

資料浮標量測方向波譜準確度提升研究

邱銘達¹ 卓訓杰² 錢樺¹ 莊士賢³ 高家俊⁴

摘要

利用資料浮標觀測波浪具有相對的可靠性、耐久性及經濟性，且其不受水深限制，是波浪現場觀測最主要也是最常用的方式。資料浮標可量測得波面水體的垂直加速度變化、波面的傾度變化，經過函數轉換及分析後可得到方向波譜。本研究之目的係在現行浮標硬體設計架構下改進波浪分析方法，以求得更準確的波浪資訊，包括波高、週期及波向。其中，波高及週期分析誤差最主要的來源是由加速度譜轉換為一維譜時的低頻雜訊干擾，對於此一干擾，本文以一維雜訊譜濾除其干擾，並改良一維雜訊譜的參數選取方法，使其更易於實際作業之應用，且可降低人為的主觀判斷。另在波向的估算上，資料浮標對波浪之軸不對稱動態反應是造成分析波向誤差的產生原因之一，本研究改良前人修正方向波譜的方法，使其進而能修正資料浮標對波浪之軸不對稱動態反應所造成的相位延遲不一致所產生之主波向誤差。經數值模擬驗證，該方法的確能消滅因資料浮標對波浪之軸不對稱動態反應所造成的相位延遲而對主波向估算所造成之影響。本研究並以上述改良的參數決定方法實際分析花蓮浮標之現場觀測資料，以降低示性波高、平均週期及尖峰週期發生異常的機率。而應用改良之主波向估算方法於花蓮現場觀測資料，顯示是否考慮波浪運動與浮標運動間之振幅響應因子及相位延遲因子，分析所得之主波向的差異介於 0~20 度之間。

Accuracy Improvement on the Directional Buoy Measurement and Analysis

Chiuo Ming-Da, Chou Shuen-Jyh, Chien Hwa Laurence Z.H. Chuang, Kao Chia Chuen

ABSTRACT

Data buoy, which features comparatively reliability and robustness, is the most frequent applied alternatives on the measurement of oceanographical data. The wave directional spectra can be obtained by analyzing the observed heave, pitch and roll motion of the buoy hull. The accurate determination of the directional spectra serves as a diagnostic tool for the quantification of key mechanisms governing the dynamics of ocean waves. The objective of present study is to improve the accuracy of directional spectra measurement and analysis. New algorithms are intended to be developed instead of modifying current hardware design and mooring structure. The low frequency noise contaminant, which can be magnified due to the linear conversion from the acceleration spectrum to the displacement spectrum, is the major cause of the inaccuracy. This kind of error leads to mistakenly estimate the significant wave heights and periods. To reduce the error, a correction function to eliminate low-frequency noise is developed based on the previous Lang's theory. The

1 國立成功大學水利及海洋工程所博士班研究生

2 國立成功大學近海水文中心 系統組組長

3 國立成功大學近海水文中心 副主任

4 國立成功大學水利及海洋工程所教授兼系主任

present method is then proven by numerical simulations and field data analysis to be capable of eliminating the noise. Moreover, the parameters, which should be determined depending on the sea state, is unified to single one in present method. This contributes to improve its applicability of routine analysis. Concerning to wave directionality analysis, the asymmetric response of amplitudes and phase differences of buoy hull to the waves are the major sources of inaccuracy. This asymmetric response comes from the combined mooring and wind-current effect. On the other hand, the instrumentation of slope measurement will affect the estimation of directional spreading as well. Bi-accelerometers or Gyroscopes, which are available from sensing industry, are widely utilized in the data buoy as inclinometers. However, both the mentioned instrumentations will be effected by the combinations of the two physical mechanisms: the centripetal acceleration from the orbital motion of wave particles and the real inclinations on the wave surface. These two forces apply on the inclinometers with opposite directions and nearly the same order of magnitude and will result in the slope measurement incorrect thus lead to misestimate the main direction and over-estimate the directional spreading. In order to improve the accuracy of directional spreading estimation, Steele's theory was modified and adopted in present study. The newly proposed method was then validated by numerical simulations. Finally, the results demonstrate that the differences of the main direction between the target and the output range from 0 to 20 degree when applying the method to the field wave data.

