

適用於近岸的浮標觀測資料分析研究

林演斌¹ 陳聖學² 施孟憲² 黃清哲³ 高家俊⁴

¹ 國立成功大學近海水文中心計畫副理兼品保組長

² 國立成功大學近海水文中心研究人員

³ 國立成功大學水利及海洋工程學系教授、近海水文中心主任

⁴ 國立成功大學水利及海洋工程學系教授、國研院台灣海洋科技研究中心主任

摘要

國內之作業化資料浮標係於 1995 年起由中央氣象局委託成功大學研製，其直徑為 2.5m，是為了同時滿足各種業務需求而設計(以下以 2.5m 資料浮標稱之)。然而於更靠近海岸、水深更淺之海域，觀測項目較為單純，以波浪、海流為主。有鑑於此，成功大學近海水文中心進行直徑為 1.2m 之近岸浮標開發與資料分析研究(以下以 1.2m 近岸浮標稱之)。本文分析 1.2m 近岸浮標之波浪、海流、水溫資料，依分析結果顯示，於大鵬灣海域試驗期間，1.2m 近岸浮標之示性波高、平均週期、尖峰週期與 2.5m 資料浮標之均方根誤差分別小於 9cm、0.3 秒、1.2 秒，兩浮標水溫相關係數為 0.96，顯示 1.2m 近岸浮標觀測結果之可靠性。將 1.2m 近岸浮標之傾角扣除平均值再分析方向波譜，其主波向相較於未扣除傾角平均值之主波向，更為接近 2.5m 資料浮標之主波向，兩浮標之主波向相關係數從 0.59 提高為 0.61。

關鍵詞：資料浮標、波浪資料分析

Research on Data Analysis of the Coastal Data Buoy

Yen-Pin Lin Sheng-Hsueh Chen Mon-Shen Shi Ching-Jer Huang* Chia-Chun Kao

* Professor, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

ABSTRACT

In Taiwan, the 2.5m diameter operational data buoy was developed by NCKU and sponsored by CWB. It's dsigned for various demands. However, in areas which are very colse to the coastal line, The key data we need are wave and current. In this area, observation requirements are more simple. Because of this reason, COMC,NCKU started to develop 1.2m diameter coastal data buoy and research skills on wave data analysis for the near coastal area. This article analyze wave, current and water temperature data of 1.2m diameter data buoy. During the test duration, the 1.2m diameter data buoy was deployed at Dapeng Bay area for verification. According to the result, the R.M.S. error of significant wave heights, mean wave periods and peak wave periods between the 1.2m diameter data buoy and 2.5m diameter data buoy are less than 9cm, 0.3 seconds and 1.2 seconds. The correlation coefficient of water temperature between two data buoys is 0.96. The above evidences show that the observation results of the 1.2m diameter coastal data buoy are reliable. The peak wave directions are improved by analyzing zero-meanded pitch and roll raw data when we analyze directional spectra. The correlation coefficient of peak wave direction between two buoys is improved from 0.59 to 0.61.

Keywords: Data buoy; Wave data analysis

一、前言

海岸變化主要受與潮汐影響。為進行海岸防護工程與規劃，需觀測近岸海域之波浪、海流與潮汐

等海氣象資料。品質穩定的海氣象資料，需有正常運作之觀測設備、良好的作業程序以及操作團隊等條件配合，其中觀測設備是海氣象觀測關鍵之一。可使用於近岸海域觀測波浪、海流之設備很多，國內用於長期作業化(Operational)觀測者為資料浮標(Data buoy)、海上觀測樁(Observation pile)與剖面式流速儀系統等。

國內自 1989 年起開始研究資料浮標，並於 1992 年布放於台中外海進行觀測，為資料浮標相關研究奠下良好基礎(黃、高，1993)。隨後中央氣象局於 1995 年起委託成功大學研製作業化海氣象資料浮標系統，成功引進美國國家海洋大氣總署(NOAA)的觀測技術與規範及資料品管作業(鄧，1991；鄧，1994)，進而建立本土化海氣象觀測技術及數據品管系統(高等，1998；Chia Chuen Kao et al., 1999;董等，1997)。之後中央氣象局、水利署與觀光局陸續採用 2.5m 資料浮標進行作業化海氣象觀測(金等，2000)。其使用成效良好，於這十年以上期間，提供實測資料供預報、防災、工程、遊憩與學術研究等領域應用。此期間在既有基礎之下，近海水文中心持續進行 2.5m 資料浮標改善(邱，2001；陳等，2007)與驗證(林等，2005)，以提昇資料品質與穩定度。

