

小型浮標觀測技術之研發

饒國清¹、林演斌²、陳聖學³、施孟憲³、黃清哲⁴

摘要

本文介紹成功大學近海水文中心所自行研發直徑 1.2m 的小型資料浮標，作為近岸碎波帶內水深更淺之海域以及潟湖等區域的海象觀測設備。該設備之能源自給自足，並具有波浪、表面海流以及表層水溫等海象特徵的作業化觀測以及即時傳輸的能力。經由與 2.5m 資料浮標進行同步觀測試驗及觀測數據之比對，確認了兩組浮標測得之示性波高以及平均週期結果的一致性。此外，1.2m 小型資料浮標對小週期波浪的隨波性將更為顯著，凸顯了風浪成長初期海域以及風域較小區域之波浪觀測的優勢。

一、前言

台灣四面環海，海岸線全長約 1139 公里，平均每平方公里陸地即有 32 公尺長的海岸線。因地狹人稠，土地資源不足的限制，使得部份海岸土地之開發已延伸至潮間帶及淺水海域，部份海岸地區之土地呈現高度開發，海堤後方即為農田、道路甚或住家，獨特之海域環境使得近岸海域空間與資源的永續利用面臨嚴重考驗。近年隨著全球氣候變遷的徵兆浮現，海平面上升的議題持續被關注，海岸地區的保護以及永續發展等工作更加刻不容緩。然而不論是工程設計、防災預警或是海岸管理，海陸交界處的環境資訊為其中之關鍵。掌握此區域自然環境資訊的二大法門，一是數學模式，一是現場觀測。其中，現場觀測尤其重要，不但直接提供海域環境資訊，同時亦是數學模式賴以運算的依據。

國際上先進國家之作業觀測單位如美國國家海洋大氣總署(NOAA)設計了各種不同型式與尺寸之資料浮標，依不同的觀測作業需求以及布放地點選用適當型式尺寸之浮標，搭配適當的錨繫設計，以達到最佳化之觀測，其浮標體直徑從 12m 至 1.5m 皆有。我國已成功引進 NOAA 的觀測技術與規範及資料品管作業(鄧，1994)，建立起本土化海氣象觀測技術及嚴格之數據品管系統(董等，1997；Kao et al., 1999)，將研發、製造、布放、監控、數據品管、維修及檢校與服務結合為一貫化作業，使整個觀測作業皆可由國人自行掌控，而不須處處受限於國外廠商。藉由現代化觀測技術的引進與研發，精良的數據品管及專家的

諮詢意見，建立一個高品質即時的海氣象觀測網，提昇救災搶險的決策效率及品質。海氣象監測技術之發展包括提昇本土化觀測技術與服務能量、研發適宜之長期自動化現場觀測儀器系統、引進國外最新觀念與技術、整合國內技術團隊，始能掌握現代化儀器關鍵性技術，以確保海洋環境監測作業能穩定而持續地執行。成大近海水文中心於 1989 年開始研發海域環境觀測技術，進而建構以資料浮標、岸邊氣象站以及水位監測站所組成台灣環海的海洋觀測網。多年來作業化監測台灣近海之海氣象之特徵，除作為行政單位進行近海管理規劃以及防災預警與救災決策之用，也提供學術研究單位改進數值模式的資料來源。在交通部中央氣象局、經濟部水利署以及交通部觀光局等政府部門的努力下，目前環台灣海域計有 15 座直徑 2.5m 的資料浮標站，作業水深範圍從約 20m 到將近 6000m，用來觀測海象(波高、週期、波向、方向譜、水溫)與氣象(氣壓、氣溫、風速、風向)等資訊。由於掌握關鍵之技術，資料浮標具有功能擴充之能力，已於 2009 年起部份測站納入流速剖面觀測。

除了上述布放於海上碎波帶外的海上浮標觀測之外，因應海岸防護工程、海域遊憩安全規劃以及學術研究等所需的淺水區域觀測之需求也逐漸提高。例如：海岸防災或施工所需的防波堤前海象以及淺水或潟湖遊憩區域內的海象資訊等，雖已受到地形環境之影響，但能直接有效反映出局部海域的海域環境特徵。因此成大近海水文中心於 2009 年起在現有直徑 2.5m 資料浮標基礎之下，進行適用於更近岸淺水區域的直徑 1.2m 小型資料浮標技術之研發。

本文介紹小型資料浮標之相關技術內容，包括觀

1 國立成功大學近海水文中心系統組長
2 國立成功大學近海水文中心計畫經理
3 國立成功大學近海水文中心研究人員
4 國立成功大學水利及海洋工程學系教授及
近海水文中心主任