一、前言

目前常被使用的波浪觀測方法可大致分為直接觀測與遙測。前者係指觀測儀器直接與波浪接觸，直接觀測波浪之特性，如波高、週期、流速、波面垂直方向加速度以及波面坡度等，常見的觀測方法有儀器陣列法、資料浮標法、水壓式波浪計及雙向流速儀法等。遙測則利用攝影或無線電波來取得海浪資料，如超音波量測法、立體攝影法及運用衛星、雷達測波等。

在如上述的各種波浪觀測法中，資料浮標具有許多不易取代的優點。碟型資料浮標殼體直徑 2.5 米，載重量大，可供做長期的資料量測、可做即時與定時的資料傳送、儀器設置簡便、機動性高且不受水深限制等優點，而且於做深海資料量測時費用較低，是目前最常被應用來收集波浪資料的觀測工具。(鄧，1994)

隨著觀測技術的提升，目前已經能將現場海況的觀測數據即時傳輸至使用者端。即時觀測數據可應用於數值模式的計算結果校正。更高品質的波浪資料，有助於更精確的即時預報作業。

二、浮標測波原理及影響因素

2.1 浮標測波原理

浮標觀測波浪方向波譜所應用的原理為假設浮標殼體漂浮於水面，具有良好的隨波特性，則波

浪的波高大小可藉由量測因波浪起伏導致浮標體上下運動的加速度經轉換後獲得，波浪之傳遞方向則可由所量得之浮標傾角與搭載於浮標的羅盤讀數經轉換後獲得。圖 1 為碟型資料浮標運動示意圖。

假設水面變化 η 可以用無限多個不同振幅、頻率、相位及入射波向的餘弦函數疊加來表示，如式 (1) 所示：

$$\eta(x, y, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} a_{ij} \cos\{k_i [\cos(\theta_j)x + \sin(\theta_j)y] - 2\pi f_i t + \varepsilon_{ij}\} \quad (1)$$

式中， $\eta(x, y, t)$ 為波型函數，表示水面波浪與位置及時間有關， f_i 為成份波頻率， k_i 為波數為對應於 f_i 的波數， θ_j 為入射波的波向， a_{ij} 、 ε_{ij} 為對應於頻率及波向的振幅及相位。

假設浮標完全跟隨水面運動，則浮標所觀測之垂直加速度 Z_1 ，及在南北、東西向的斜度 Z_2 、 Z_3 以由式(1)對時間微分 2 次及各對 x 、 y 微分一次而得式(2)：

$$Z_1 \Big|_{x=y=0} = - \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} (2\pi f_i)^2 a_{ij} \cos(2\pi f_i t + \varepsilon_{ij}) \quad (2a)$$

$$Z_2 \Big|_{x=y=0} = - \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} a_{ij} k_i \cos(\theta_j) \sin(2\pi f_i t + \varepsilon_{ij}) \quad (2b)$$

$$Z_3|_{x=y=0} = -\sum_{j=1}^{\infty} a_{ij} k_i \sin(\theta_j) \sin(2\pi f_i t + \varepsilon_{ij}) \quad (2c)$$

浮標觀測之傾度為 pitch 及 roll，需經羅盤讀數 (yaw)，轉換成東西向及南北向的傾度。

利用浮標觀測之水位垂直加速度 Z_1 及經羅盤校正後之南北、西方向的斜度 Z_2 及 Z_3 可用以計算交錯譜 ϕ_{ij} (Cross Spectrum)。交錯譜之定義為交錯相關函數 (Cross Correlation Function) 之傅立葉轉換，交錯相關函數 $R_{ij}(\tau)$ 的定義如式(3)所示：

$$R_{ij}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \eta_i(t) \eta_j(t + \tau) dt \quad (3)$$

$\eta(t)$ 是波形函數， τ 為稽延時間，交錯譜可由式(4)獲得：

$$\phi_{ij}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{ij}(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (4)$$

