

碧利斯颱風波浪特性研究

葉姍霈¹ 錢樺² 高家俊³ 董東璟⁴ 莊士賢⁵

摘要

民國八十九年八月二十二日強烈颱風碧利斯侵襲台灣，造成重大的海岸災害。本文分析現場海氣象資料，結果顯示碧利斯颱風過境時，於台灣西部海域造成兩次大波高，在台灣東部則觀測得示性波高達 11 公尺之巨浪。經由時序列分析與方向波譜分析得知，東部巨浪的群波現象十分明顯，且符合異常波浪之定義，而入反射波能量疊加之效果，可能是造成颱風過境期間，在東部近岸海域產生異常巨浪的原因之一。

On the Characteristics of BILIS Typhoon Waves

Sun Pei Yeh¹ Hwa Chien² Chia Chuen Kao³ Dong Jiing Doong⁴ Laurence Z.H. Chuang⁵

ABSTRACT

Typhoon BILIS attack Taiwan on August 22, 2000 that brought serious damage in Taiwan coast. In this study, twice high wave condition was observed during the typhoon period in the western coast of Taiwan. The Suao Buoy that located in the eastern coast of Taiwan measured the significant wave height getting up to eleven meters. The directional wave spectrum and the strong wave grouping phenomenon was found by analysis the time series. The wave energy accumulation of incidence and reflective waves was one of the reasons to make such a big wave in the eastern coast of Taiwan.

一、前言

颱風為自然界最具破壞力的天氣系統，也是台灣最重要的天然災害成因，每年侵襲台灣的颱風平均為 3.5 次，集中在 7、8、9 月。颱風圈內風力極強，風向風速隨地而異，波浪分佈因此到處不同。而因強大的風力引起之波浪均較季節風之波浪為高，不論颱風是否登陸，其所挾帶的暴風及豪雨對海上或海岸結構物的破壞，及造成沿岸居民生命財產之損失極大，研究颱風刻不容緩。

颱風波浪的文獻研究可歸納為三類，一為颱風波浪的推算，二為颱風暴潮的研究，三為颱風波浪

特性的研究。關於颱風波浪推算，梁乃匡(1987)深入探討風浪和湧浪的波高及週期推算研究，提出一系列豐富之研究成果。分析受颱風引起的暴潮則對防災工程有重要之影響，諸多學者投入研究。實測颱風波浪特性分析則是國內上述三類研究中成果較缺乏的部份，其原因在於實測颱風資料收集不易所致。近年來，中央氣象局及水資源局逐步建立了台灣環島近海水文觀測網，並已成功地觀測到數個寶貴的颱風海氣象資料，透過分析實測颱風資料，將可進一步瞭解颱風波浪之特性。

中央氣象局於民國 89 年 8 月 21 日 8 時 25 分發布碧利斯颱風（第十號颱風）警報。碧利斯颱風形成於菲律賓東方海面上，於 8 月 19 日下午二時於北緯十四·六度、東經一百三十五·六度，也就是關島西方一千公里處增強為今年第十號颱風碧利斯，由熱帶性低氣壓增強為輕度颱風，很快在 20 日早上再增強為中度颱風，21 日 14 時威力增至強烈颱風。此颱風形成以後以穩定的速度朝西北西至西北方向

1. 國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士班研究生
2. 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士班研究生
3. 國立成功大學水利及海洋工程研究所教授
4. 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士班研究生
5. 國立成功大學近海水文中心副主任

直撲台灣，碧利斯的移動速度一直保持每小時 22 公里，方向也持續向西北西行進，直到出海後速度才變緩為每小時 15 公里。22 日 22 時 30 分碧利斯中心從台東成功鎮登陸，直至 8 月 23 日 20 時 5 分解除颱風警報，碧利斯颱風路徑如圖 1 所示。