截至 2010 年 9 月共有 15 座 2.5m 資料浮標持續作業中，水深範圍從約二十公尺至將近六千公尺，作業觀測項目除波浪、風、表層水溫、氣壓、氣溫之外，於 2009 年起部份測站再納入流速剖面觀測，並仍有擴充其他觀測項目之空間。

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(<http://www.ndbc.noaa.gov/mooredbuoy.shtml>)。

國內為進行海岸防護工程與規劃以及海域遊憩安全所需，因觀測地點較為近岸，而且水深較淺，進行之觀測項目較為單純，僅以波浪、海流、潮汐為主，其中潮汐觀測可另於海岸邊選擇適當地點進行，於海域需進行之觀測項目僅剩波浪與海流，因此在現有 2.5m 資料浮標基礎之下，進行適用於近岸的浮標研發，本研究分析 1.2m 近岸浮標於海上測試期間之波浪、表面海流、表層水溫資料，與 2.5m 資

料浮標之觀測結果比較，以說明 1.2m 近岸浮標觀測資料之可靠性。

二、浮標系統簡介

目前作業化之 2.5m 資料浮標主要電力系統為以太陽能板對電瓶充電，可作業化觀測項目包括波浪、風、氣溫、氣壓、表層水溫、流速剖面，航行警示系統包括警示燈、雷達反射器以及 GPS，傳輸系統是選用無線電、GSM、GPRS 與衛星設備即時傳輸資料，每套 2.5m 資料浮標上均設計有備援傳輸功能。

1.2m 近岸浮標主要電力系統也是以太陽能板對電瓶充電，觀測項目包括波浪、表面海流、表層水溫，航行警示系統包括警示燈與 GPS，傳輸系統是以 GPRS 設備即時傳輸資料。

圖 1 為兩浮標外觀，表 1 為 2.5m 資料浮標與 1.2m 近岸浮標設備之比較表，由表中可以發現 2.5m 資料浮標與 1.2m 近岸浮標外型均為碟型，隨波性佳，有助於波浪量測準確性。1.2m 近岸浮標體型較小，浮力相對較小，只適合於水深較淺的近岸短期觀測，而且僅針重點項目觀測，包括波浪、表面海流、表層水溫。資料即時傳輸方面，因 1.2m 近岸浮標觀測地點接近岸邊，只需使用 GPRS 傳輸。1.2m 近岸浮標操作上的特色為體積小作業方便，且為國內自行研發，維護保養快速，可以針對個別需求調整觀測項目，適合各種近岸淺水區域使用。

目前 1.2m 近岸浮標使用之儀器規格如表 2 所示，水溫計量測範圍為 0~50°C，流速儀量測範圍為 -5~+5 m/s，儀器安裝位置如表 3 所示，波浪儀安裝於水面下 15cm 處，水溫計位於水面下 35cm 處，而流速儀安裝於水面下 140cm。

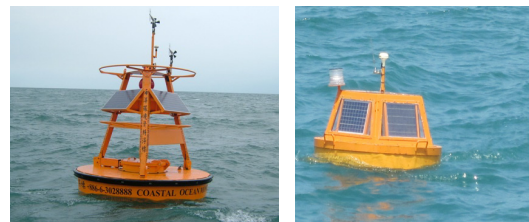


圖 1 2.5m 資料浮標(左圖)與 1.2m 近岸浮標(右圖)外觀

表 1 2.5m 資料浮標與 1.2m 近岸浮標設備之比較表

浮標種類	2.5m 資料浮標	1.2m 近岸浮標
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
優點	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	可針對近岸重點 需求觀測 體積小作業方便 國內自行研發維 護保養快速

表 2 1.2m 近岸浮標儀器規格表

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 近岸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、現場實驗佈置

為研究 1.2m 近岸浮標於海上觀測的可靠性，於今(2010)年將 1.2m 近岸浮標布放於 2.5m 大鵬灣浮標旁進行測試，布放地點距離 2.5m 資料浮標約 450m(如圖 2)，水深為 26m。大鵬灣浮標之觀測項目為波浪、風、氣溫、氣壓、表層水溫，1.2m 近岸