方向波譜與交錯譜具式(5)之關係：

$$\phi_{ij}(f) = \int e^{-ikx_{ij}} \cdot S(f, \theta) d\theta \quad (5)$$

Isobe(1984)將式(5)導為一計算方向波譜的通式(6)：

$$\phi_{ij}(f) = \int_{-\pi}^{\pi} H_i(f, \theta) \cdot \overline{H_j(f, \theta)} \cdot \{ \cos[k \cdot (x_{ij} \cos \theta + y_{ij} \sin \theta)] - i \sin[k \cdot (x_{ij} \cos \theta + y_{ij} \sin \theta)] \} \cdot S(f, \theta) d\theta \quad (6)$$

其中 x_{ij} 及 y_{ij} 為量測的儀器間的幾何距離； $H_i(f, \theta)$ 為傳遞函數， $\overline{H_j(f, \theta)}$ 為傳遞函數的共軛，可由線性理論的脈衝響應法或頻率響應法計算得，其物理意義為轉換量測得不同有關於水位的物理量。

浮標之測波儀器(加速度器及傾角儀)乃觀測同一位置之 Z 軸加速度及傾度，故(6)式中之 $x_{ij} = 0$ 及 $y_{ij} = 0$ ，可簡化成式(7)：

$$\phi_{ij}(f) = \int_{-\pi}^{\pi} H_i(f, \theta) \overline{H_j(f, \theta)} S(f, \theta) d\theta \quad (7)$$

式(7)中之交錯譜 $\phi_{ij}(f)$ 可藉由量測波浪的不同有關於水位時序列的特性後(垂直加速度、傾度…)，經傅利葉轉換求得。傳遞函數則可將不同的物理量所求得之交錯譜，轉換至同一物理量。以碟

型資料浮標來說，觀測波面的垂直加速度及二個方向的傾度資料，共可得六組交錯譜，將此六組交錯譜分別代入式(7)後，再配合方向波譜分析方法，則方向波譜可以求出。

常見的方向波譜分析方法有有限傅利葉級數法、最大概似法、最大熵法、貝氏推估法及參數推估法等。其中有限傅利葉級數法具有計算快速、不易發散等優點，為目前最常被應用之方向波譜計算方法。其解如式(8)、式(9)所示：

$$S(f, \theta) = S(f) \cdot D(\theta|f) \quad (8)$$

$$D(\theta|f) = \frac{1}{\pi} \times \left[\frac{1}{2} + r_1(f) \cos(\theta - \theta_1(f)) + r_2(f) \cos(2\theta - \theta_2(f)) \right] \quad (9)$$

其中，

$$r_1(f) = (2\pi f)^2 \frac{\sqrt{Q_{12}(f)^2 + Q_{13}(f)^2}}{k(f) C_{11}(f)} \quad (10a)$$

$$r_2(f) = (2\pi f)^4 \frac{\sqrt{(C_{22}(f) - C_{33}(f))^2 + (2 * C_{23}(f))^2}}{k(f)^2 C_{11}(f)} \quad (10b)$$

$$\theta_1(f) = \arctan(-Q_{13}(f), -Q_{12}(f)) \quad (10c)$$

$$\theta_2(f) = \arctan(C_{22}(f) - C_{33}(f), 2C_{23}(f)) \quad (10d)$$

k 為波數(wave number)，以式(11)計算：

$$k = (2\pi f)^2 \sqrt{C_{22}(f) - C_{33}(f) / C_{11}(f)} \quad (11)$$

2.2 影響浮標測波的因素

浮標測波的邏輯誤差主要來源為進行測波時，外在環境實際狀況與量測原理中的假設前提不完全符合(Steele et al., 1985)：應用浮標進行波浪方向性觀測所做的主要假設有二：一、浮標殼體具有理想的隨波特性，亦即假設浮標殼體的運動與波浪水面變化在振幅及頻率上是一致的，且水位起伏造成浮標殼體上下位移、傾斜的反應是沒有時間差的；二、對軸對稱浮標的碟型浮標而言，pitch 與 roll 傾角反應是對稱的。

