \cdot H_{1/2} + 0.0623$	0.980	$\bar{H}_{max} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/2} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\bar{H}_{1/20} = 1.2370 \cdot H_{1/2} - 0.0003$	0.980	$\bar{H}_{1/20} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/2} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\bar{H}_{mean} = 0.6232 \cdot H_{1/2} + 0.0186$	0.998	$\bar{H}_{mean} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/2} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\bar{T}_{max} = 1.1670 \cdot H_{max} + 3.8572$	0.998	$\bar{T}_{max} \pm 1.277 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{max} - 1.331)^2}{11936.4}}$
$\bar{T}_{1/2} = 1.9424 \cdot H_{1/2} - 3.6065$	0.545	$\bar{T}_{1/2} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/2} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\bar{T}_{1/20} = 1.5329 \cdot H_{1/2} + 3.8117$	0.724	$\bar{T}_{1/20} \pm 1.039 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/2} - 1.051)^2}{7934.3}}$
$\bar{T}_{mean} = 2.4146 \cdot H_{1/2} + 2.8701$	0.679	$\bar{T}_{mean} \pm 0.521 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{mean} - 0.5479)^2}{2005.9}}$

表4 資料浮標關聯性檢驗標準

建立各項檢驗標準時，最大之挑戰在於如何訂定資料合理變化範圍，挑出問題數據又能保留合理數據，目前由於現場數據不足，只能引用鄰近測站歷史數據訂出暫用檢定值，這些檢定值並不一定完全正確，因此初期為避免釋出錯誤數據，採嚴格之90%信賴區間(Reliable interval)檢驗標準，未通過檢驗者註加標誌，暫不提供使用。待現場資料庫逐漸擴增後，再依現場海氣象資料特性，訂出合理的關係式，屆時再檢討註加標誌資料之正確性。

為將資料品管程序化、標準化，成功大學已完成浮標資料品管作業手冊，除自動化品管程式外，人工檢驗標準程序亦涵括在內。

(八)作業支援系統

作業支援系統包括浮標之布放、回收、保養維修、安全維護、宣導工作及資料品管中之人工檢驗等，是作業化觀測長期穩定之後盾。

資料浮標在台灣海域執行長期作業化觀測尚屬首創，第一個作業化系統，雖然浮標對環境並無害處且可提高氣象預報準確度，但一般民眾及漁民可能不瞭解或不習慣浮標，致使浮標遭受人為破壞可能性相對較高，本浮標系統於八十四年十一月份曾布放於台中港外海，當時雖已經港務局發布航海佈告，仍遭人為破壞而流失。因此，在資料浮標正

式布放前(八十六年四月份)，氣象局委託成功大學企劃並執行一系列宣導及安全維護活動。為使漁民習慣浮標，成功大學於八十五年十一月份在台中外海及蘭嶼東清灣預定布放地點先行各布放一只警示浮標，並委託當地漁民每日監看，執行安全維護工作；為使人民瞭解浮標對氣象預報之益處，基金會製作大量宣導墊板及海報，宣導海報請各漁業相關主管單位代為張貼；宣導墊板則致贈給沿海各中、小學，教育學生瞭解浮標系統；並定期至蘭嶼宣導及召開浮標說明會等。

浮標觀測作業開始後，資料品管隨即進行，部份品管步驟雖已程式化，可自動執行，然觀測資料整理，資料間關聯性分析建立、品管標準更新、加標誌資料解除及異常資料處理等工作，仍有賴專業技術人員依據標準程序處理。

三、成果討論

(一)高雄外海現場測試

本浮標系統於高雄外海現場共進行三次測試，其測試數據與鄰近之觀測樁及高雄氣象站數據比對，成果略述如下：

(1)風速風向

圖 3.及圖 4.分別為浮標與觀測樁之平均風速、風向比較，圖 4.顯示浮標與觀測樁之平均風向相當一致，差異均在 15 度以內；浮標之風速與觀測樁風速趨勢一致而略大於觀測樁數據，此與風速剖面上大下小之物理現象不符(浮標風速計離海平面約 2.5 米，觀測樁風速計離海平面 13 米)，此現象為儀器彼此差異引起，為確認浮標風速測定值，基金會預計於近期內將各項氣象儀器送交氣象局檢校中心檢定，以確保資料之正確性。

(2)氣溫、氣壓及水溫

圖 5.為浮標氣溫、水溫與高雄氣象站氣溫比較圖，由該圖可知此三種溫度變化趨勢相似，但由於陸上空氣比熱較海上小，陸上空氣溫度變化幅度較海上氣溫為大，浮標溫度觀測應相當正確。

圖 6.為浮標與高雄氣象站氣壓比較，圖中顯示兩者變化趨勢非常一致，但有一定差值存在，此為儀器截距(Offset)所引起，經送交檢校中心檢定後，應可定出差值並加以消除。

(3)波浪

圖 7.為採用(2)式之雜訊修正時，觀測樁與浮標逐時波譜比較圖，由圖可知在 21 筆數據中

有 18 筆波譜形狀相當吻合，但仍有 3 筆波譜在低頻處尚有明顯之雜訊，此雜訊能量甚至高於正常的波浪主頻能量，會嚴重影響示性週期 T_s 之值，顯示(2)式未能完全將低頻雜訊濾除，其原因為 a)用以計算雜訊譜之樣本數太少，b) (2)式純屬電子雜訊，並未包含傾側運動引起之低頻雜訊，綜合以上兩個原因，導致雜訊譜之值偏小。將來仍須取得統計上足夠的樣本數，以適當之方法定出雜訊譜，另一方面，若能率定出傾側運動所造成之低頻雜訊，將之一併濾除，將會使波譜更趨合理。

相對於(2)式，NDBC 之雜訊譜((3)式)乃是根據現場多筆觀測資料計算而得，理論上(3)式應已包含各種雜訊，因此亦採用(3)式，針對相同 21 筆數據進行分析，結果均能濾除(2)式所無法濾除之雜訊，如圖 8，仔細觀察圖 8，可知採用(3)式雖可濾除低頻雜訊，但 11 月 6 日 10 時之波譜在 0.12Hz 以下已無任何能量。

