

浮標觀測系統之建立

Establishment of the Data Buoy System

高家俊¹ 林演斌² 周恆豪³

成功大學水利系教授¹ 成功大學水利系研究助理² 成功大學水利系研究助理³

摘 要

中央氣象局海象測報中心為建立波浪觀測網，於民國 84 年起委託成大研究發展基金會研發海氣象資料浮標，目的是掌握資料浮標關鍵性技術，建立技術團隊、後勤支援系統以及觀測品管作業系統，用以執行長期作業化海氣象觀測任務。成大研究發展基金會以兩年的時間，依照美國海洋大氣總署(NOAA/NDBC)的規範研發產製出適合本省海域環境的海氣象資料浮標，並於 86 年 5 月完成花蓮和新竹外海佈放設站工作，開始執行作業化觀測，期間於民國 86 年夏天經歷 WINNIE 及 AMBER 兩個颱風，測得示性波高 11.9m 之巨浪，證明了浮標觀測颱風巨浪之能力。

本文詳細說明浮標觀測系統之研發內容，包括浮標系統之設計、測試與佈放，觀測數據品管作業流程，系統監控，數據傳輸以及後勤維修系統之建立。目前花蓮和新竹兩個資料浮標仍持續執行作業化海氣象觀測任務，每兩小時觀測一次，數據以無線電即時傳至岸上，每天兩次透過電話傳至成大，執行數據品管作業，然後用網際網路將品管後之數據送往氣象局海象測報中心，作為檢核海氣象預報之參考。

一、前言

中央氣象局於民國 83 年成立海象測報中心，積極推動海氣象觀測業務，以期提昇海象預報準確度，海象中心成立後，引進多種波浪預報模式，對海象測報準確性之提高助益良多。為了檢驗波浪預報模式之準確性，必須有外洋深海之波浪觀測資料為參考依據，鑑於資料浮標是外洋深海中常被使用的觀測工具，且國內欠缺作業化的浮標觀測系統，因此委託成大研究基金會從事資料浮標觀測系統之研發與建立，期能掌握關鍵技術，並建立技術操作團隊，以支援氣象局作業化海氣象觀測任務。基金會依據 NDBC 浮標之規範，加上國內現有之海象觀測技術，著手建立自主性浮標觀測系統。本系統歷經兩年的研發，經過嚴格的測試，技術已粗具規模，並已完成設站工作，開始執行作業化觀測。

二、系統設計

依據 NDBC 之規範，完整的浮標系統包含浮標殼體、錨繫系統、量測儀器系統、資料收取、控制、處理分析與通訊系統、電力與輔助系統、岸上處理系統，分別說明如下：

(一)浮標殼體

浮標殼體包含上層結構、儀器室及水下結構，其中上層結構用以安裝氣象觀測儀器，儀器室用以安裝控制核心及電瓶，水下結構用以連接錨鍊。須具備以下條件：

1. 在設計條件內，能抵抗惡劣海況，不致翻覆，確保觀測資料不中斷。
2. 為了正確地觀測波浪特性，須具有良好的隨波性，忠實地反應波浪之運動。
3. 良好的水密性，確保儀器室內不會發生滲水現象，導致控制系統失效。

4. 良好的運動特性：浮標體於水面上運動，有其自然振動頻率(Natural Frequency)，此自然振動頻率不可介於一般海洋波浪之頻率帶內(0.03~0.40Hz)，否則將因共振效應而影響波浪量測之準確性，甚至危及浮標之安全。目前本計劃所使用的浮標為直徑 2.5m 之碟型浮標，詳如圖 1。