在兩天內，碧利斯快速由輕度颱風轉變為強烈颱風，而它形成的位置在菲律賓東方海面，和過去對台灣造成重創的安迪、提姆等強烈颱風都在關島附近形成，碧利斯算是非常靠近台灣，對台灣的影響非常大。碧利斯颱風創下兩個觀測紀錄：氣象局測得中心氣壓為九百卅一·二百帕，是有史以來測得氣壓值最低紀錄。在碧利斯登陸後，氣象局在台東測得最大陣風每秒為七十八·四公尺，相當於每小時二百八十一·五公里，創下了台灣有史以來測得的最強勁的風力。在雨量方面，碧利斯颱風帶來的雨量也十分的豐沛，從 23 日到 24 日許多地區雨量都超過 700 公釐，花蓮玉里 764 公釐，宜蘭縣古魯 713 公釐，台東縣池上 411 公釐。根據中央災害應變中心的統計，碧利斯颱風造成台灣地區 11 人死亡、一人失蹤、14 人重傷、65 人輕重傷，超過 15 億損失的重大災害。

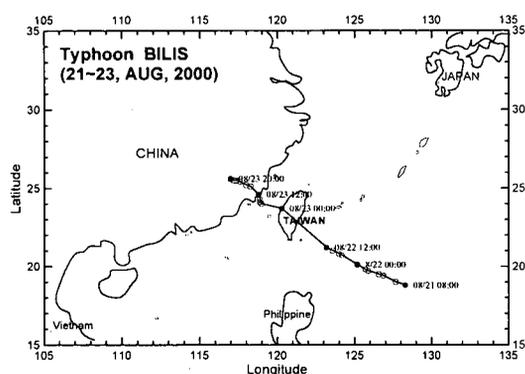


圖 1 碧利斯颱風行進路徑

二、颱風波浪觀測資料來源

2.1 颱風波浪觀測

台灣四面環海又位處於颱風侵襲的地區，所以波浪的觀測極其重要。本文以分析實測海氣象觀測

資料來探討颱風波浪特性，研究資料來源主要是取自於資料浮標 (data buoy) 與海氣象觀測樁 (pile station)，藉由作業化的觀測系統，透過嚴格的品管程序以取得高品質的分析資料。

資料浮標是歐、美及日本等國家常使用的海氣象觀測工具之一。中央氣象局海象測報中心為蒐集即時海氣象資料，提昇海象預報準確度，委託成大近海水文中心，研究發展作業化資料浮標，其主要特點為：(1) 設站地點不受水深限制，能廣泛運用於各種海域。(2) 能長期自動觀測多種海氣象資料，(3) 配備傳輸系統，能取得即時海氣象資訊。作業系統分為浮標體及錨繫系統、儀器與酬載系統、岸上系統、支援系統等四大項目。透過其中的三軸加速度計量測波浪的加速度運動，配合理論推求波浪譜及統計值。至於海氣象觀測樁一般設於水深小於 20 米、沙質海床處，其作業系統與資料浮標相仿，然觀測樁上是架置超音波波高計，直接量測水位變化以求得波浪參數。資料浮標與觀測樁為目前長期作業化觀測合適的量測方式。

2.2 颱風波浪資料品管

海氣象觀測資料在經由觀測、編碼、通訊傳遞、接收解碼、儲存等複雜的流程中，可能因為儀器設備的故障、人為疏忽或是一些不明原因的干擾，造成資料的錯誤或漏失，這些失真的資料若不經過適當的品質檢測，其謬誤極易誤導學術研究的結果，或造成工程應用上的設計錯誤等重大影響。

資料品管分為兩階段，第一為自動品管、第二階段則為人工品管。成大近海水文中心參考美國國家資料浮標中心 (National Data Buoy Center, NDBC) 品管規範，訂定合理性、連續性以及關聯性三個原則來從事自動品管的檢測 (董、莊、高，1998)。雖然資料品管作業的大部份可藉由電腦做自動化處理，然而面對颱風期間海氣象狀況時，千變萬化的海氣象狀況並非一般既定的規則可輕易囊括的，異常的資料若沒有經過人為的檢測而使用就可能誤導使用者，做出不正確的判斷，但若捨棄原本正確的異常的資料，則又可能失去進一步了解大自然的現象，因此除電腦化的自動品管外，仍需進行額外的人工品管。尤其是在颱風期間，更易出現異於平常之觀測值，此時須由具備豐富經驗的品管工程師，參考