目前之作業化浮標暫時以(3)式為雜訊譜，因其可完全濾除目前 21 筆之低頻雜訊，但是，避免過度濾除低頻區波浪之正常能量，將來仍須使用前述之方法率定出現在浮標系統之雜訊譜，以期獲得更合理之波浪資料。

由於無法直接量取波浪時序列，浮標之示性波高及週期必須經由波譜轉換求取，本系統採用 $H_s = 3.8\sqrt{m_0}$ 計算示性波高 H_s ，其中 m_0 為波譜能量，及 $T_s = 0.885T_p$ 計算示性週期 T_s ，其中 T_p 為波譜尖峰週期。圖 9 及圖 10 分別為觀測樁與浮標之示性波高及週期比較圖，圖 9 中浮標與觀測樁之波高差大部份在 10 公分以內，且兩者之變化趨勢非常一致。

(二)資料品質標準

針對浮標之品管系統而言，以下就實驗室測試及現場測試分別敘述：

(1)實驗室測試資料：

本浮標系統於實驗室測試期間，除波浪資料無法利用前述品管系統驗證外，其餘資料如：平均風速、3-Sec 陣風、氣溫、氣壓等皆能利用此品管系統驗證。利用 11 月之氣象資料，透過資料品管系統檢驗後，將其結果繪於圖 11-a，圖 11-b，圖 11-c。根據圖中顯示，所有資料皆能通過品管系統檢驗(現場測試之資料另外探討)。

(2)現場短期測試資料：

浮標於高雄外海短期測試期間，其所測得之資料有助於品管系統訂定合理之變化範圍。選取第二次現場測試資料，檢驗其是否能通過由鄰近資料所建立之標準。茲將其結果繪於圖 12-a，圖 12-b，圖 12-c，圖 12-d，圖 12-e。在圖 12-e 中，實線為示性週期之容許變量的上限及下限，資料落於範圍之外的有四點(圖中標記為 X)，在此分別標示為

A、B、C、D，以下針對此四點做討論：

1. 點 A、點 B 雖然超出容許範圍之外，但對照浮標系統與南星樁之波譜，在同一時間下具有相同之趨勢(如圖 7 中 96/11/5 16:00 及 96/11/5 22:00)。比較兩系統之資料，此兩筆資料可除去標記，以供設計者參考。

2. 點 C 在兩系統之相對波譜中，點 C 之低頻能量為南星樁上資料的兩倍，而其原因有待探討，故在此仍將其保留，留待以後探討其正確性。

3. 點 D 的波譜顯現出雙峰之現象，與南星樁互相比較，雖兩者皆具有相同之形態，但 T_p 值並不吻合，故在此仍予以保留。

因地域之不同，海氣象資料在時間上之容許變量或許有所不同，所以將來浮標在佈放後，可結合當地之現場資料，訂定合於地域性之容許變量的範圍，在累積現場資料庫後，將可對資料的品質做更專業化的判斷。

四、未來展望

經過一系列開發及測試過程，浮標拖放回收已能運用本土船隻機具施行，建立基本操作模式；實驗室及現場作業測試流程持續穩定；資料分析結果經過比對後亦證實具有實用價值，成功大學研製之海氣象資料浮標現已具備作業化觀測之基本條件，並預定於八十六年四月份佈放於台中及蘭嶼外海。

浮標系統佈放點不受限於地形水深，且能提供即時觀測資料，當台灣環島觀測作業穩定後，可考慮運用於觀測我國更遠之海域之海況，如東沙及南沙群島，其觀測資料除能提供台灣本土海象預報使用外，更能提供即時資料給世界氣象組織(W. M. O.)使用，對於宣示領土主權應有助益。

五、參考文獻

- 高家俊，1996，“基隆港新建工程風場觀測”，中華港埠技術顧問社與成大水利海洋研究發展基金會建教計畫報告
- 黃明志，高家俊，1993，“國內資料浮標研發概況”，海象分析與預報研討會論文，125-146
- 陳嘉元、連永順、徐仕昇，1996，“資料浮標的發展趨勢”，中華民國海下技術協會第一季季刊，39-45
- 鄧中柱，1983，“資料浮標系統概論”
- 鄧中柱，1983，“作業化資料浮標之評介”，中央氣象局氣象學報，39卷，2期，116-123
- C-C Teng, H. T. Wang, 1995, "Mooring of Surface Wave Following Buoys in Shallow Water", OMAE
- H. O. Berteaux, 1976, Buoy Engineering, John Wiley & Sons, U. S. A., ISBN 0-471-07156-0 7-13, 55-66, 97-131, 149-203

- J. C. Lau, K. E. Steele, E. L. Burdette, 1982, "Technique for the Measurement of Hull Azimuth Angles in an NDBO Directional Wave Measurement System", IEEE, 635-640
- M. A. Waltz, R. L. Boy, D. R. May, National Data Buoy Center, 1989, NDBC Mooring Design Manual, NOAA, U. S. A., SSC, MS 39529-6000
- M. D. Earle, K. E. Steele, Y-H L., Hsu, 1984, "Wave Spectra Corrections for Measurement with Hull-Fixed Accelerometers", IEEE, Proceeding of Oceans, 725-730
- M. S. Longuet-Higgins, D. E. Cartwright, and N. D. Smith, 1961, "Observations of the Directional Spectrum of Sea Waves Using a Floating Buoy" Proceeding of a Conference on Ocean Wave Spectre, Chapter 3, 111-131
- N. Lang, 1984, "The Empirical Determination of a Noise Function for NDBC Buoys with Strapped-Down Accelerometers", Report of National Data Buoy, U. S. A.