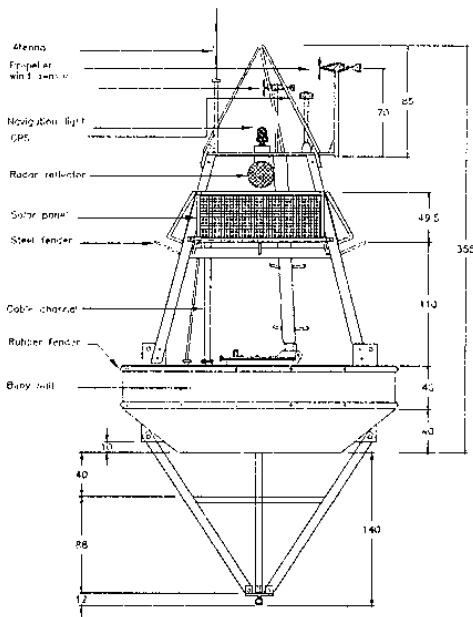


圖 1. 浮標本體設計示意圖

(二) 錨繫系統

浮標為定點觀測，須有一錨繫系統，使浮標在自然的波浪、風、海流、潮流作用下，不致漂移。錨繫系統分為錨碇及錨鍊二部份，錨碇固定於海床，於水中藉著重力產生足夠的摩擦力，用以抵抗由錨鍊傳來的拉力。錨鍊用以連接浮標及錨碇，將浮標繫留於特定範圍內。

兩浮標均佈放於近海海域，基於經濟上及作業安全性之考量，浮標係以漁船或竹筏執行施放及回收，受限於漁船之噸位及設備限制，錨碇塊無法由漁船或竹筏載運，因此特別設計一浮動式錨碇，如圖 2，由漁船拖航至測點，在到達預定佈放點後，將錨碇上之閘門打開使錨碇沈至海底。為抵抗海水鹽份對錨鍊之腐蝕，於錨鍊上加裝防蝕鋅塊，做為犧牲陽極。

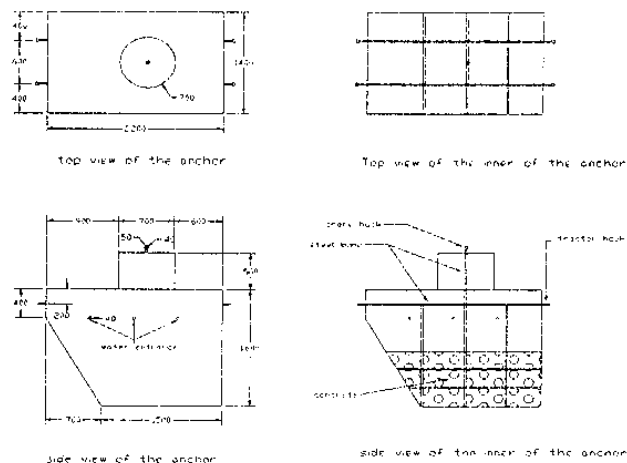


圖 2. 浮標錨碇設計示意圖

(三) 量測儀器系統

資料浮標之量測項目包括水溫、氣溫、氣壓、風速、風向、波浪，依照 NDBC 之規範，各物理量之量測範圍如表 1。

項 目	量 測 範 圍	解 析 度	準 確 度
1. 風速	0- 50 m/s	0.1 m/s	1 m/s
2. 風向	0- 360 deg.	1.0 deg.	10 deg.
3. 氣溫	-20- 70 °C	0.1 °C	1 °C
4. 水溫	0- 50 °C	0.1 °C	1 °C
5. 大氣壓	800-1100 hPa	0.1 hPa	1 hPa
6. 方位	0- 360 deg.	1.0 deg.	10 deg.
7. 示性波高	0- 20 m	0.1 m	0.2 m
8. 平均週期	3- 30 sec	0.1 sec	1 sec
9. 波浪譜	0.03-0.4 Hz	0.01Hz	

表1. 資料浮標儀器量測規格

(四) 資料收取、控制、處理分析與通訊系統

資料浮標漂浮於海上，以太陽能為能源之來源，受限於浮標體積，能源有限，因此浮標上的儀器系統必須作特別的省電設計，基於此，資料浮標的資料收取與分析採用兩套系統，其中資料收取系統之耗電量極小，為全天候開機，並兼具控制其它系統電源開關之功能，於取樣前開啓感應器(Sensors)電源，取樣完成後關閉感應器電源，並開啓分析系統電源，進行資料分析，於分析系統分析完成後，再開啓通訊系統電源，將觀測資料傳回岸上接收站，傳輸完成後，資料收取系統再將分析系統、通訊系統之電源關閉，等待下一次的觀測作業。