測項目、作業方式以及後端資料分析之方法等。為能確認小型資料浮標應用於海上觀測之實用性，小型資料浮標與現有 2.5m 資料浮標同步觀測結果的研究與分析也將於本文討論。

二、系統簡介

使用商品化觀測系統雖有便利之優點，但對於數據產出過程以及資料分析方法是否適合使用者的需要，這些資訊都不易獲得。使用者只能被動地相信所量測的資料，萬一監測的資料不正確，造成學術研究的謬誤或工程設計的失當，這後果可能比沒有提供資料還要嚴重。另外，商業儀器系統通常在設置後運作的短期間內可能不會出現問題，但在海上惡劣的環境作用下，難免會出現損壞或故障的情形，送回原廠檢修所耗費的時間與金錢甚鉅，最重要的是造成觀測作業中斷，這情形在以海象預報或防災搶險為目的之作業中是不容許發生的。

穩定的電力供應是海上作業化觀測的關鍵，小型資料浮標電力系統是以內建之鋰電池設備進行穩定供電，並以太陽能板對鋰電池充電。系統之觀測項目包括了：波浪、表面海流以及表層水溫等。由於浮標作業位置為近岸之海域，也是現有手機的基地台訊號所能涵蓋的區域，因此所測得的資料皆透過 GPRS 設備進行資料實時傳輸。為確保海上浮標作業之安全，系統設有警示燈與 GPS。系統之整體外觀如圖 1 所示。

表 1 說明了 2.5m 資料浮標與 1.2m 小型資料浮標之設備細節。考慮到隨波性之需求，兩種類型浮標均為碟型設計。1.2m 浮標體型較小，浮力相對較小，考慮到水下錨繫之重量，此類浮標適合於水深較淺的近岸短期觀測。小型資料浮標使用之觀測儀器規格如表 2 所示，儀器安裝位置則如表 3 所示。



圖 1 小型浮標外觀

表 1 2.5m 資料浮標與 1.2m 小型浮標設備之比較表

| 浮標種類 | 2.5m 浮標 | 1.2m 小型浮標 |
|------|--|--|
| 材質 | 鋁合金、發泡材 | 發泡材 |
| 布放水深 | 20~6000m | 小於 25m |
| 浮力 | 總預浮力 3,220kg 保留之預浮力 1400kg 以上 | 總預浮力 750kg 保留之預浮力 116kg 以上 |
| 直徑 | 2.5m | 1.2m |
| 高度 | 4.95m | 2.1m |
| 重量 | 1,310kg | 116kg |
| 外型 | 碟型 | 碟型 |
| 觀測項目 | 波浪、風、氣溫、 氣壓、表層水溫、 流速剖面 | 波浪、表面海流、 表層水溫 |
| 觀測時間 | 每 1~2 年整套更換， 回廠保養 | 一年以內之短期觀測 |
| 傳輸方式 | 無線電、GSM、 GPRS、衛星 | GPRS |
| 航行警示 | 警示燈、雷達反射器、 GPS | 警示燈、GPS |
| 特點 | <ul style="list-style-type: none"> 觀測項目完整 可長時間自動即時觀測 國內自行研發維護保養快速 | <ul style="list-style-type: none"> 體積小作業方便 可針對近岸重點需求觀測 國內自行研發維護保養快速 |

表 2 1.2m 小型浮標儀器規格表

| 項目 | 量測範圍 | 精確度 |
|-------------|-------------|---------|
| 水溫計 | 0~50 °C | 0.05 °C |
| 加速度計 | -1~+1 G | 0.02 G |
| 傾角計 | -30~+30 deg | 0.6 deg |
| 羅盤儀 | 0~360 deg | 3 deg |
| 流速儀 | -5~+5 m/s | 流速測值 1% |
| 全球定位儀 (GPS) | - | 15 m |

表 3 1.2m 小型浮標儀器安裝位置表

| 儀器名稱 | 安裝位置 |
|-------|-------------|
| 水溫計 | 水面下約 35 cm |
| 波浪儀 | 水面下約 15 cm |
| 單點流速儀 | 水面下約 140 cm |