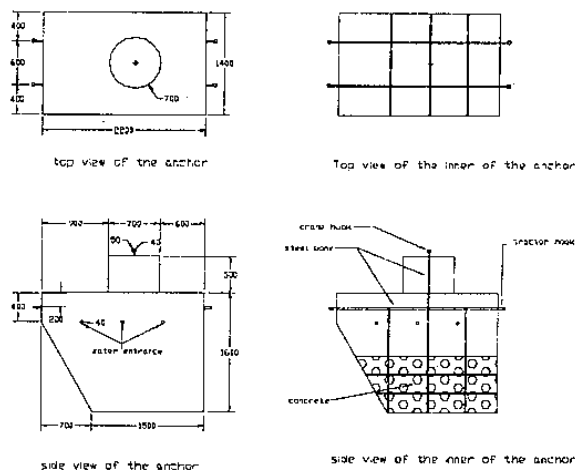


圖2. 台中浮標錨碇設計示意圖

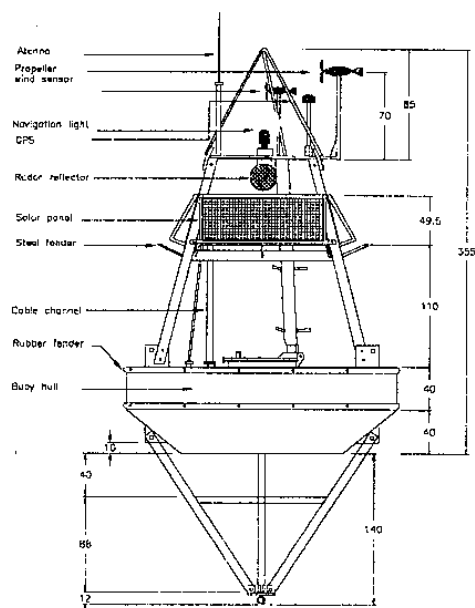


圖1. 浮標本體設計示意圖

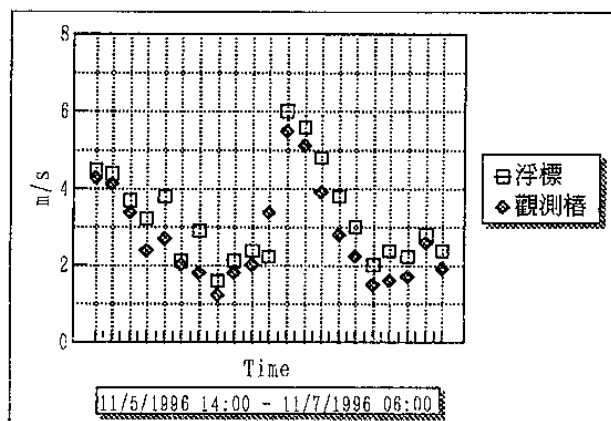


圖3. 平均風速比較圖

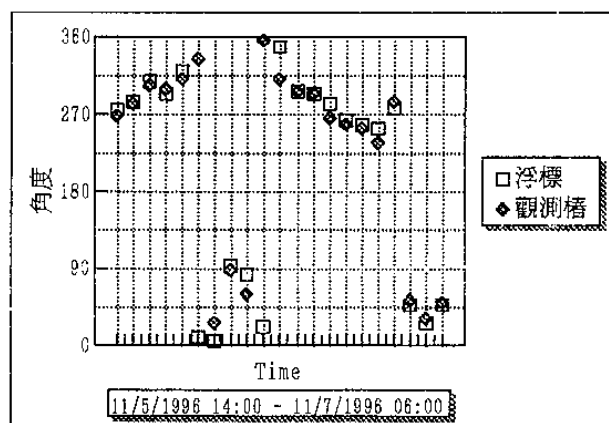


圖4. 平均風向比較圖

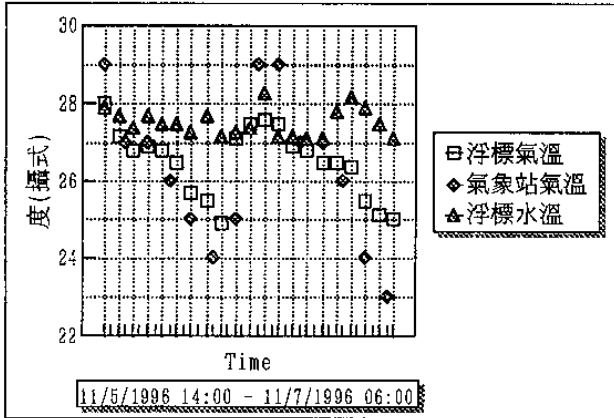


圖5. 溫度比較圖