浮標觀測資料之傳輸，可選用無線電通訊或衛星通訊，無線電通訊受傳輸距離之限制但較經濟，衛星通訊不受傳輸距離之限制但較昂貴，花蓮、新竹兩站均在無線電之通訊範圍內，因此採用無線電通訊，爲了進一步研究參考用及探討波浪資料分析之正確性，於作業初期除了傳輸資料分析結果外，亦將波浪原始時序列數據傳回岸上。

(五) 電力與輔助系統

電力系統供給浮標上所有儀器、設備及夜間警示燈之電力，確保觀測作業正常進行，設計上須自給自足，包含太陽能板及蓄電池，太陽能板於日間受陽光照射產生電力，對蓄電池充電，蓄電池具蓄電及緩衝功能，會將日間日照充足時剩餘的電力儲存起來，作爲夜間及天候不佳、太陽能板發電量不足時浮標系統之電力來源。此外，浮標上僅能裝設有限數量的太陽能板，因此必須選用低耗電之感應器及設備，並控制其電源開關之時間，將浮標耗電量控制在一定範圍內，以免充電量不足，耗盡蓄電池之電力。

(六) 岸上處理系統

岸上處理系統包括位於佈放點附近的岸上接收站、位於成功大學之資料品管站及位於氣象局海象中心之資料處理站。岸上接收站架設於浮標佈放點附近岸上，隨時等待接收浮標之觀測資料，接收後保留一定期限之資料，並將觀測資料透過電話線路傳到資料品管站。資料品管站之功能爲資料監控與品管(Data Monitoring & Quality Control)，基於此需求，建立了一個操作團隊，工作人員除每日監控浮標之狀況、作成監控記錄，機動地針對兩浮標之異常狀況快速反應外，並執行人工資料品管、作成品管記錄，以提升資料觀測之成功率與品質。

三、系統測試及校驗

爲了提升浮標系統的穩定性及確保量測品質，進行了一系列測試，包含氣密性測試、浮標殼體自由運動特性測試、Z 軸加速度測試、羅盤儀校

驗(Heading Calibration)、長期線上作業測試、短期現場測試，說明如下：

(一) 氣密性測試

爲了確保浮標儀器室內不會發生滲水現象，當浮標於實驗室組裝完成時，以空氣壓縮機將空氣打入儀器室內，進行氣密性測試，以找出滲漏處並處理，同時，爲了確保佈放前於港內組裝之確實性，港內組裝後再進行一次氣密性測試，通過後才可執行拖放作業。

(二) 浮標殼體自由運動特性測試

浮標殼體於水面自由運動時有其自然振動頻率，一般海洋波浪之頻率帶爲 0.03Hz~0.40Hz，假如浮標之自然振動頻率介於一般海洋波浪之頻率帶內，會造成共振效應，影響波浪資料之品質，甚至危及浮標安全。爲瞭解浮標殼體之自然振動頻率，於成功大學造船系實驗水槽中進行浮標殼體自由運動特性測試，其自由運動頻譜如圖 3、圖 4 所示。