然而實際測波作業上，浮標殼體之隨波性非為假設中的理想狀態，尤其對頻率較高、波長較短的

波浪,良好的隨波性的假設並不能適用(Allender and Audunsow, 1989)。另一方面,浮標殼體經由繫纜錨錠於固定的海域之中,在流的作用下,浮標殼體將被流體牽引,由於底部受繫纜牽制,導致浮標殼體傾斜於流向,而使浮標失去軸對稱性,使 pitch 與 roll 傾角對波浪作用力的反應不對稱。

此外,使用資料浮標觀測波浪的一維能譜,是由固定於浮標殼體中的加速度計,量測浮標殼體隨水表面的起伏運動之加速度變化,然後求其加速度譜再經傳遞函數轉換即可得水波譜。依此一架構進行波譜之計算分析時,往往無法避免在低頻處會有能量放大之困擾。

本文將探討實際測波作業上,浮標殼體之隨波性非為假設中的理想狀態時的影響。而浮標殼體本身運動與水表面運動是否一致,及存在作用於浮標殼體之波浪以外的力,均會影響到資料浮標觀測波浪的結果。另一方面受限於傾角計只能量測靜態傾度的觀測特性,對於浮標隨水粒子做圓周運動所產生之向心力,亦會影響資料浮標的觀測值。

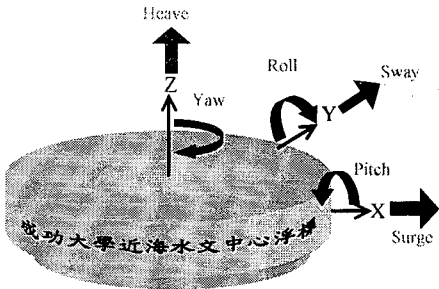


圖 1 資料浮標運動示意圖

三、一維能譜估算的改進

在實際測波作業上,加速度計儀器雜訊由於受加速譜與水位譜間傳遞函數 $(2\pi f)^{-4}$ 的影響,導致低頻部份能量有放大的現象,進而使波高及週期的估算發生偏差。對於此一不當放大的現象,本文另估算雜訊譜,並由加速度譜扣除雜訊譜的影響,以減低低頻不當放大的干擾。其中,以往一維雜訊譜的參數選取需要人為的經驗判斷,為使其更方便於實際之應用,並且降低人為的主觀因素影響結果,本文提出一維雜訊譜的參數選取方法,亦可將其經驗參數由原來的三個減化成一個。

3.1 低頻雜訊濾除經驗公式

對於資料浮標於低頻處產生之偽能量(雜訊),一般採用一與海況相關(sea state dependant)之雜訊譜修正經驗公式(Lang, 1987)來濾除此一原本即不存在之能量。

此一方法之基本假設為浮標測波之加速度譜能量在頻率 ≤ 0.02 [Hz]時為完全之雜訊(noise),依據此一假設而得到之一維雜訊譜修正經驗公式如式(12)。以下將對於此一公式之意義及參數之決定做一說明。

$$NC(f) = K * G[C_{11m}(0.01), C_{11m}(0.02) \times (CF - f)] \quad (12)$$

其中, $NC(f)$: 低頻雜訊譜, CF : 雜訊譜之截斷頻率, K : 經驗常數, G : 加權因子, 為 $C_{11m}(0.01)$ 與 $C_{11m}(0.02)$ 的函數, $C_{11m}(0.01)$: $f=0.01$ Hz 之實測加速度譜能量, $C_{11m}(0.02)$: $f=0.02$ Hz 之實測加速度譜能量。

由於加速度時序列受雜訊干擾時,在估算其一維波譜時會隨著頻率愈低,產生的干擾愈大。由式(12)知,只要事先求得雜訊譜之截斷頻率(CF)、經驗常數(K)、加權因子(G),則雜訊譜即 $NC(f)$ 即可求得。 CF 、 K 、 G 等參數的意義及求法說明如下:

雜訊譜之截斷頻率(CF): 指的是雜訊譜所存在之頻率範圍,由於頻率 ≤ 0.02 Hz 之加速度譜能量完全為雜訊所引起,隨著頻率的增加,漸漸的有實際的波浪能量反應於加速譜上,若波浪能量遠大於雜訊的能量時,則忽略此頻率之雜訊能量。