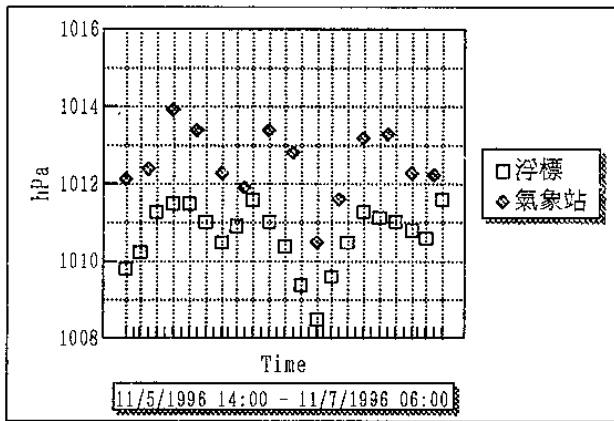
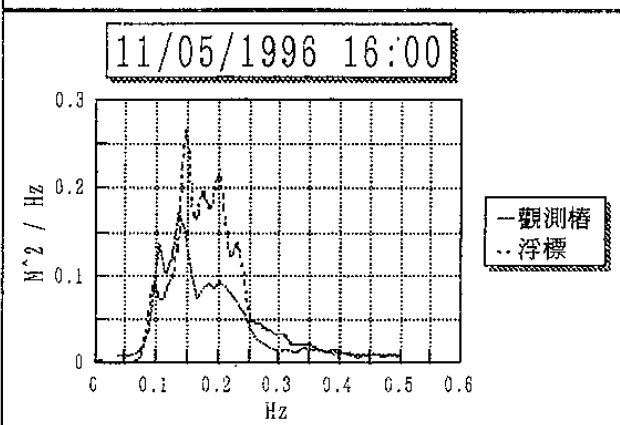
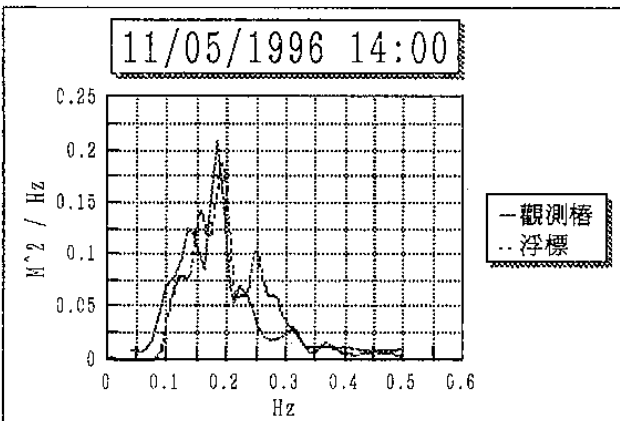
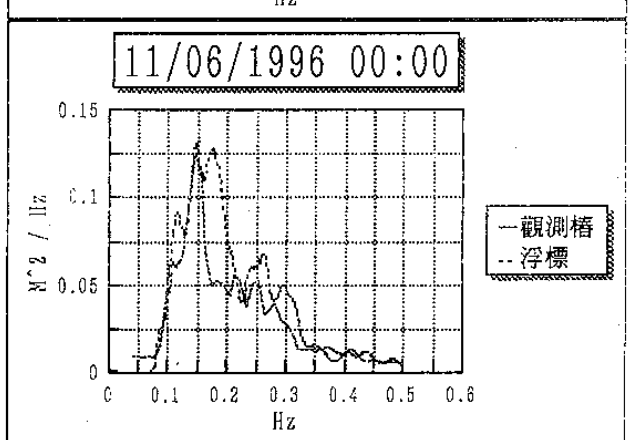
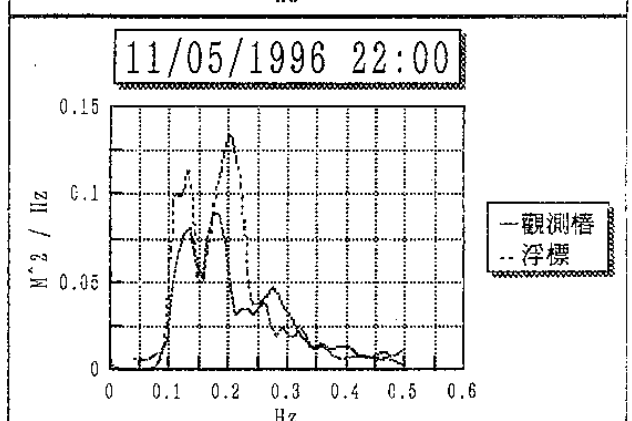
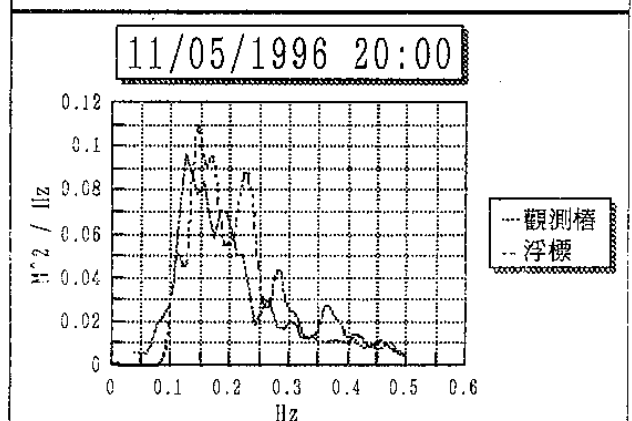
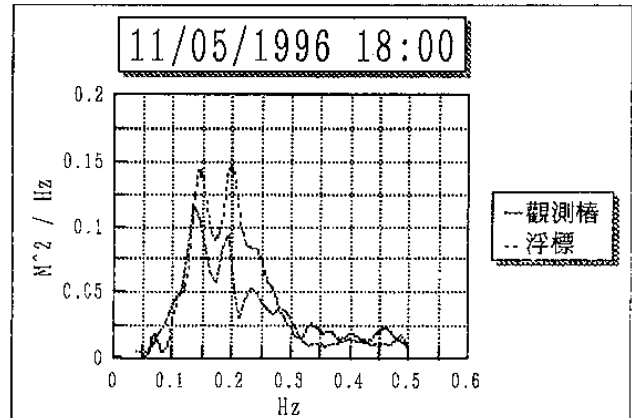
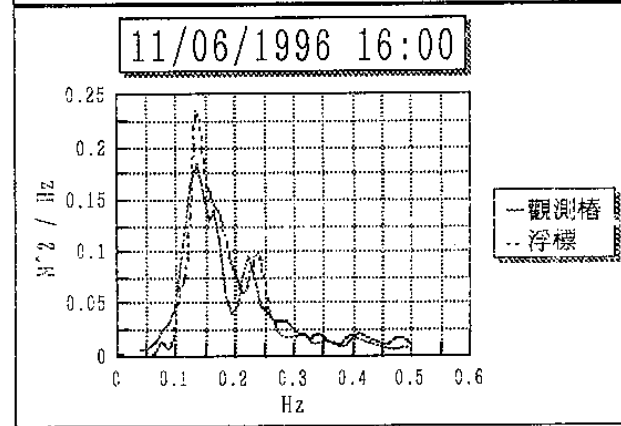