三、儀器作業以及資料分析方法

小型浮標資料分析項目計有一維波譜、示性波高、平均週期、尖峰週期、方向波譜、主波向、平均流速、平均流向、平均水溫。各項資料分析方法如下所述：

(一) 波浪參數

1. 一維波譜計算

- (1) 系統於整點前 10 分鐘以 2Hz 取樣頻率取樣浮標之加速度、傾角以及羅盤等訊號，共取

得 1,200 點數據。利用快速傅利葉轉換(FFT)取其中 1024 點的數據進行加速度譜之計算。

- (2) 浮標加速度譜經雜訊修正函數修正，再經過轉換函數(Transfer function)轉換後得到一維波譜。
- (3) 示性波高、平均週期、尖峰週期與一維波譜間皆存在定量關係，透過波譜矩求得之。

2. 方向波譜、主波向計算

- (1) 快速傅利葉轉換(FFT)。
- (2) 計算自相關譜與交錯相關譜。
- (3) 採用 Longuet-Higgins (1963)發展之有限傅利葉法分析計算傅利葉係數，求得方向分布函數。
- (4) 利用一維波譜及方向分布函數之乘積求得方向波譜。
- (5) 找尋方向波譜中能量密度最大處所對應之方向，即為主波向。波向定義為波浪之來向。

(二) 平均流速、平均流向

1. 擷取整點前 6 分鐘之資料，取樣頻率為 1 Hz。將每 60 點原始資料平均得到 1 分鐘原始平均值，再取 6 分鐘平均值。
2. 將樣本經向量計算平均流速、平均流向。流向定義為海流去向。

(三) 平均水溫

1. 擷取整點前一分鐘之資料，取樣頻率為 2Hz。將 120 點原始資料平均得到原始平均值。
2. 計算原始資料之標準偏差。
3. 將偏離原始平均值 1 倍標準偏差以上之數據視為雜訊，自原始資料中去除。
4. 將去除雜訊後之有效樣本平均，即得平均水溫。

四、分析與討論

1.2m 小型資料浮標自 2010 年 7 月 1 日布放起約獲兩個月的資料，其間大部分為西南季風期間，少部分時間亦受颱風湧浪影響，將之與鄰近的 2.5m 資料浮標分析比較，可研判 1.2m 小型資料浮標在波浪、水溫及海流等觀測項目之觀測品質，從而判定 1.2m 小型資料浮標在近岸觀測之可靠性。其中小型浮標之整體設計與 2.5m 資料浮標有些許差異，這可能會影

響波浪之隨波性，進而影響波浪量測之準確度，因此有進行嚴謹比對與討論之必要。現場試驗之系統設置在屏東縣東港鎮之青洲濱海遊憩中心西南方外海約 4 公里處，位置如圖 2 所示。



圖 2 試驗地點圖

4.1 示性波高與平均週期

於 2010 年 7~8 月試驗期間，前述兩組浮標之示性波高與平均週期觀測結果分別如圖 3 以及圖 4 所示。兩組浮標波高與週期觀測結果之間的相关係數都超過 0.96。波高與週期比對結果之率定斜率也皆超過 0.9。兩浮標示性波高的均方根誤差為 8.4 cm，平均週期的均方根誤差則小於 0.30 sec。以上結果說明兩只浮標殼體雖然設計不同，但在利用加速度儀量測示性波高與平均週期方面，1.2m 小型資料浮標具有與 2.5m 資料浮標相近之準確性。