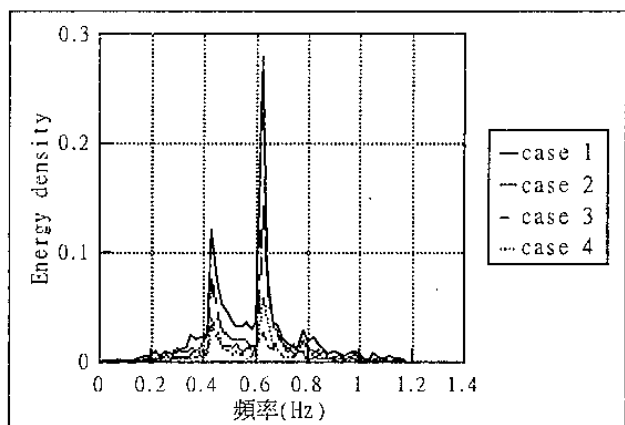


圖 3. 浮標起伏(Heave)自然振動頻譜

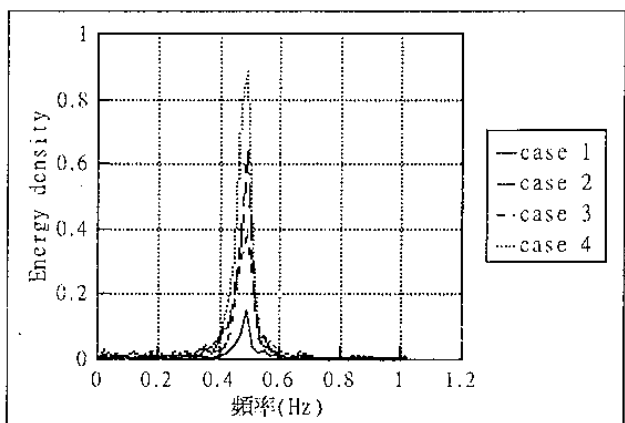


圖 4. 浮標傾側(Pitch or Roll)自然振動頻譜

圖 3. 中，Z 軸加速度譜有兩個尖峰(Peak)，頻率分別為 0.43Hz 及 0.625Hz，圖 4. 中，Y 軸傾角譜之尖峰頻率(Peak frequency)為 0.488Hz，由圖 3.、4. 知，浮標殼體於水面自由運動時，不論是上下起伏運動(Heave)或 Y 軸傾側運動(Pitch or Roll)之自然振動頻率皆不在一般海洋波浪頻率帶內，不會因共振效應而影響波浪資料之品質。

(三) Z 軸加速度測試

浮標以 Z 軸加速度間接計算示性波高(Significant Wave Height)及平均週期(Average Period)，為瞭解 Z 軸加速度對示性波高量測之準確性，將加速度計置於一旋轉臂半徑為 1m 之動態率定機上，控制馬達之轉速使臂以不同之頻率旋轉，待穩定後記錄 Z 軸加速度時序列數據，換算成水位譜後再以逆傅利葉轉換法(Inverse F.F.T.)計算水位時序列，再用零上切法(Zero-up-crossing)計算 $H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ ，結果如表 2。

f_p (Hz)	$T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/3}$ (cm)	ΔH (cm)	error (%)
0.055	17.7	217	+17	+8.5
0.098	10.1	203	+3	+1.5
0.127	7.7	206	+6	+3.0
0.346	3.0	194	-6	-3.0

表 2. Z 軸加速度測試結果

由表 2. 知，在極低頻率時($f_p=0.055\text{Hz}$)， $H_{1/3}$ 之量測誤差為 8.5%(17cm)，在其它頻率， $H_{1/3}$ 之量測誤差均小於 3.0%(6cm)。

(四) 羅盤儀校驗(Heading Calibration)

在海面動態的環境中，浮標以羅盤儀來定殼體之指向(Heading)，羅盤儀受到殼體及設備等磁性物質之影響，會產生偏差，影響風向及波向資料之品質，為確保浮標系統羅盤讀數之正確性，於成功大學實驗水池中進行羅盤儀校驗，結果如圖 5.，圖

5. 中，花蓮、新竹浮標殼體同為鋼鐵材質，但儀器室之構造不同，造成羅盤率定結果不同。因此，必須針對個別的浮標系統進行羅盤儀校驗，不能任意引用其它浮標之羅盤率定值。