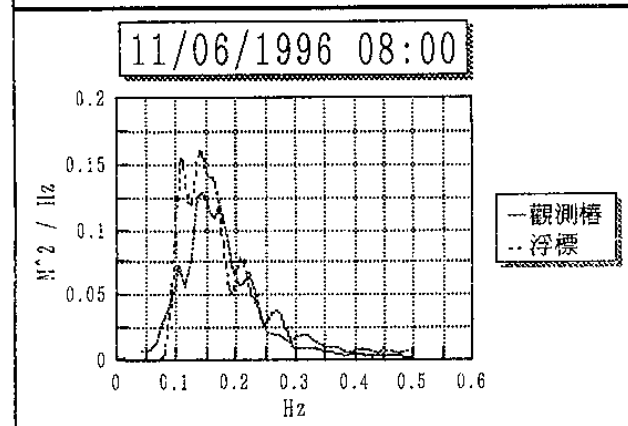
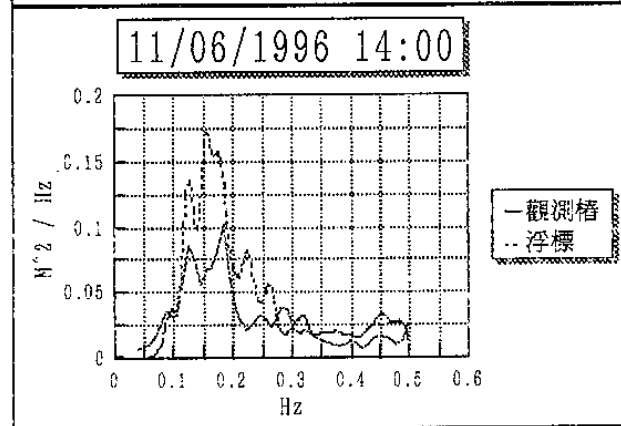
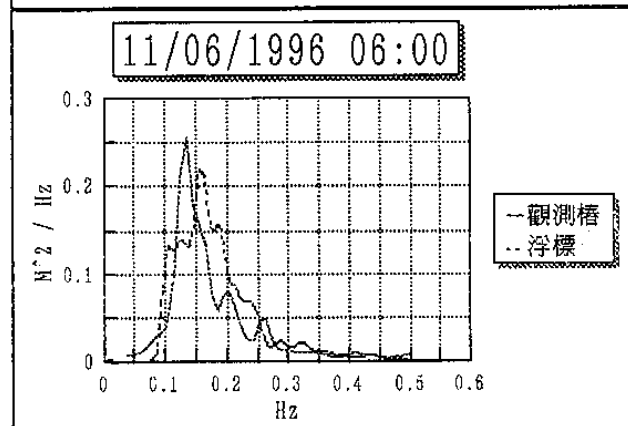
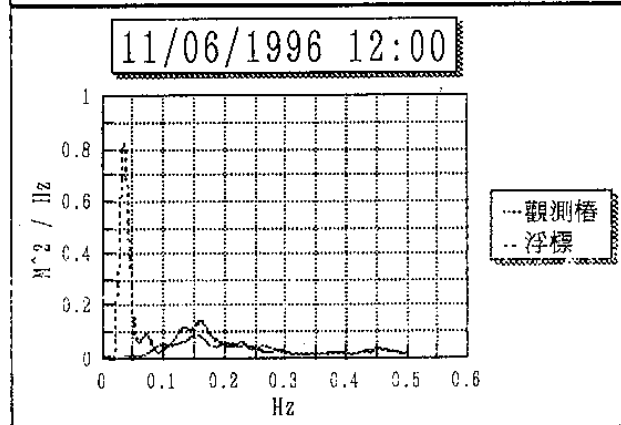
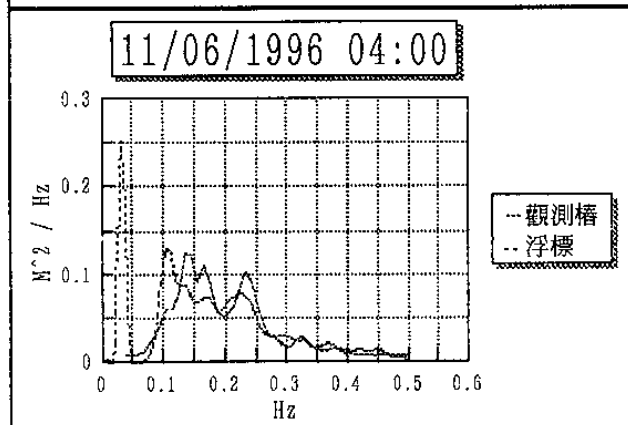
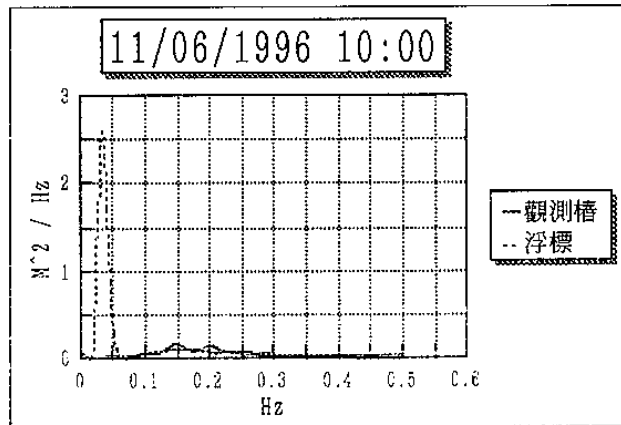
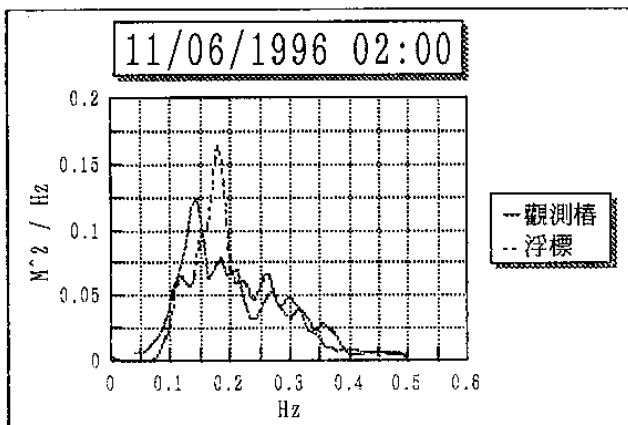