經驗常數(K)及加權因子(G)則決定了雜訊譜的斜率。為滿足基本假設,雜訊譜應該要能完全濾除 $C_{11m}(f \leq 0.02)$ 之能量。

3.2 雜訊修正因子的決定方法及其影響

求取雜訊譜之截斷頻率的方法為,將浮標觀測資料之加速度譜求出,由於假設頻率 ≤ 0.02 Hz 時為雜訊,將此部份之能量平均,並視為雜訊能量。以雜訊能量為橫座標、頻率 0.03Hz 處之能量為縱座標,並求出此二者間之相關係數。依序求得頻率為 0.04、0.05...0.15Hz 之加速度譜能量與雜訊能量之相關係數,如圖 2 所示。

若加速度譜能量與雜訊能量具有高度的相關性,則亦將此加速度譜之能量視為雜訊能量,隨著

頻率的增加，真實之波浪能量逐漸反應於加速度譜上，所觀測得之加速度譜能量與雜訊能量漸漸不具有相關性，則將此視為真實之波浪能量。而截斷頻率的決定即為決定雜訊譜的影響範圍。值得注意的是，並非指頻率小於截斷頻率之加速度譜能量全為雜訊能量，而是此一部份之能量包含了雜訊能量及波浪之能量，藉由雜訊譜之決定，即可將此雜訊能量與波浪之能量分離。

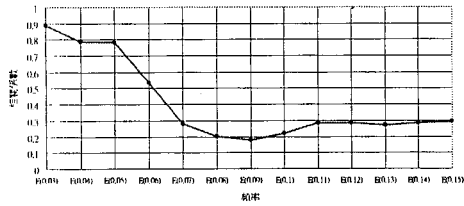


圖 2 不同頻率之加速度能譜密度與平均雜訊能譜密度之相關係數

3.3 雜訊修正因子決定方法之改良

決定了截斷頻率(CF)之後，接下來則是經驗常數(K)與加權因子(G)的決定。截斷頻率的目的是在於決定雜訊譜之影響範圍，經驗常數 K 與加權因子(G)的目的即在於決定雜訊譜之形狀。對於 K 與 G 值的決定，有許多學者提出其求解方法。如(Lang, 1987)在統計了 700 筆之實測資料後以人為之經驗判斷其值；(Huang and Chen, 1998)則以試誤法求解其值。

然而不論是以人為經驗判斷，或是以試誤法求解，所得結果往往因人而異，甚至無法重現其結果。(黃, 1998)曾嘗試重現(Lang, 1987)所得之結果，不過並沒有得到與 Lang 相同之結果。

上述方法在選定了 K 及 G 值之後，其值便固定不變。因此為了使其較能適應各種海況，常常要在一定的觀測資料庫中取一低頻雜訊較明顯之資料，做為求解 K 及 G 值的依據。圖 3 所使用之資料即為從花蓮浮標的 700 筆實測資料中取 $C_{11m}(0.01)$ 為最大值者作為分析之依據。截斷頻率則取相關係為 0.3 時所對應之值，由圖 2 得其為 0.07Hz；加權因子(G)則依 Lang 之經驗，為 $\text{mean}[C_{11m}(f \leq 0.02)]$ ； K 值則配合以決定之參數，至少要能完整包含 $C_{11m}(f \leq 0.02)$ 之能量，由圖 3 中可約略估計 K 值為 21。

為降低人為因素對分析結果的影響，本文改良上述參數的選取方法。由於基本假設為 $C_{11m}(f \leq 0.02\text{Hz})$ 為完全之雜訊，故依據此一基本假設，可令 G 為在 $C_{11m}(f \leq 0.02\text{Hz})$ 中取最大值而其對應之頻率為 f_m ，為了使雜訊譜能完全包含 $f \leq 0.02\text{Hz}$ 時之加速度譜能量，所以 K 值需 $\geq 1/(CF-f_m)$ 。此一方法的好處在於只要決定出截斷頻率，便能夠針對不同的觀測資料及不同之雜訊能量自動的變換其 K 值，而求得其雜訊譜。圖 4 所示為以本方法所計算得到之雜訊譜，會自動的切過雜訊能量的最大值。

