

# 台灣西北海域受鋒面引起之海況推算分析

范揚洺<sup>1</sup> 董東璟<sup>2</sup> 李汴軍<sup>3</sup> 高家俊<sup>4</sup>

## 摘要

本文目的為探討鋒面過境期間，海面波高急遽變化之可能原因。分析民國八十七、八十八年期間，在新竹海域所觀測到的十二筆鋒面期間風場與波場的現場實測資料，發現鋒面抵達測站前海面並無變化，甚至波高有呈現下降的趨勢，但當鋒面抵達測站時，在短時間內波高急劇增大。部分案例顯示在 8 小時內，有義波高由 80cm 增長到 300cm 之情形。本文以 S.M.B. 法推算鋒面波高，探討上述波高急遽變化之現象，結果顯示由於鋒面期間風場不均匀且鋒面系統屬於移動風域，因此受鋒面引發之大波高之 S.M.B. 法推算結果與實測值差異較大。

## Wave Condition During a Frontal Passage over Northwest Taiwan Water

Yang Ming Fan<sup>1</sup> Dong Jiing Doong<sup>2</sup> Beng Chun Lee<sup>3</sup> Chia Chuen Kao<sup>4</sup>

## ABSTRACT

It is the aim of present study to describe the rapid change of front induced wave heights. Filed data observed by data-buoy from 1998 to 1999 were analyzed. It was found that the wave height decrease gradually before the arrival of the front, and increase rapidly right after the passage of it. The maximum increasing rate of wave height was from 80cm to 300cm within 8 hours. S.M.B. method was applied to hindcast the time history of wave heights. The results show that due to the uniform of wind field, the moving fetch effect and the small wind velocity, so the hindcast by S.M.B. can not describe the change of wave heights in certain condition.

## 一、前言

臺灣海峽由於受風區域受陸地(中國大陸，臺灣)限制，致使臺灣海峽波浪特性與大洋的波浪特性有很大的差異。簡(1995)研究臺灣海峽風浪，發現臺灣海峽風浪有其地域性，並明顯地受到氣象條件的支配。夏季期間，僅有在颱風侵台時匯兌臺灣海峽波浪形狀產生較明顯之影響，然而在冬季期間，往往幾天內就有大陸北方冷高壓南下，當性質

不同之冷暖兩氣團相遇時，其交界處為一不連續面，此不連續面稱為鋒面(front)。在鋒面兩側空氣性質，諸如溫度、濕度、風、天氣等通常均有明顯的差異。實際上鋒面為過渡地帶，其寬度通常有數公里以至數十公里不等。在鋒面過境時，氣溫驟降，民眾所感受到的是天氣突然變冷，若海面上的海況也猶如氣溫一樣，瞬間驟變，波高突然增長，形成惡劣的海況，鋒面天氣系統雖不易引發如颱風帶來之巨浪，然而鋒面海況往往是急速的變化，那麼一般作業小漁船或遊憩遊艇對於此類急遽變化之海況勢必難以招架。若能對鋒面期間所引起的海況有所了解，或許可發布明確地即時海況資訊，提供作業漁船或遊艇活動參考。基於上述動機，本文分析鋒面期間所引起之海氣象資料。

1. 國立成功大學水利及海洋工程所碩士班
2. 國立成功大學水利及海洋工程所博士班
3. 中央氣象局海象測報中心主任
4. 國立成功大學近海水文中心主任

往者研究中，專門分析鋒面海況的研究並不多見，李(1979)曾以面積風域法理論及移動風域的觀念，解析台中港冬季鋒面過境型風域之變化。李、梁(1981)以風浪數值模式來預報鋒面期間的波高，並以鋒面過境時，鼻頭角與野柳二測波站的實測波浪資料與風浪數值模式所推算的波浪比較，結果顯示鋒面過境之際，因波浪成長係數不適合鋒面之氣象狀況，該模式無法推算鋒面期間之波高。

本文收集民國八十七及八十八年期間，由近海水文中心新竹資料浮標站所測得之鋒面過境時海氣象資料。由定性及定量的觀點上，分析鋒面所引起之波浪的成長過程。以波浪推算結果與觀測值比較分析，探討鋒面波浪急遽成長之可能原因。