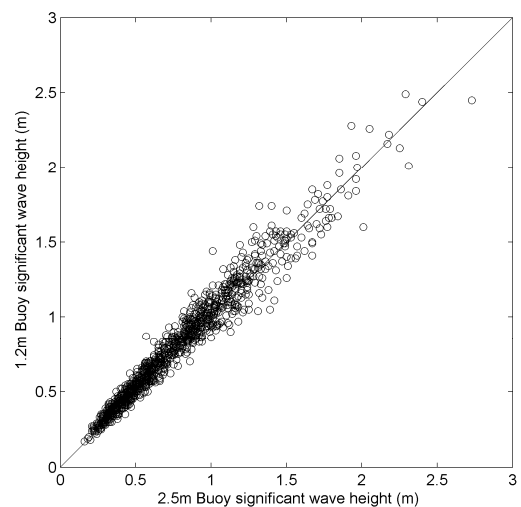


圖 3 示性波高比對圖

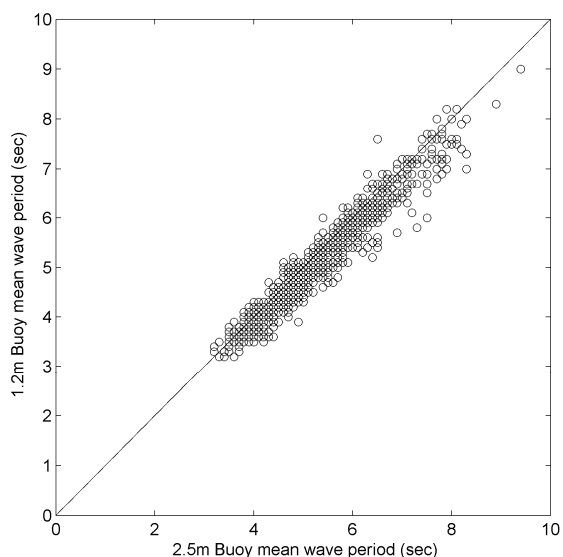


圖 4 平均週期比對圖

4.2 尖峰週期

尖峰週期定義為波譜尖峰頻率之倒數，物理上可解讀為發生最大能量之波浪週期，在工程設計上為重要參考指標，另一方面，也可作為波譜自動品管之指標。本文以 200 組頻帶波譜計算尖峰週期，頻率解析度為 0.002Hz，結果發現 1.2m 小型浮標與 2.5m 資料浮標在 2 個月的觀測資料中，時序列大致相符，如圖 5，相關係數約為 0.8。

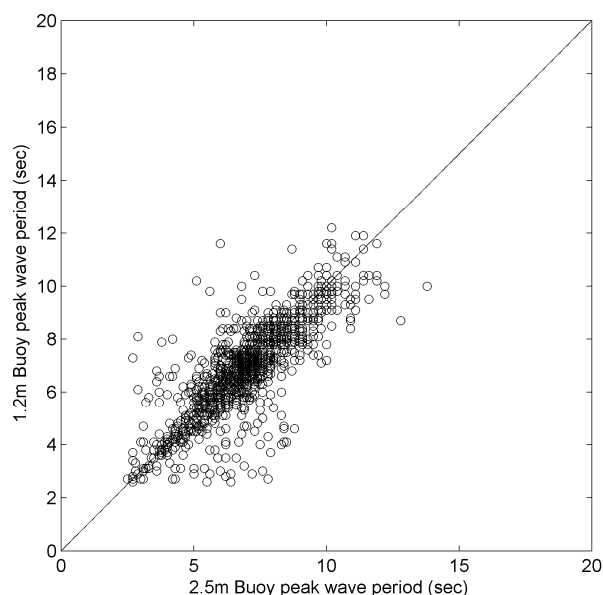


圖 5 尖峰週期比對圖

進一步探討兩種類型浮標尖峰週期觀測結果差異較大的案例，發現有約六成的案例中(圖 6 呈現其中一組案例)，浮標測得之波譜並無明顯之主頻能量。換言之，在海域波浪特徵並非窄譜(narrow-band

wave spectrum)或是多峰譜的條件下，不易決定其尖峰週期。此外在尖峰週期觀測結果差異較大的案例中，約有兩成五的案例之 1.2m 小型資料浮標測得波譜的高頻能量明顯較 2.5m 資料浮標測得波譜的高頻能量更高，其案例如圖 7 所示。說明了 1.2m 小型資料浮標對於短週期波的隨波性較 2.5m 資料浮標更為明顯。這凸顯了風浪成長初期海域以及風域較小區域(如：封閉海域或潟湖)之波浪觀測的優勢。