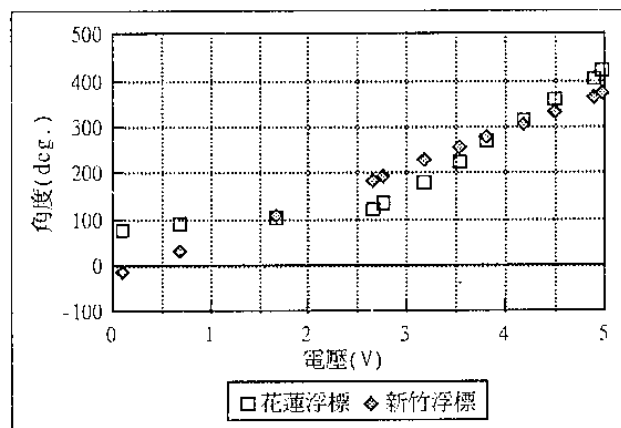


圖 5. 浮標羅盤率定圖

(五) 長期線上作業測試

為確保浮標系統儀器設備長期運作之穩定性及驗證觀測資料之品質，當浮標系統組裝完成後，除了進行前述之測試及現場測試外，均安置於成功大學之實驗場地，執行長期線上作業測試，工作人員須定期檢驗浮標系統之穩定性及量測資料之正確性，與鄰近氣象站之部份觀測資料作長期比對，作成文件記錄，以供日後參考。

(六) 短期現場測試

為檢驗浮標在海上之系統運作能力及獲得浮標觀測系統組裝、分解、拖放之作業經驗，工作人員於高雄外海南星計劃觀測樁旁執行三次短期現場測試，並與樁上之觀測資料進行比對，作為浮標觀測系統改善之依據，並且在短期測試期間進行浮標佈放回收訓練與測試。

四、佈放

基於經濟上及作業安全性之考量，特別設計一套以漁船或竹筏拖放連結完成之浮標、錨鍊、錨碇之方式拖放花蓮及新竹浮標，其步驟說明如下：

- (一) 參考天氣預報，選定日期出海至預定佈放點執行水深測量，以瞭解佈放點附近海域之海底地形並確定佈放點。
- (二) 參考天氣預報，選定拖放日期。
- (三) 為防止運送過程中之振動破壞觀測儀器，於實驗室拆解浮標系統，將觀測儀器、控制系統與浮標殼體分別以不同車輛運輸。
- (四) 到達預定佈放點鄰近之港口後，於港內岸上進行儀控系統組裝及測試，確定動作正常後封箱。
- (五) 組裝浮標之下層結構及部份錨鍊。
- (六) 將浮標殼體、錨碇、錨鍊依序吊入水中，並於碼頭旁進行錨鍊之連結。
- (七) 進行氣密測試。
- (八) 以漁船或竹筏將浮標、錨鍊、錨碇之結合體拖放至佈放點，潛水人員下海開啓錨碇之進水閥門，使錨碇沈入水中。
- (九) 確認浮標已錨碇完成後回航。

五、資料品管

觀測資料之準確性，必須依靠定期儀器檢校，以消除儀器系統誤差，以及日常數據監控品管，確保觀測系統之正常作業。本計劃為確保資料準確性，建立了一套資料品管系統，儀器組件每年必須檢校、測試，取得檢校報告，並有系統建檔管理，確保儀表正確性，數據品管方面，參考 NDBC 之規範，依據南星計劃觀測樁之海氣象資料，訂出自動數據檢驗中之合理變動範圍，建立合理性、連續性、關聯性之自動數據檢驗步驟之標準，作為自動資料品管之依據，並於浮標佈放後，執行日常人工資料品管，茲說明如下：

(一) 合理性檢驗

認定觀測資料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佈放地點之海況條件有關，以花蓮為例，各海氣

象元素之合理範圍如表 3.：

項	目	上	限	下	限
1.	風速	50	m/s	0	m/s
2.	氣溫	40	°C	0	°C
3.	水溫	40	°C	0	°C
4.	大氣壓	1100	hPa	800	hPa
5.	示性波高	15	m	0	m
6.	平均週期	20	sec	2.5	sec

表 3. 資料浮標合理性檢驗標準

(二) 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，以南星觀測樁之海氣象資料進行迴歸分析，訂立檢驗標準如表 4-1.、表 4-2.：

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		6.09		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 4-1. 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 4-2. 資料浮標連續性檢驗標準