浮標之觀測項目為波浪、表面海流、表層水溫。

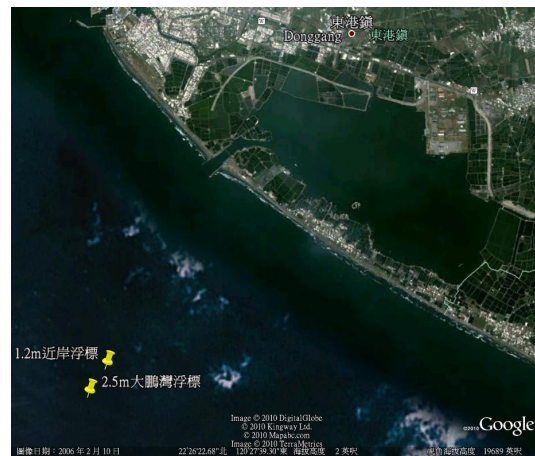


圖 2 試驗地點圖

四、資料分析與定義

1.2m 近岸浮標資料分析項目計有一維波譜(One dimensional spectrum)、示性波高(Significant wave height)、平均週期(Mean wave period)、尖峰週期(Peak wave period)、方向波譜(Directional spectrum)、主波向(Peak wave direction)、平均流速、平均流向、平均水溫。各項資料分析方法如下所述(Lonquet-Higgins et al.,1963 ; Marshall D. Earle,1996)：

(一) 一維波譜、示性波高、平均週期、尖峰週期，與方向波譜、主波向

於整點前 10 分鐘以 2Hz 取樣頻率取樣加速度、傾角、羅盤訊號，每一訊號取得 1,200 點數據，以前面 1024 點數據進行波浪分析：

1. 一維波譜計算

- (1) 利用快速傅利葉轉換(FFT)計算加速度譜。
- (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。

2. 示性波高、平均週期、尖峰週期計算

示性波高、平均週期、尖峰週期與一維波譜間存在定量關係，依據學理計算如下：

$$\text{示性波高 } H_s = 4.0 \times \sqrt{m_0}$$

$$\text{平均週期 } T_z = \sqrt{m_0/m_2}$$

其中 m_0 為波譜總能量， m_2 為波譜二次矩。

尖峰週期 T_p 為尖峰頻率 f_p 之倒數。

3. 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(Auto-spectrum)與交錯相關譜(Cross-spectrum)。
- (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之處所對應之方向，即為主波向，主波向定義為波浪來向。

(二) 平均流速、平均流向

擷取整點前 6 分鐘之資料，取樣頻率為 1 Hz，分析步驟如下：

1. 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，平均流向定義為海流去向。

(三) 平均水溫

擷取整點前一分鐘之資料，取樣頻率為 2Hz，分析步驟如下：

1. 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(Standard deviation)。
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。

五、分析與討論

1.2m 近岸浮標自 2010 年 7 月 1 日布放起迄今約獲兩個月的資料，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 近岸浮標在波浪、水溫及海流等觀測項目之觀測品質，從而判定 1.2m 近岸浮標在近岸觀測之可靠性。

3.1 示性波高與平均週期

將 1.2m 近岸浮標布放後兩個月期間的資料與鄰近之 2.5m 資料浮標進行比對分析，其時序圖如圖 3，由圖可知，於 2010 年 7~8 月試驗期間，兩者之示性波高與平均週期十分一致，進一步分析相關係數，分別達 0.97、0.96，如圖 4。兩浮標示性波高的

均方根誤差為 8.44cm，平均週期的均方根誤差則小於 0.295 秒。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 近岸浮標具有與 2.5m 資料浮標相同之準確性。

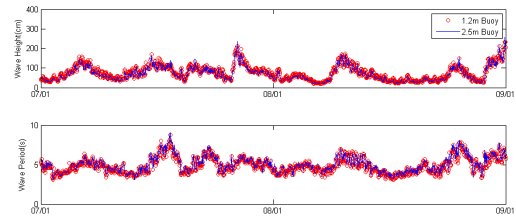


圖 3 示性波高(上圖)、平均週期(下圖)比對圖

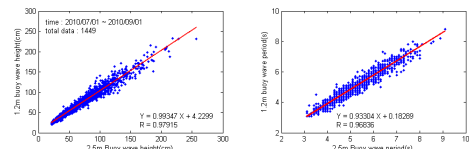


圖 4 示性波高(左圖)、平均週期(右圖)相關分析圖

3.2 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，在工程設計上具有重要參考指標，另一方面，也可作為波譜自動品管之指標。本文以 41 頻帶波譜計算尖峰週期，頻率解析度為 0.02344Hz，結果發現 1.2m 近岸浮標與 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，尖峰週期的均方根誤差小於 1.17 秒，相關係數約為 0.7。