臨近測站資料及其它觀測物理量分析之，經由客觀的分析或討論，做出決策性的判斷。

本文以分析實測海氣象觀測資料探討颱風波浪特性，研究資料來源主要是取自國立成功大學近海水文中心操作的觀測網站，該觀測網有五個浮標測站及一個觀測樁，分別為花蓮、蘇澳、龍洞、新竹、金門以及七股觀測樁，其地理位置如圖 2 所示，測站詳細資料如表 1。

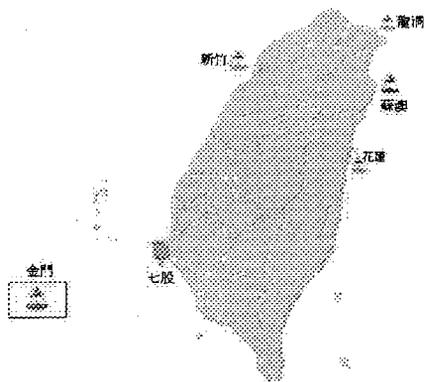


圖 2 碧利斯颱風期間本文採用之測站位置

表 1 資料浮標測站簡介

測站名稱	蘇澳資料浮標	新竹資料浮標	龍洞資料浮標	花蓮資料浮標	七股觀測樁	金門資料浮標
地理位置	(121,52,45; 24, 37,6)	(120,56,38; 24,54,48)	(121,55,28; 25,05,41)	(121,38,52; 24,2,7)	(121,00,24; 23, 06,12)	(118,24,52; 24,22,47)
取樣時間	10 分鐘	10 分鐘	10 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	10 分鐘
取樣頻率	2 Hz	2 Hz	2 Hz	2 Hz	5 Hz	2 Hz
水深	20 m	23 m	32 m	31m	15 m	22 m

三、碧利斯颱風過境前後

波浪特性

3-1 波高統計值變化

8 月 21 至 24 日碧利斯颱風侵襲並登陸台灣，國立成功大學近海水文中心所建置之環島海氣象觀測完整接收颱風資料，在極短的時間內完成自動品管與人工品管作業，獲得高品質的海氣象觀測資料，如圖 3，及時提供中央氣象局預報作業與水資局救災搶險參考。圖中顯示於蘇澳浮標海域之海象最為惡劣，浮標測得知有義波高達 10.83 公尺；其次是花蓮近海，有義波高最大約 7 公尺，各測站觀測最大波高值如表 2 所示。

碧利斯颱風侵襲臺灣，東部地區首當其衝，其颱風路徑和規模與民國 86 年從花蓮登陸之安珀颱風相似，當時花蓮近海即測得代表性波高將近 12 公尺之波浪，由此可見颱風波浪對於東部沿海地區威

脅。位於東北角龍洞遊艇港外則測得超過 5 公尺之波浪，對該風景區之遊憩活動與設施亦形成威脅。

值得注意的是西岸之海氣象雖不若東岸惡劣，然此一路徑颱風每於颱風中心離開本島後 6-10 小時，波浪可能增加，甚至大於颱風來襲時之威力。此次位於台南縣七股外海之海氣象觀測樁在颱風登陸福建後測得之波高大於 4 公尺，反而高於颱風最接近七股時的近 3 公尺波高，此一情況亦發生於颱風路徑相似的民國 86 年安珀颱風與民國 87 年奧托颱風，此現象值得漁民、海事工程、與海難救助之注意。

另外金門地區也是在碧利斯颱風路徑上，所幸颱風在穿越中央山脈後威力減小，並在颱風中心抵達金門前略為轉北降低了對金門的威脅，但近海水文中心設在料羅灣外海的資料浮標測得資料顯示，當時代表性波高亦達 4 公尺以上，陣風亦將近每秒 20 公尺。歸納以上結果由圖中可以看出：碧利斯過境台灣在東部測站產生一次波高的增減，波高增長