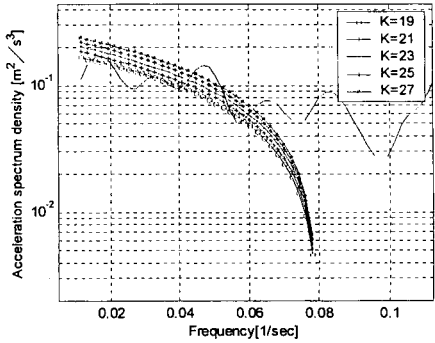


圖 3 不同 K 值所計算之雜訊譜密度函數

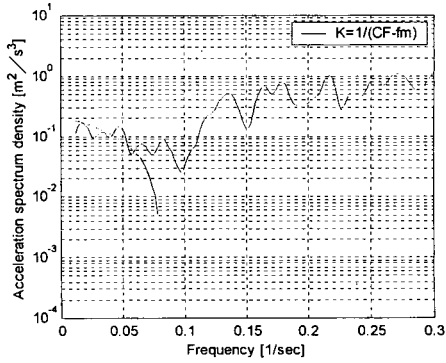


圖 4 本文方法所計算之雜訊能譜密度函數

3.4 低頻雜訊公式改良前後對分析結果的差異

為了解經驗常數(K)為固定值時以及本文所使用之 K 值(為 $1/(CF-f_m)$)，對一維波譜分析結果的差異。本文分析了花蓮資料浮標站從民國 89 年 6 月至 11 月共 1700 筆之現場實測資料，並取實測資料之前 700 筆中其頻率 $\leq 0.02\text{Hz}$ (雜訊)之能量為最大者做為求得截斷頻率及其餘相關參數的依據。經分析

得知截斷頻率為 0.08Hz，經驗常數(K)則為 2。另外，亦採用本文改良之方法進行分析。

其中，花蓮資料浮標站之每筆資料的觀測時間為 10 分鐘，取樣頻率為 2Hz，每筆資料共 1200 點，本文乃取前 1024 點進行快速傅利葉轉換。譜的平滑方式乃採 5 點之 hamming 窗做移動平均。

分析得到之一維波譜可歸納為圖 5~圖 7 之三種情況，三種情況之發生次數則列於表 1 中。由表 1 可看出，使用改良後之參數選取方法與前人方法比較，其對一維波譜分析結果之影響並不大。不過本文改良後之參數選取方法僅需截斷頻率一個參數，其餘之參數便會自動產生，在實際的應用上較為方便。

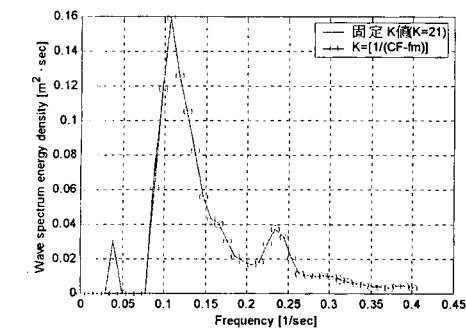


圖 5 不同雜訊譜修正式計算得到之一維譜(A)

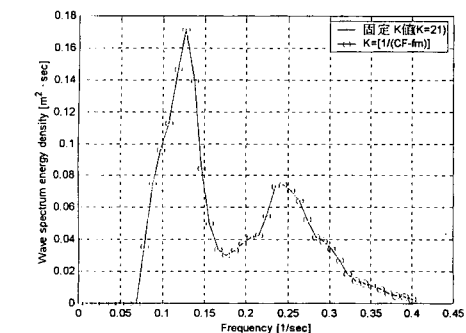


圖 6 不同雜訊譜修正式計算得到之一維譜(B)

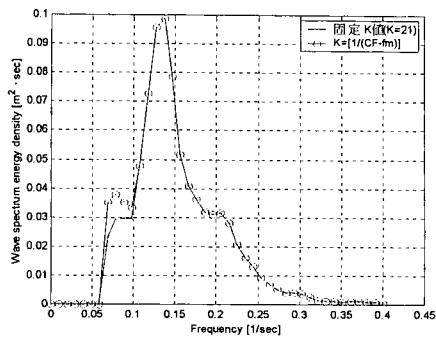


圖 7 不同雜訊譜修正式計算得到之一維能譜(C)