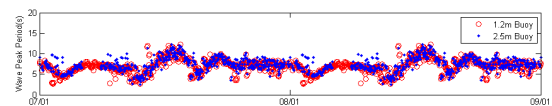


圖 5 尖峰週期比對圖

進一步探討不相符的案例，發現其一維波譜圖可分為四種類型(如圖 6)，分別說明如下：

- a. 1.2m 近岸浮標在低頻部分有低估或高頻高估之現象。
- b. 1.2m 近岸浮標在低頻部分有高估或高頻低估之現象。
- c. 1.2m 近岸浮標波譜發現低頻雜訊。
- d. 無明顯主頻。

進一步檢查尖峰週期差 3 秒以上之 45 個案例，發現大部分屬第四種情形，約佔 60%，其次為第一種情形約佔 25%，其他二三類佔少部分。顯示 1.2m 近岸浮標受小週期波浪影響較 2.5m 資料浮標為大。

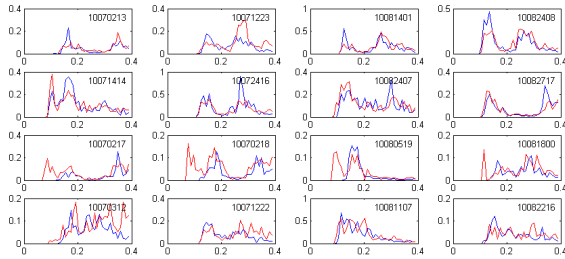


圖 6 一維波譜比對圖
(線條顏色較淡者為 1.2m 近岸浮標)

3.3 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，兩浮標之主波向時序圖如圖 7，由圖顯示兩者主波向大致相符，其相差約有九成在 ± 45 度內(即同一象限)。為了解主波向差異大之發生原因，進一步檢視兩浮標主波向差大於 90 度(排除波高小於 100cm)者之方向波譜繪出如圖 8，由圖中發現 1.2m 近岸浮標與 2.5m 資料浮標之主要能量分佈約相差 90 度。進一步檢查波浪儀原始資料時序列如圖 9，可發現在 Z 軸加速度，其量值等級(order)大約相當，因此示性波高測值準確性相當高，但在 X、Y 加速度及傾角部分訊號之平均值均有顯著不同，顯示 1.2m 近岸浮標運動的姿態與 2.5m 資料浮標不同，此種穩定的平均值偏差非由波浪運動所引起，經由將 1.2m 近岸浮標之傾角以 zero-mean 的方法修正後，其主波向獲得大幅改善(圖 10)，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，兩浮標之主波向相關係數從 0.59 提高為 0.61。但仍有部分時間誤差仍較大，是否尚有其他因素，有待再進一步研究。

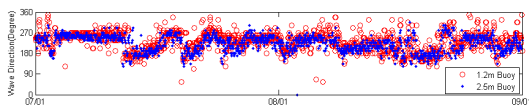


圖 7 主波向比對圖(修正前)

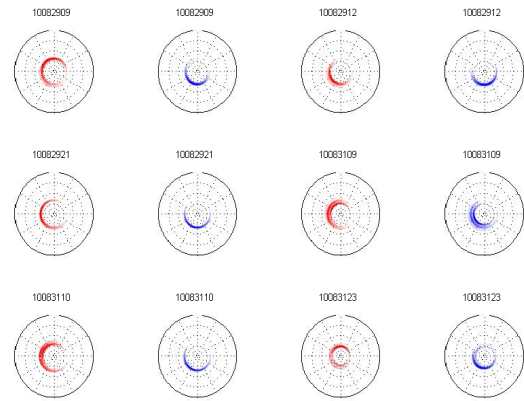


圖 8 方向波譜比對圖
(圖形顏色較淡者為 1.2m 近岸浮標)

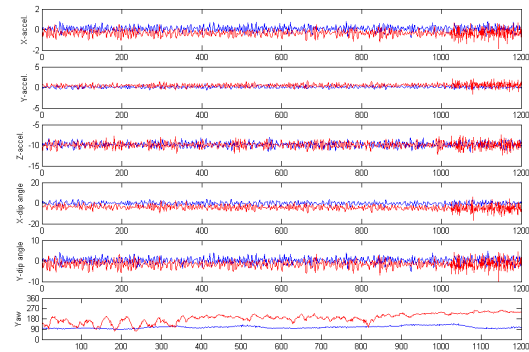


圖 9 波浪儀原始資料時序列圖(10082921)
(線條顏色較淡者為 1.2m 近岸浮標)