圖6. 氣壓比較圖





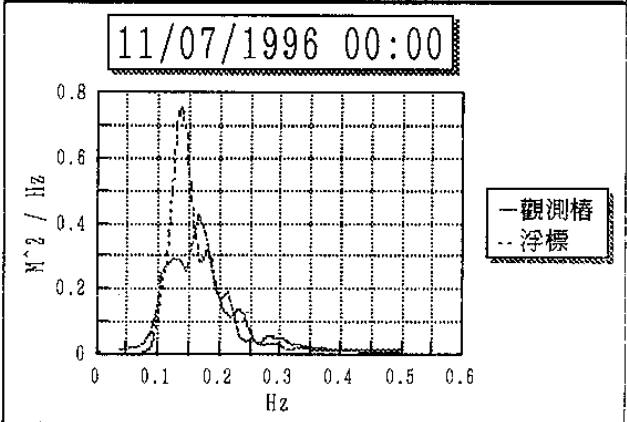
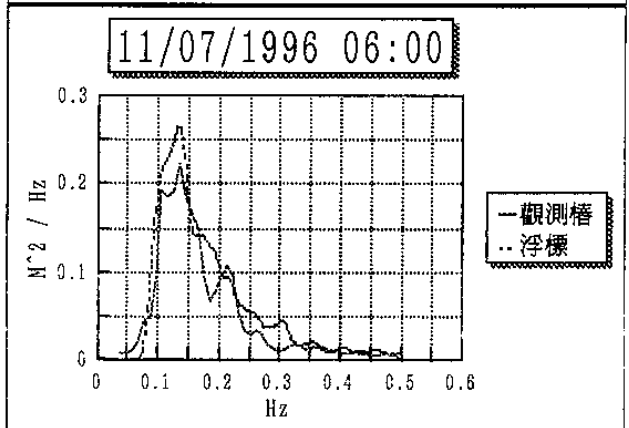
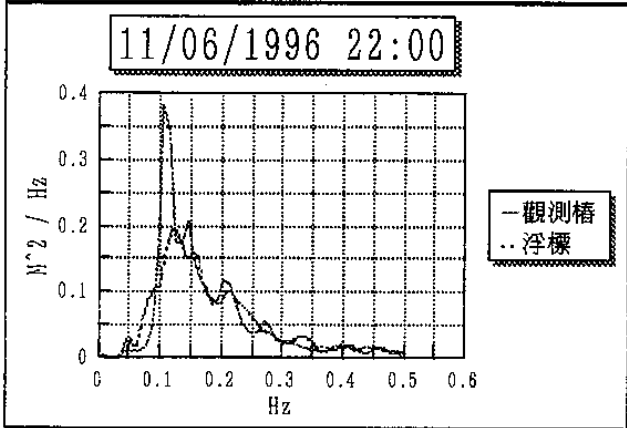
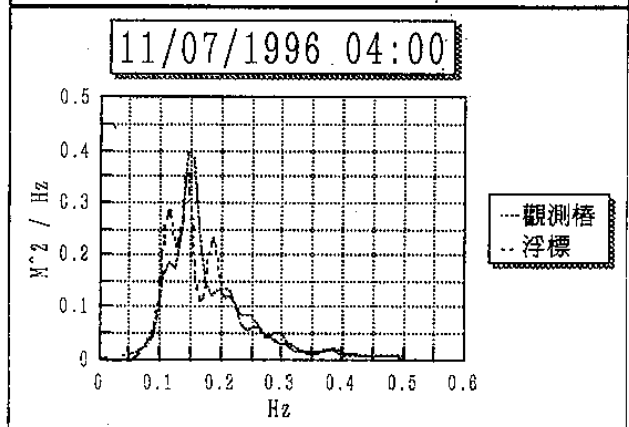
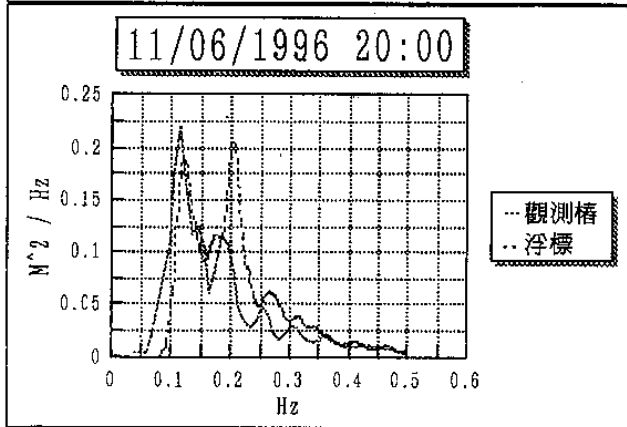
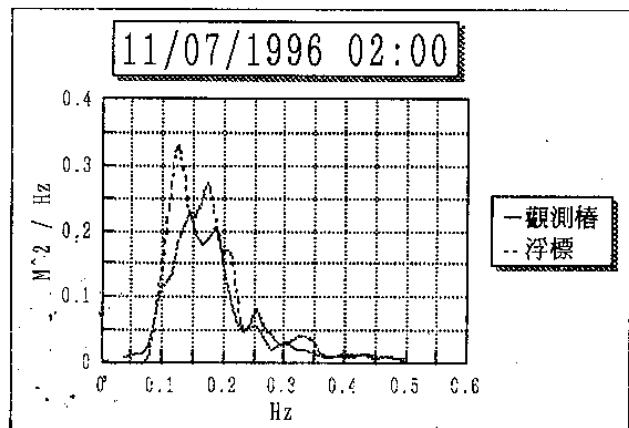
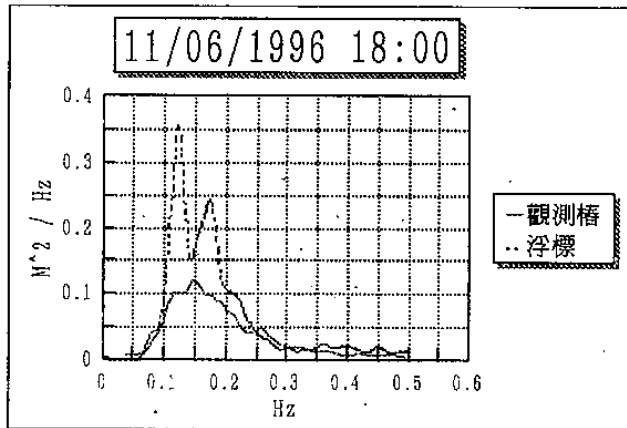