表 1 採用不同方法分析水位譜之結果比較

	Case(A)	Case(B)	Case(C)	合計
次數	270	1260	170	1700
機率[%]	16	74	10	100

四、波向修正

關於資料浮標測波的波向誤差乃肇因於資料浮標並非完全全隨著波面運動，若我們假設浮標殼體的運動與波面的運動具一線性關係，那麼會導致兩個結果，其一為空間上的一致，二為時間上的一致。亦即浮標殼體的運動與波面的運動之間將存在著振幅響應因子與相位延遲因子。對於此波向誤差之修正，本文主要是以 Maximum heave/pitch quad-spectrum method，由時域及頻率域上的浮標動力反應數值計算，推求出反應增益因子及相位延遲項，並進一步將其導入方向波譜之計算。藉此達到消除振幅響應因子與相位延遲因子對資料浮標觀測方向波譜之影響。

4.1 波向誤差修正方法

不論作用於 Pitch-Roll 浮標之波浪以外的力為何，終將反應至浮標的觀測訊號上，包括垂直加速度、Pitch 及 Roll 傾度。假設浮標殼體運動與水面之水位變化呈線性關係，亦即浮標殼體運動與水面之水位變化在振幅上有振幅響應因子 (response factor) R_h (垂直加速度) 及 R_s (斜度)；在相位上有相位延遲因子 ϕ_h (斜度的相位延遲因子) 及 ϕ_s (垂直加速度的相位延遲因子)。

因此在計算主波向及方向分佈寬度需將振幅響應因子及相位延遲因子考慮在內，只要決定出 R 及 ϕ ，則可以求得正確之方向波譜。 R 及 ϕ 的推求方法有二種，一為直接求取 R_h 、 R_s 、 ϕ_h 及 ϕ_s 的資料，一般以數值模式或現場實驗求得經驗值(王，1994)。但由於影響浮標殼體運動的外在因素如錨定設計、風及流的效應，均會改變浮標運動與水面波動間的轉換關係，因此事先求得 R_h 、 R_s 、 ϕ_h 及 ϕ_s 的值並不能完全正確的表現現場觀測時的各種不同的狀況。第二種方式則不事先求得浮標運動與水面波動之關係，而是利用浮標運動所觀測得到之波數 k_m 與 R 及 k 之關係，以及利用波浪垂直加速度及傾度之同位能譜密度函數為零求得 ϕ 。進而隨時求得浮標運動與水面波動間之正確的轉換關係。(Steele, 1992)即採用第二種方式對浮標觀測方向波譜進行修正，然而其方法只適用於浮標呈現中心軸對稱的情況。本文則進一步修改其方法，使其能適用於浮標呈現中心軸不對稱的情況。

4.2 分析實測資料探討修正前後主波向之差異

採用之觀測時間為 87 年 11 月，波浪的觀測資料包含垂直加速度與 pitch 及 roll 傾角及羅盤讀數，觀測資料的取樣頻率為 2Hz，每二小時觀測一次，每次的觀測時間為 10 分鐘。

分析統計 250 筆實測資料後發現，修正前、後主波向的差值大多小於 5 度，其差值大於 5 度的佔總資料筆數的 8%，見圖 8。若浮標受風、流及錨鉋等外力作用，將導致浮標具有一平均側傾角度，此時浮標將不呈中心軸對稱反應。欲進一步探討主波向的差值與平均傾度的關係，將其關係繪於圖 9，可看出當平均傾度愈大時，修正前後之主波向差值亦有愈大的趨勢。不過兩者間並無明顯之函數關係。