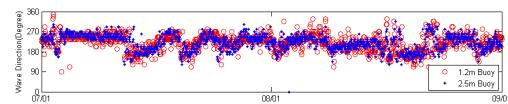


圖 10 主波向比對圖(修正後)

3.4 平均水溫

1.2m 近岸浮標可觀測表層水溫，將 1.2m 近岸浮標與 2.5m 資料浮標兩者之水溫時序列繪圖如圖 11，由上圖可初步判定水溫十分相符，進一步進行相關性分析如圖 11 下圖，相關係數達 0.96，說明 1.2m 近岸浮標之水溫觀測可以信賴。

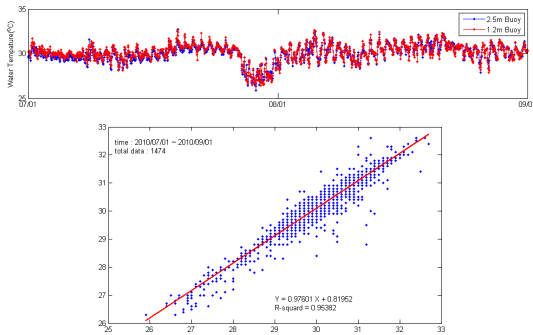


圖 11 水溫比對圖與相關分析圖
(橫軸為 1.2m 近岸浮標、縱軸為 2.5m 資料浮標)

3.5 平均流速、平均流向

1.2m 近岸浮標上有加裝單點流速儀，可量測表層海流資料並即時回傳，其觀測期間之海流資料如圖 12，可以完整量測水面下 1.4m 的流速流向資料，並且即時回傳。此段量測期間，流速流向觀測資料十分完整，圖 12 下圖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。

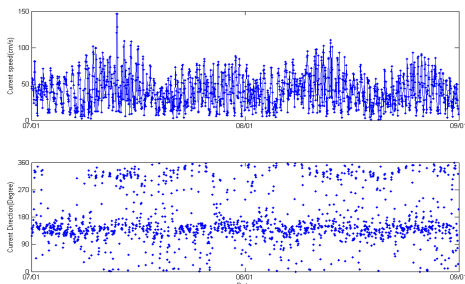


圖 12 海流觀測時序圖(上圖為流速、下圖為流向)

四、結論

經過比對 1.2m 近岸浮標與 2.5m 資料浮標觀測結果顯示，二者所測得的結果均所差無幾。其示性波高的均方根誤差在 9cm 以內，平均週期的均方根誤差則小於 0.3 秒，在頻率解析度為 0.02344Hz 時，尖峰週期的均方根誤差小於 1.2 秒。兩浮標水溫相關係數達 0.96。以上分析結果說明 1.2m 近岸浮標之觀測結果可以信賴。

將 1.2m 近岸浮標之傾角扣除平均值再分析方向波譜，其主波向相較於未扣除傾角平均值之主波向，更為接近 2.5m 資料浮標之主波向，兩浮標之主波向相關係數從 0.59 提高為 0.61。

謝誌

本論文引用中央氣象局與觀光局大鵬灣國家風景區管理處之大鵬灣浮標實測資料順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

- 鄧中柱(1991)「浮標系統與工程」，*資料浮標研討會論文集*。
- 黃明志，高家俊(1993)「國內資料浮標研發概況」，*中央氣象局氣象學報*，第 39 卷第 1 期。
- 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*。
- 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*。
- 高家俊，莊士賢，林演斌，周恆豪(1998)「作業化海氣象浮標觀測系統之建立」，*國際海洋年-海洋、海軍、科技研討會論文集*, pp.153-166。
- 金紹興，莊士賢，蔡嘉蓉，卓訓杰，林演斌(2000)「近海水文觀測方案之規劃與發展」，*第 11 屆水利工程研討會論文集*, pp.1-61-65。
- 邱銘達(2001)資料浮標量測波高波向準確度提升研究，國立成功大學碩士論文。
- 林家豐，呂理弘，林燕璋，徐月娟，高家俊，錢樺，邱銘達(2005)「觀測樁與資料浮標觀測波浪分析方法之評介」，*台灣海域作業化波流觀測技術研討會論文集*。
- 陳聖學，林演斌，施孟憲，董東璟，高家俊(2007)「風觀測改良研究」，*海洋工程研討會論文集*。
- Chia Chuen Kao, Laurence Z. Chuang, Yen-pin Lin & Beng-chun Lee(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.
- 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.
- Marshall D. Earle(1996),” Nondirectional and Directional Wave Data Analysis Procedures”, *NDBC Technical Document 96-01*.