(三) 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，現已建立之關聯性檢驗如表 5.：

回歸方程式	相關係數	90%信賴區間
$\hat{H}_{1/3} = 0.577 \cdot U + 0.5275$	0.287	$\hat{H}_{1/3} \pm 4.168 \cdot \sqrt{1 + \frac{(U - 5.532)^2}{27106.1}}$
$\hat{H}_{max} = 1.4933 \cdot H_{1/3} + 0.0623$	0.980	$\hat{H}_{max} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/3} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\hat{H}_{1/10} = 1.2370 \cdot H_{1/3} - 0.0003$	0.980	$\hat{H}_{1/10} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/3} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\hat{H}_{over} = 0.6232 \cdot H_{1/3} + 0.0186$	0.998	$\hat{H}_{over} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/3} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\hat{T}_{10s} = 1.1670 \cdot H_{1/3} + 3.8572$	0.998	$\hat{T}_{10s} \pm 1.277 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/3} - 1.331)^2}{11936.4}}$
$\hat{T}_{1/3} = 1.9424 \cdot H_{1/3} + 3.6065$	0.545	$\hat{T}_{1/3} \pm 0.839 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/3} - 0.849)^2}{5144.6}}$
$\hat{T}_{1/10} = 1.5329 \cdot H_{1/3} + 3.8117$	0.724	$\hat{T}_{1/10} \pm 1.039 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/3} - 1.051)^2}{7902.3}}$
$\hat{T}_{12sec} = 2.4146 \cdot H_{1/10} + 2.8701$	0.679	$\hat{T}_{12sec} \pm 0.524 \cdot \sqrt{1 + \frac{(H_{1/10} - 0.5479)^2}{2006.9}}$

表 5. 資料浮標關聯性檢驗標準

(四) 人工資料品管

自動品管系統對未通過自動資料品管之資料加以標記，操作團隊之工作人員再根據學理及其它觀測資料、鄰近測站資料或天氣圖等資訊研判其正確性，並作成文件記錄，若為正確資料，則去除標記並立即提供，若資訊不足、無法研判或為錯誤資料，則繼續保留標記，不提供此觀測資料。

六、漁民宣導與狀況排除

兩浮標佈放前，成大基金會即定期派員會同中央氣象局人員至全省各地向漁民宣導，使漁民瞭解資料浮標對海象預報之重要性並能善加保護，可惜新竹浮標佈放後，先後分別遭海釣船及補烏魚漁船撞擊，導致儀器設備毀損，資料中斷，兩次撞擊事件發生後，經技術團隊工作人員緊急出海搶修，已恢復大部份功能，持續執行觀測作業中。

花蓮浮標佈放後，於 AMBER 颱風期間遭遇 11.9m 之示性波高，超出了浮標之設計波高，導致錨碇鬆動，將浮標拖入海中達七天，事後雖尋獲浮標，但因長期沈浸於水中，導至儀器故障，已由工作人員緊急使用備份儀器替代，並重新佈放於花蓮外海。

七、觀測成果與未來展望

歷經二年多努力，成大研發基金會已建立起自主性的作業化浮標觀測系統，佈放後兩浮標測得民國 86 年夏天 WINNIE 及 AMBER 颱風侵台期間之海氣象資料，圖 6. 為 WINNIE 颱風過境期間浮標波浪變化圖，圖 7. 為 AMBER 颱風過境期間浮標波浪變化圖。