速度快速且最大波高發生在台灣最接近測站之前；西部測站造成兩次大波高，兩次大波高發生時間分別在颱風最接近測站時的前後。

表 2 碧利斯颱風過境各測站量測得最大波高及其發生時間

測站名稱	最大波高發生時間	最大波高(m)
蘇澳資料浮標	23日 0:00	10.83
花蓮資料浮標	22日 22:00	7.07
龍洞資料浮標	22日 20:00	5.02
金門資料浮標	23日 6:00	4.08
新竹資料浮標	23日 0:00	2.03
七股觀測樁	23日 6:00	4.08

3-2 蘇澳測站觀測得巨浪的水位時序變化

由圖 3 波高統計值中可知碧利斯颱風過境期間，台灣地區以 8 月 23 日蘇澳地區的波浪最大達 10.8 公尺，本文首先分析蘇澳地區 23 日零時的波浪資料。圖 4-1 中虛線部分為資料浮標傳回的原始資料，代表浮標殼體量測的波浪加速度值。

由微小振幅波的理論計算可知加速度值 a 為：

$$a = \frac{\pi H (-\omega)}{T} \frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (1)$$

在水平面時 $z = 0$ ，代入得

$$a = \frac{\pi H (-2\pi)}{T^2} \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

由於 $|\cos(kx - \omega t)| \leq 1$ ，因此可得 a 之最大值為

$$a_{\max} = \left| \frac{\pi H (-2\pi)}{T^2} \right| = \left| -2\pi^2 \frac{H}{T^2} \right| = 2\pi^2 \frac{H}{T^2} \quad (3)$$

藉由分散關係式導得

$$a_{\max} = \frac{\pi H g}{L} \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{L}\right) \quad (4)$$

由於波浪尖銳度條件為 $\frac{H}{L} \geq \frac{1}{7}$ ，即當 $\frac{H}{L} < \frac{1}{7}$ 尚未達碎

波條件，代入上式得

$$a_{\max} < \frac{1}{7} \pi \cdot g \cdot 1 \approx 0.448g \quad (5)$$

由上述推導可知當水粒子加速度大於 0.45g 時應該為碎波，但由圖 4-1 中實測資料第 60 個到第 120 個點中看求得加速度高達 $7\text{m}^2/\text{sec}$ ，但此筆資料仍被紀錄，切確原因值得進一步探討。本文下節中將加速度資料轉換成水位資料來討論。