圖7. 逐時波譜比較圖

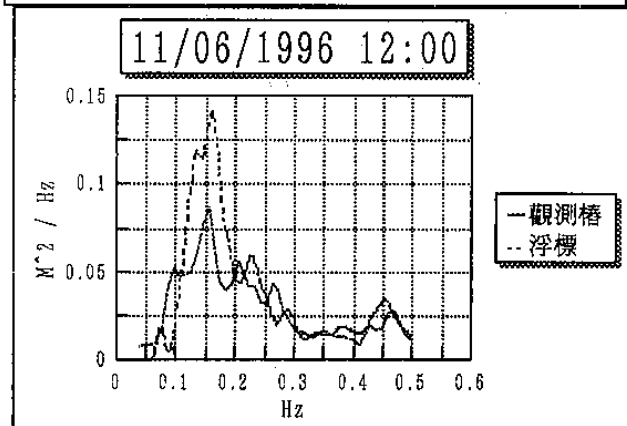
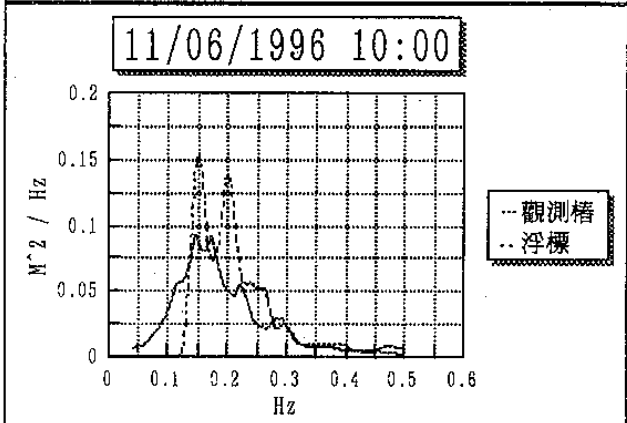
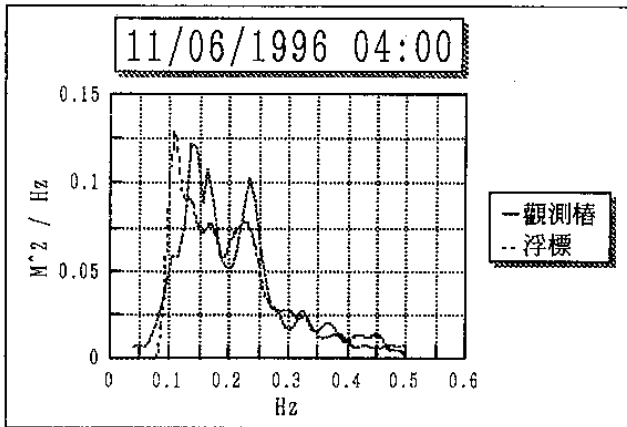