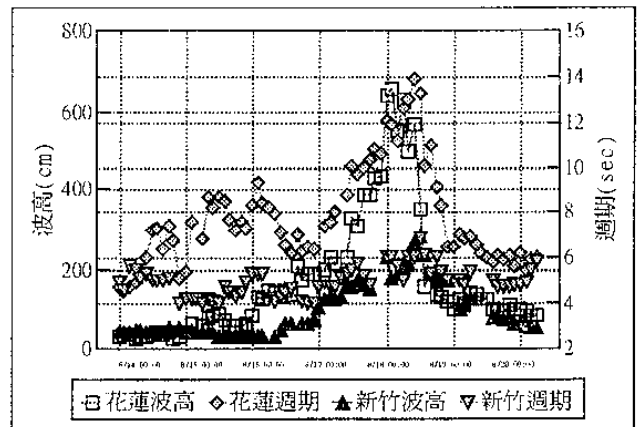


圖 6. WINNIE 颱風過境期間浮標波浪變化圖

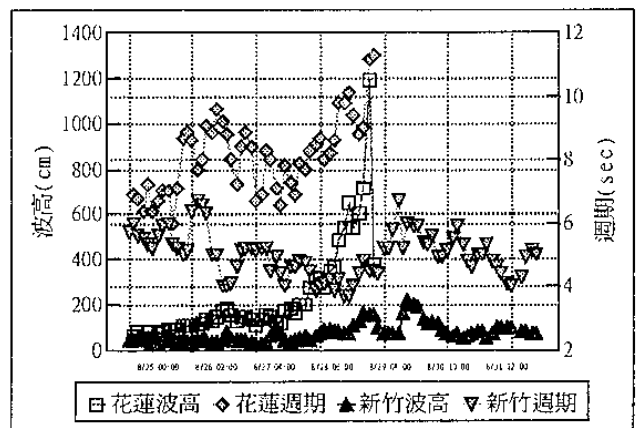


圖 7. AMBER 颱風過境期間浮標波浪變化圖

如同 NDBC，25 年來仍持續改善其浮標系統，顯示必須有一操作團隊持續操作、改良浮標觀測系統。為進一步增強浮標系統之功能、穩定性，提升觀測資料品質，以及經濟上之需求，尚有以下數點須持續研發及改進：

- (一) 海氣象變化有地域上之差異，因此當花蓮、新竹浮標取得足夠的資料後，須以各自的觀測資料為基礎，定期重新修訂區域性的自動資料品管標準，使自動資料品管之依據更為合理。
- (二) 以海洋工程學理及長期的觀測資料為依據，建立起兩個浮標與鄰近測站資料之相關性，作為海洋工程設計及海象預報之參考。
- (三) 經由自動品管系統標記之異常資料很有可能是正確的資料，若就此棄置不用，非常可惜，因此必須持續投入人力進行日常人工資料品管，仔細對異常數據進行學理探討，以期由作業化觀測中，強化對環島海氣象之瞭解。
- (四) 以衛星通訊模組取代無線電通訊模組，增加浮標之遠洋通訊能力，擴大浮標設站範圍至遠洋，對於海氣象預報有更大的助益。
- (五) 為了配合台灣本地環境之特性，特別為浮標設計了可供拖放的錨錠塊，此錨錠塊目前為一次投放之消耗品，費用頗高，需要改良設計，以達經濟之需求。
- (六) 錨鍊長期沈浸於海水中，其力學特性會因腐蝕與摩擦受影響，為了瞭解力學特性受影響之程度，須配合定期進廠保養作業，將錨鍊送交測試單位測試力學特性，以取得改進與設計之依據。
- (七) 開發更省電的資料分析模組，除了可減少每次浮標觀測作業之時距，增加資料觀測密度外，亦能延長電源系統損壞時之作業時間，減少資料中斷發生。

八、參考文獻

1. 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集，125-146
2. 董東璟、莊士賢、高家俊，1997：“海氣象觀測資料品管系統之建立”，第 19 屆海洋工程研討會論文集，477-484
3. 鄧中柱，1993：“作業化資料浮標之評介”，中央氣象局氣象學報，第 39 卷，第 2 期，116-123
4. C-C Teng, H.T.Wang, 1995：“Mooring of Surface Wave Following Buoys in Shallow Water”，OMAE
5. H.O. Berteaux, 1976：Buoy Engineering，John Wiley & Sons, U.S.A.，55-66, 97-131, 149-203
6. 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
7. M.A.Waltz, R.L.Boy, D.R.May, 1989：NDBC Mooring Design Manual，NOAA, U.S.A.，SSC, MS39529-6000
8. 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
9. M.S.Longuet-Higgins, D.E.Cartwright, N.D.Smith, 1961：“Observations of the directional spectrum of Sea Waves Using a Floating Buoy”，Proceeding of a Conference on Ocean Wave Spectra, Chapter 3, 111-131
10. 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.