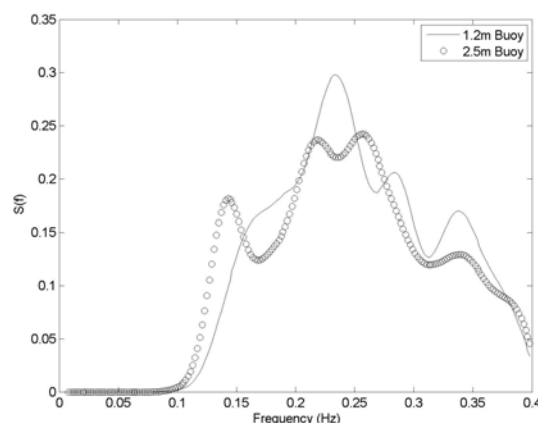


圖 6 無明顯主頻之波譜案例

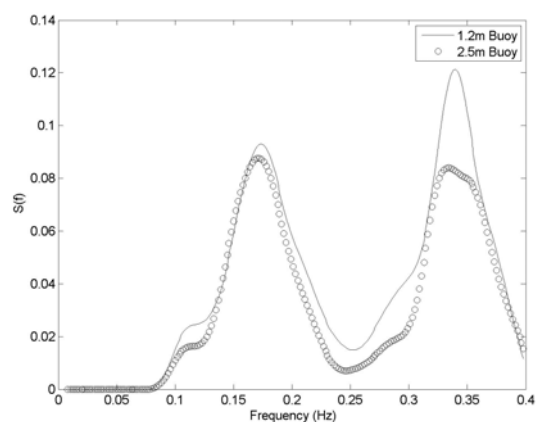


圖 7 波譜高頻能量差異之案例

4.3 主波向

主波向定義為方向波譜上，能量最大之方向，物理上的意義為最大能量波浪的來向，兩浮標之主波向比對如圖 8。圖 8 顯示兩者主波向大致相符，其相差約有九成在±45 度內，即一個象限之內。為瞭解主波向差異大之發生原因，需進一步檢查波浪儀原始資料，主要為 X 方向與 Y 方向傾角，其中之一案例如圖 9 所示，可發現 1.2m 小型浮標運動於 X 與 Y 方向的傾角變動程度較 2.5m 資料浮標的傾角大，說明了

1.2m 小型浮標的隨波性會較 2.5m 資料浮標更為明顯，這對於近岸碎波後或是潟湖區域內的波浪特徵觀測有其優勢。此外，從圖 9 的結果也發現到 X 方向與 Y 方向傾角訊號之平均值有顯著不同，1.2m 小型浮標的傾角訊號平均值並非為零。換言之，1.2m 小型浮標的傾角訊號值並非在零值附近震盪。此種穩定的平均值偏差非由波浪運動所引起，應是受到水下錨繫拉扯的影響，致使浮標傾角會有一定量值的偏差。經由將 1.2m 小型浮標之傾角以 zero-mean 的方法修正後，其主波向可獲得改善，如圖 10 所示。相較於未以 zero-mean 的方法修正之主波向，更為接近 2.5m 資料浮標之主波向。但仍有部分案例的誤差仍較大，是否尚有其他因素，有待再進一步研究。

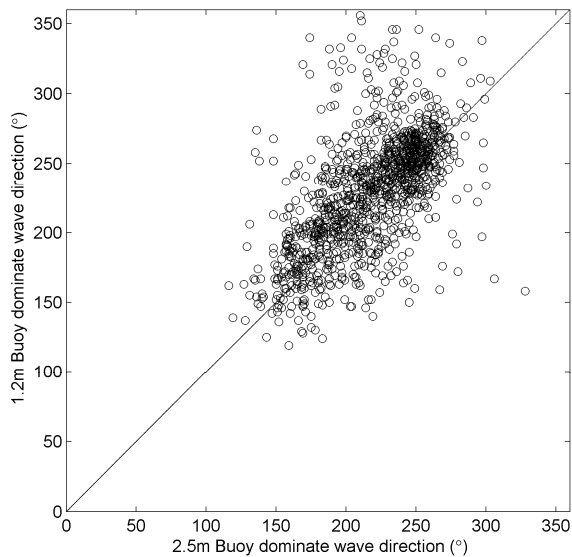


圖 8 主波向之比對

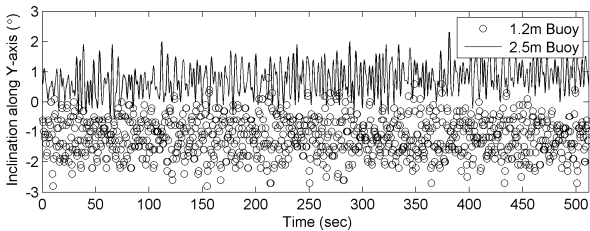
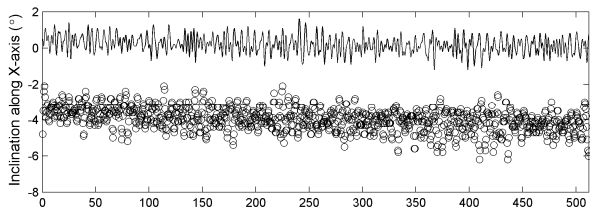