圖8. 波譜比較圖

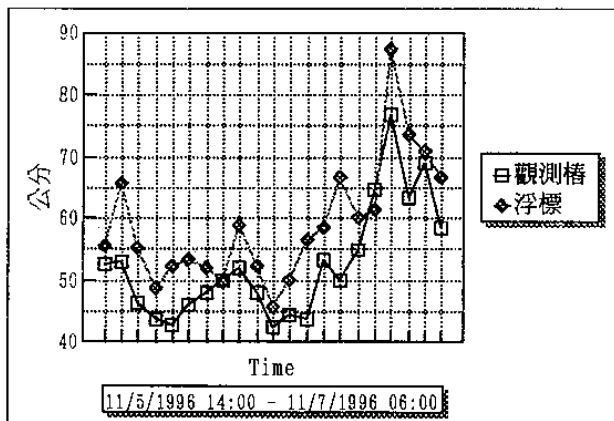


圖9. 示性波高比較圖

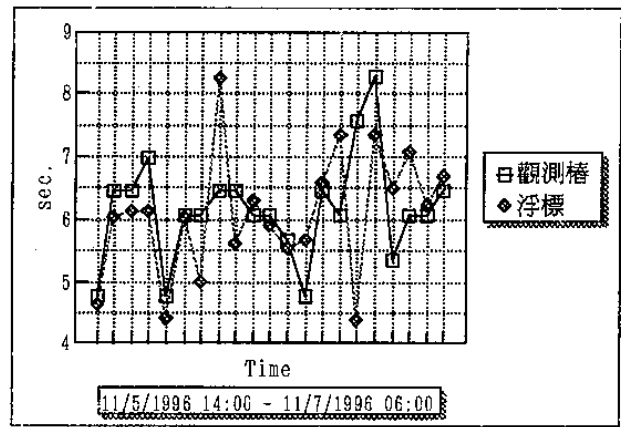


圖10. 示性週期比較圖

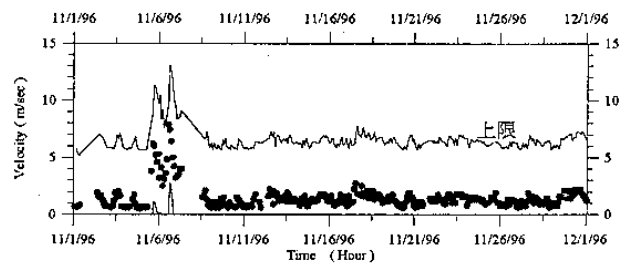


圖11-a 風速資料及品質範圍

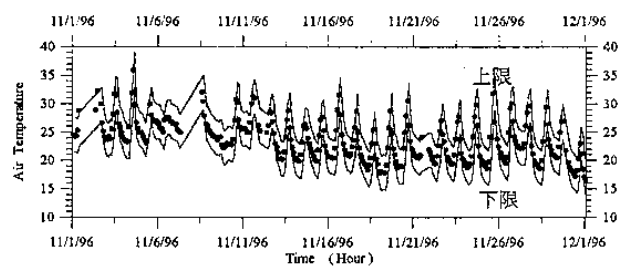


圖11-b 氣溫資料及品質範圍

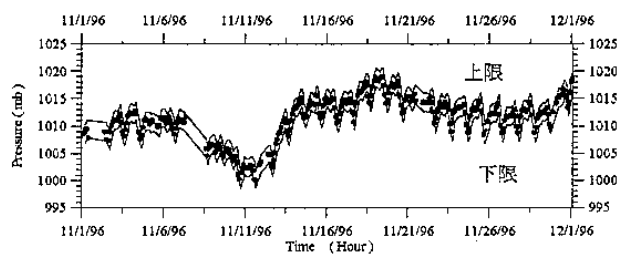


圖11-c 氣壓資料及品質範圍

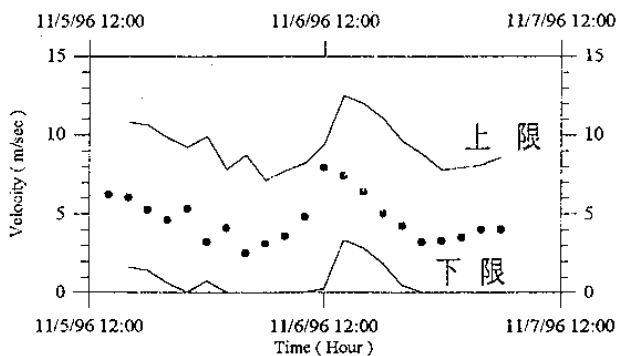


圖12-a 風速現場測試資料及品質系統範

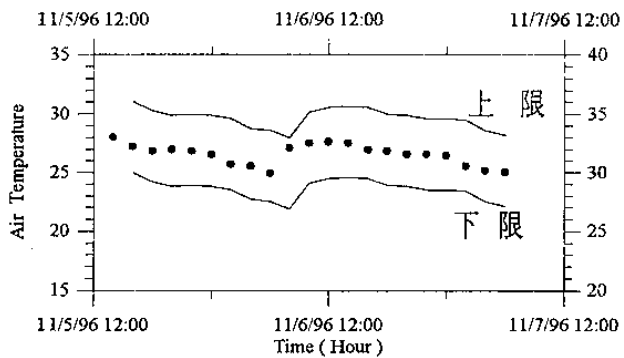


圖12-b 氣溫現場測試資料及品管系統範

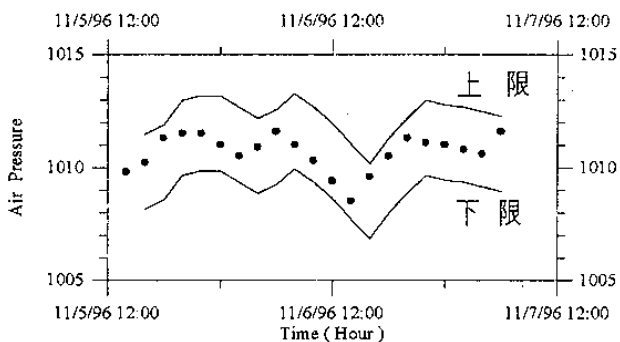


圖12-c 氣壓現場測試資料及品管系統範

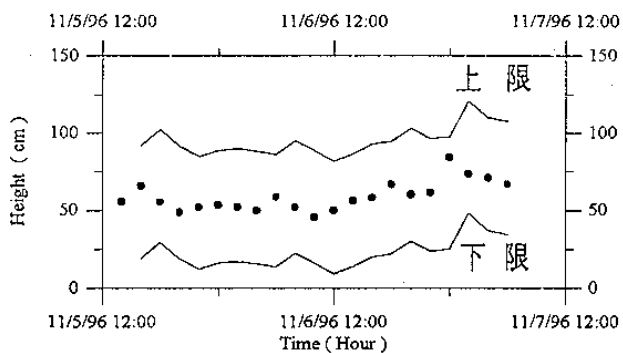


圖12-d 示性波高現場測試資料及品管系統範

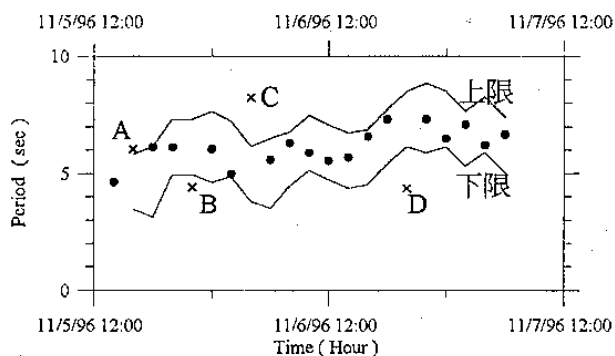


圖12-e 示性週期現場測試資料及品管系統範