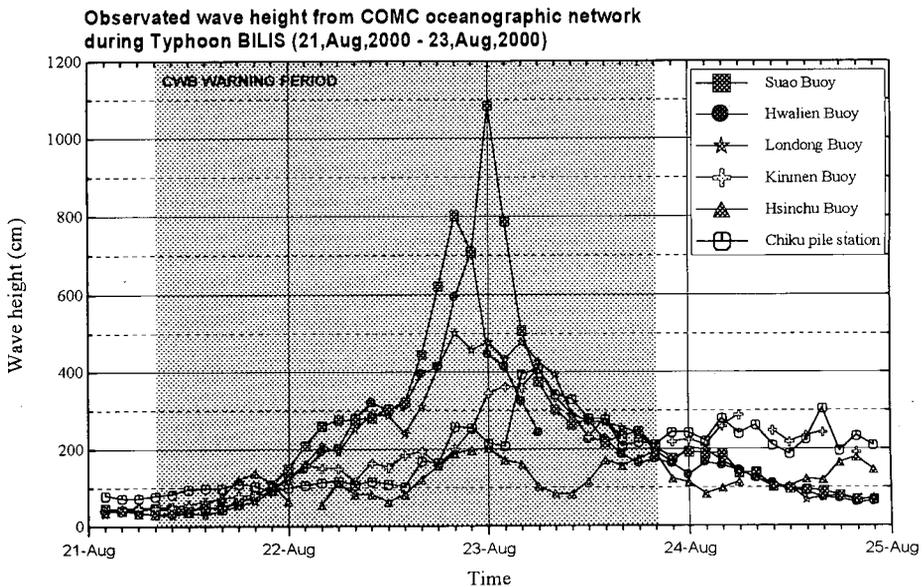


圖 3 碧利斯颱風過境前後各測站的波高統計值變化，圖中灰色部分為颱風警報發布期間

加速度值轉換成水位的方法有兩種，一是將加速度值直接積分成水位值，但此一方法因積分方法會將積分轉換待定係數累積，轉換求得的水位值不會在零點上下變化，本文將加速度資料利用傅立葉轉換成加速度譜，利用傳遞函數換成水位譜，保留加速度譜的相位資料，將水位譜再逆轉換成水位資料，圖 4-1 實線部分為轉換後的水位資料。將所有的

加速度值利用傅立葉轉換成水位資料（圖 4-2），圖中群波現象十分的明顯，蘇澳地區的示性波高($H_{1/3}$)為 11 公尺，該筆記錄中之最大波高能量集中於群波中央，可視為極波波群，波高高達 22 公尺大於有義波高的 2 倍，此種異常大波之發生為海岸結構物受損的主要原因，本文將討其特性。

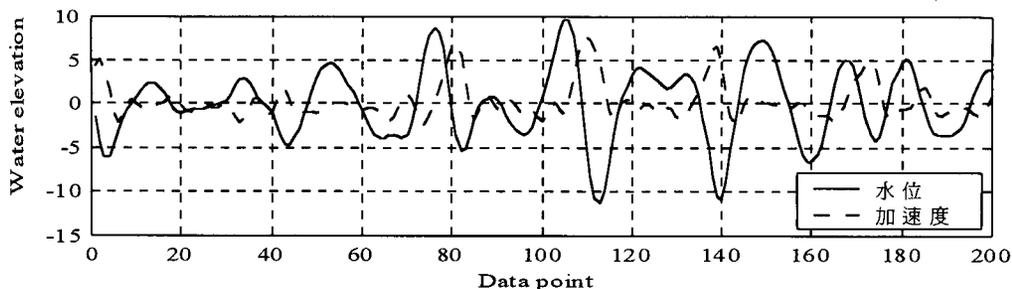


圖 4-1 23 日 0 時蘇澳測站測得之水位加速度及水位時序列

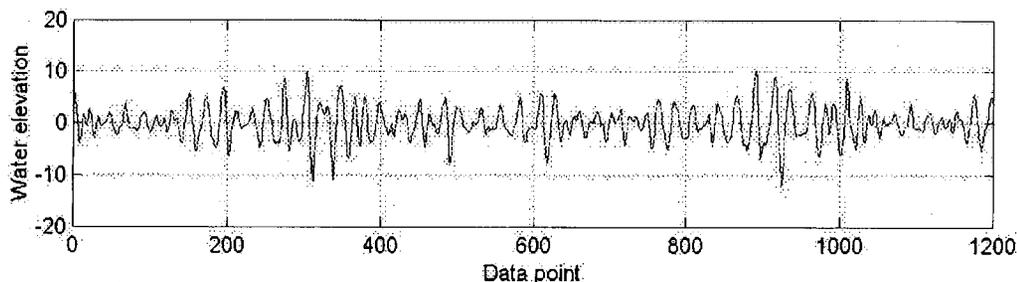


圖 4-2 23 日 0 時蘇澳測站測得之水位時序列

3-3 異常大波的方向波譜分析

方向波譜描述波浪能量在頻域及傳遞方向上的分佈，是最能表現波浪方向特性的方式。本文進一步應用方向波譜分析了示性波高 11 公尺的大浪，結果如圖 5。本文以最大嫡法來估算方向波譜轉換後的資料如圖 6 所示。圖 6 中顯示波浪主頻在 0.1Hz，在主頻處有一、兩個能量來源，其一波浪由接近 90 度的方向也就是由東方傳遞進來，其二在距波浪傳遞方向接近 180 度且相同頻率的地方有另一個能量的出現，表示出蘇澳地區西邊有波浪的發生，因蘇澳地區海岸線幾近於南北走向，若西邊有波浪傳遞過來為離岸波，由於佈放在蘇澳的浮標距離岸邊數