圖 9 X 與 Y 方向傾角之案例

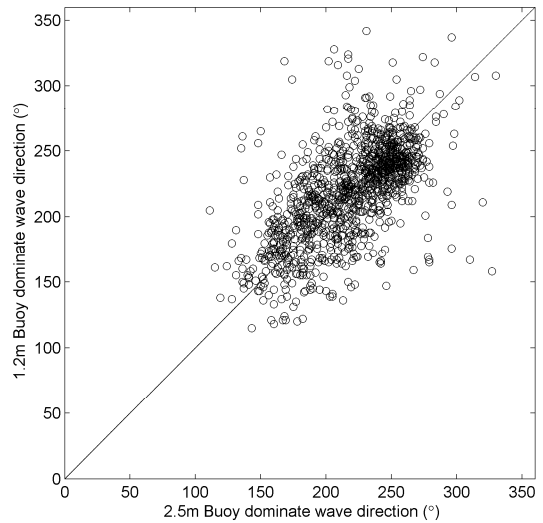


圖 10 主波向之比對(修正後)

4.4 平均流速、平均流向

1.2m 小型浮標上加裝有單點流速儀，可量測表層海流資料，並具即時回傳之功能。觀測期間之海流資料如圖 11，可顯示其完整量測水面下 1.4m 的流速流向資料。圖 11 顯示主要流向約為西北與東南，約與海岸線走向平行，此特性說明流向為合理。

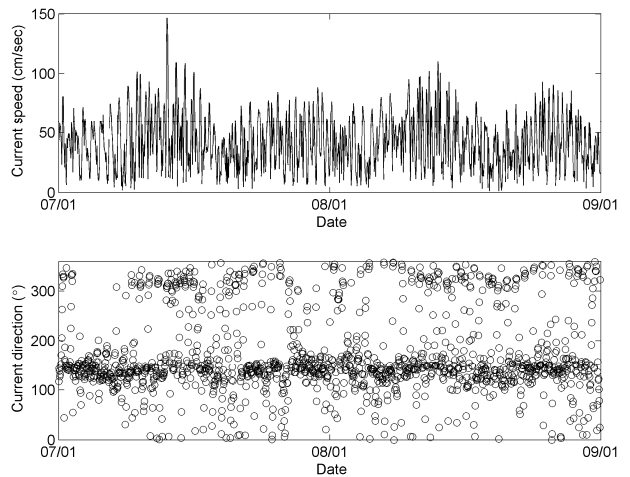


圖 11 海流觀測時序圖(上圖為流速、下圖為流向)

五、結論

除外海之海象特徵外，近岸淺水碎波帶內之海域或是內海潟湖區域的海氣象特徵也是海事工程設計、海岸防災以及海域管理規劃等之基礎。本文介紹適合於更淺水深的 1.2m 小型浮標觀測系統，其能源自給自足，並設有警示燈與 GPS 等設備，作為海上

船艦迴避以及測站位置監控之用途。系統具有波浪、表面海流以及表層水溫等項目的觀測以及即時傳輸的能力。

為能確認 1.2m 小型浮標的觀測能力，本文將 1.2m 小型浮標與 2.5m 資料浮標進行同步觀測試驗。經過比對確認兩組浮標波高以及平均週期觀測結果都十分相近，兩種觀測項目的相關係數都超過 0.96。至於兩組浮標測得之尖峰週期則有較大之差異。探究兩組浮標同步測得之譜型，發現部分案例的 1.2m 小型資料浮標測得波譜的高頻能量明顯較高，因而解釋了兩組浮標同步測得的尖峰週期會有所差異之原因。因 1.2m 小型資料浮標對於短週期波的隨波性較 2.5m 資料浮標更為明顯，這凸顯了風浪成長初期海域以及風域較小區域之波浪觀測的優勢。透過兩組浮標主波向的比對，確認了水下錨繫對兩組浮標傾角觀測之影響。透過浮標傾角的修正，能改善部分案例的波向觀測偏差。

六、謝誌

承蒙交通部中央氣象局、經濟部水利署以及交通部觀光局提供海氣象觀測資料，行政院國家科學委員會補助發展海洋環境監測技術，使本文得以順利完成，謹致感謝之意。

七、參考文獻

1. 鄧中柱，1994，作業化資料浮標之評介，海象預報與分析研討會論文集，pp. 33-45。
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，海洋工程研討會論文集，pp. 477-484。
3. Kao, C.C., Chuang, L.Z.H., Lin, Y.P., Lee, B.C. (1999) An introduction to the operational data buoy system in Taiwan, Proc. of the Intl. MEDCOAST Conference on Wind and Wave Climate of Mediterranean and Black Sea, pp.33~39.
4. Longuet-Higgins, M.S., Cartwright, D.E., Smith, N.D. (1963) Observations of the directional spectrum of sea wave using the motions of a floating buoy, Proc. Conf. Ocean Wave Spectra, pp. 11~132.