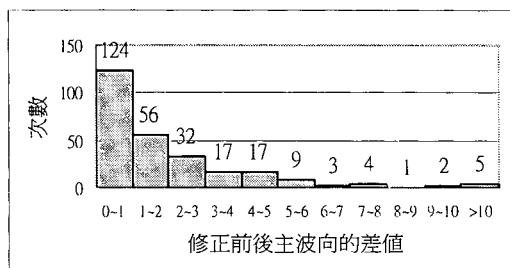


圖 8 87 年 11 月花蓮浮標實測資料分析，修正前、後主波向的差值之次數統計圖

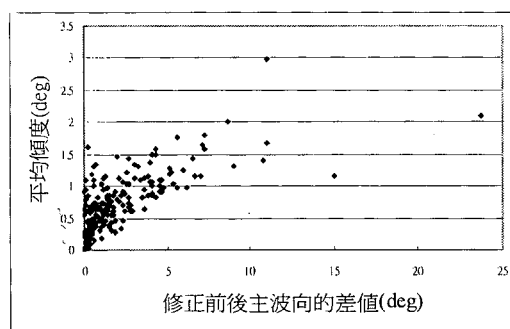


圖 9 87 年 11 月花蓮浮標實測資料分析，修正前、後主波向的差值與平均傾度之關係圖

五、結論

本文研究影響浮標測波結果之誤差來源，並進一步降低誤差對浮標測波造成的影響，以提升浮標測波的準確度。在波高與週期方面，本文採用一維雜訊譜經驗公式來濾除浮標觀測一維波譜的低頻雜訊。在波向的分析程序上，以隨時求得浮標運動與水面波動間之正確的轉換關係的方式，來修正浮標測波的波向誤差。經綜合分析與討論後可歸納得以下幾點結論：

(1) 本文將雜訊濾除公式的參數減化為單一個參數(截斷頻率)，降低參數決定時人為主觀因素的影響。

(2) 截斷頻率決定過低會導致雜訊濾除不完全，決定過高則有將實際波浪能量濾除的疑慮。經本文分析結果顯示，高估截斷頻率所造成的影響低於低估截斷頻率的影響。

(3) 本文實際分析花蓮資料浮標站之現場觀測得知，以本文改良的參數決定方法所分析之結果其

示性波高、平均週期及尖峰週期在時間連續性上，其變異性及發生異常的機率均較前人的方法為低。

(4)資料浮標對波浪之軸不對稱動態反應是造成方向波譜分析中波向誤差的主要原因，而造成資料浮標對波浪之軸不對稱動態反應的主要原因有儀器量測誤差、風、流及錨錠的影響等。

(5)本文實際分析花蓮浮標之現場觀測資料得知，考慮與不考慮波浪運動與浮標運動間之振幅響應因子及相位延遲因子，分析方向波譜之主波向的差異大多在 5 度以內，差異超過 5 度的資料筆數佔總資料筆數的 8%。

誌謝

本文承蒙國科會專題研究計劃 (NSC 89-2625-Z-006-003)經費贊助及中央氣象局資料提供，使本文得以完成，謹致感謝之意。

參考文獻

- 1.王維紀(1994) "浮標測波資料處王之評介", 海象分析與預報研討會論文集, 189 頁-202 頁。
- 2.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, 33 頁-44 頁。
- 3.黃明志(1998), "浮標測波低頻雜訊修正函數決定方法", 海洋工程研討會論文集。
- 4.Allender, J. and T. Audunson (1989) "The WADIC project: a comprehensive field evaluation of directional wave instrumentation," *Ocean Engineering*, Vol.16, pp.505-536.
- 5.Huang, M. C. and J. Y. Chen (1998) "Wave direction analysis from data buoys," *Ocean Engng*, Vol. 25, No. 8, pp. 621-637.
- 6.Isobe, M., K. Kondo and K. Horikawa (1984) "Extension of MLM for Estimating Directional Wave Spectrum," Proc. Sympo. On Description and Modeling of Directional Seas, Paper No.A-6.
- 7.Steele, K. E., C. K. Lau, and Y. H. L. Hsu (1985) "Theory and application of calibration techniques for an NDBC directional wave measurements buoy," *IEEE journal of oceanic engineering*. Vol. OE-10, NO. 4.
- 8.Lang, N. (1987) "The empirical determination of a noise function for NDBC buoys with strapped-down accelerometers," *Proc. IEEE Conference of Oceans'87*, pp. 225-228. Halifax, NS Canada.
- 9.Steele, K. E., C.C. Teng and D.W. Wang (1992) "Wave direction Measurements using pitch-roll buoys," *Ocean Engng*, Vol. 19, No 4, pp. 349-375.