百公尺，此離岸波浪的發生應能量研判為入、反射的現象。

另一個例子 8 月 22 日觀測得的波浪，該筆記錄的示性波高為 7.1 公尺，由圖 7 所示，在水位時序列上也顯示出強烈的群波現象，同時波高將近 22 公尺大於三倍的有義波高。在主頻處的方向分佈，如圖 8 及圖 9 也有雙峰的現象。

分析其他地區的波浪資料後發現：上述此種現象只有在蘇澳地區發生，颱風巨浪有強烈的群波現象又因地形影響產生的入射波與反射波的能量疊加與異常波浪發生有關。

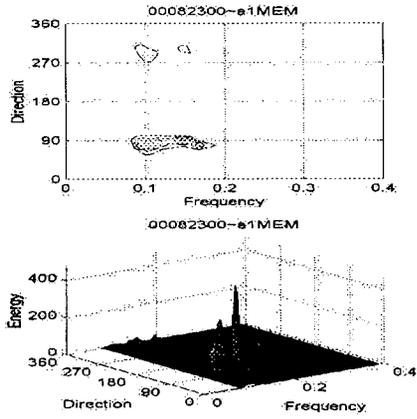


圖 5 23日蘇澳測站實測方向波譜

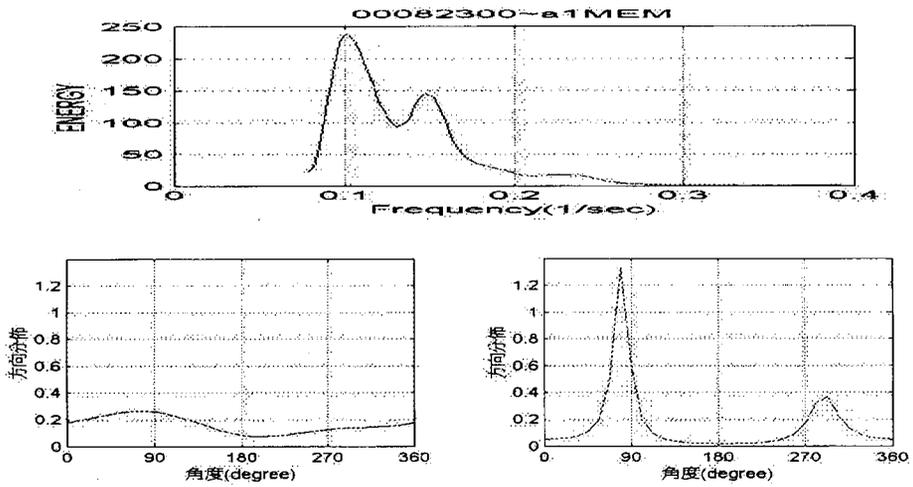


圖 6 23日蘇澳測站實測一維能譜及主頻處的方向分佈

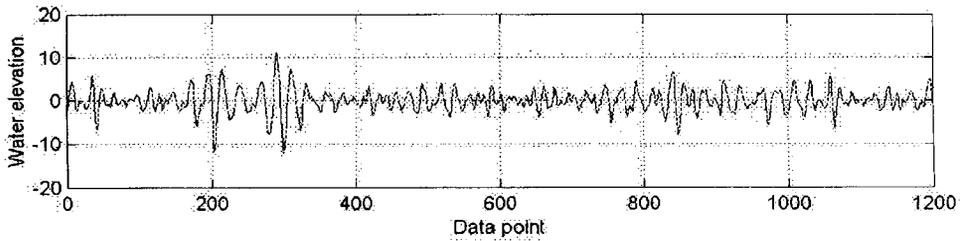


圖 7 22日 20時蘇澳測站測得之水位時序列

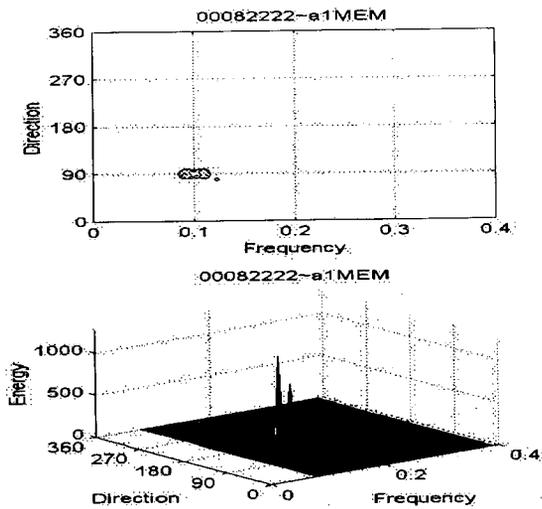


圖 8 22 日蘇澳測站實測方向波譜

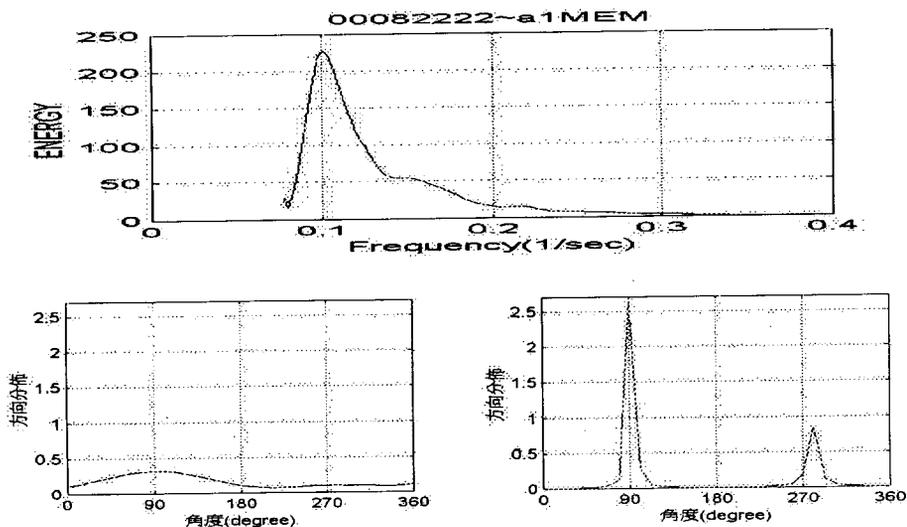


圖 9 22 日蘇澳測站實測一維能譜及主頻處的方向分佈

四、結論

碧利斯颱風過境時在西岸地區造成兩次波高增加及降低，兩次發生的時間分別在颱風最接近測站的前後。從本文中分析碧利斯颱風過境時波浪特性，可以得到下列結果：颱風時期於近岸產生的異常大波可達到示性波高三倍以上，語強烈的群波現象及因地形造成的入反射波疊加有關。此種異常大

波是造成結構物的受損或人常被捲入海中的主要原因，必須特別加以注意。

謝誌

本文承蒙國科會 NSC89-2625-Z-006-003 計劃的經費贊助及中央氣象局李汴軍主任資料提供使本文得以完成，謹致感謝之意。

參考文獻

- 1.張春梅(1999)“颱風波浪特性之研究”，國立成功大學碩士論文
- 2.陳正宏(1999)“瘋狗浪原因初探”，國立成功大學碩士論文
- 3.董東璟、張春梅、莊士賢、高家俊(1999)“颱風波浪之時頻域特性”，第二十一屆海洋工程研討會論文集
- 4.董東璟、莊士賢、高家俊(1998)“海氣象時序列資料品管”，第二十屆海洋工程研討會論文集，351頁-358頁
- 5.Young,I.R.(1999),“Observations of hurricane generated waves,”*Ocean Engineering*, Vol.25, pp.261-276
- 6.Phillips, O.M.(1985),“The equilibrium range in the spectrum of wind-generated waves,”*Journal of Fluid Mechanics*, pp.426-434