## 二、鋒面引起之海況分析

### 2.1 鋒面分析資料

本文鋒面資料的判定主要是取決於中央氣象局月長期天氣展望的紀錄、天氣圖以及現場實測資料。通常在月長期天氣展望紀錄中會明確的紀錄何時會有鋒面抵達臺灣附近，然而此紀錄略顯粗糙，必須配合同樣由中央氣象局所提供之天氣圖以及現場資料來判斷鋒面何時到達測站附近，如當鋒面接近前後，現場風速會明顯增強且氣溫會明顯降低，可用來作為輔助判斷資料，推估鋒面通過新竹資料浮標站的時間。

至於現場資料本文採用位於新竹近海的資料浮標站所觀測的海氣象資料進行鋒面期間海況之分析，新竹資料浮標站佈放於新竹紅毛港外海，南寮漁港北方，水深 23m 處，距岸邊約 1.5 公里，由於資料浮標站所觀測之波高由於無法直接量取波浪時序列，故其波高是經由波譜轉換算為所求得，浮標上的風速計高度為水面上 2.8 公尺，在後續研究中，若有需要採用 10m 高的風速值，本文是採用 Jackson(1989)的轉換公式  $U_{10} = U(z) \times (10/z)^{1/7}$  來求得。

表 1 為本文所分析之 12 個鋒面案例，表中鋒面描述係引用自氣象局長期天氣展望報告，由表中可發現，鋒面引起之最大波高大都在 2 米上下，以西部海域而言，二米之有義波高已屬相當險惡之海況。

### 2.2 鋒面型態分析

當冷空氣前進，迫使暖空氣後退而取代暖空氣原有位置，則此時之鋒面稱為冷鋒，反之則稱為暖鋒，當冷暖氣團勢均力敵以致使鋒面呈滯留狀態，此時之鋒面稱為滯留鋒。本文針對發生在冬季的冷鋒鋒面(以下簡稱鋒面)為探討的對象。鋒面過境之際，海面上常引起惡劣海況。不同的鋒面強度(風速大小)、鋒面移動速度、鋒面後冷氣團區域(風域)大小等因素造成不同海面狀況。由天氣圖判讀鋒面期間，鋒面的行進路徑，在分析 87~88 年間十二筆的鋒面，顯示當鋒面從開始接近台灣到離開，鋒面的行進路徑為西北方向朝東南方向移動。大部分的鋒面通過台灣的時間均在 1~2 天左右，如表 1，不過有些鋒面行進快速，從接近台灣到離開所花費的時間事實上還不到一天，而有些鋒面則行進緩慢，形成滯留的情況，甚至會對台灣造成三天以上的影響時間。

表 1 民國 87~88 年間冷鋒鋒面過境期間紀錄表

案例	鋒面過境台灣的日期/天數	氣象局報告知之鋒面描述	鋒面期間最大波高(cm)
A	87/01/04 一天	鋒面快速通過臺灣	275
B	87/01/11 一天	鋒面快速通過臺灣	170
C	87/01/14~15 二天	鋒面系統強烈	169
D	87/01/17 一天	鋒面影響	214
E	87/01/23~25 三天	鋒面伴隨寒流	256
F	87/01/28~30 三天	鋒面伴隨強烈冷氣團	216
G	87/02/03~07 五天	鋒面伴隨寒流	287
H	87/02/26~27 兩天	鋒面影響	166
I	88/01/28~29 兩天	鋒面影響	148
J	88/02/01~02 兩天	鋒面影響	175

K	88/02/27 一天	鋒面影響	255
L	88/03/10~13 四天	鋒面影響	204

### 2.3 鋒面海況之定性描述

每當天氣預報員報導將會有鋒面來臨時，民眾都知道天氣會變冷，而海面上的風浪的情況，雖然可透過天氣預報得知，卻無法深刻感受。本節將對 87~88 年間十幾筆的鋒面海況進行定性上的描述，期望讓國人對鋒面期間的海況有所認識，進而使國人於海上作業或遊憩時有基本的安全觀念。

分析新竹資料浮標站於鋒面期間所觀測的波高變化如圖 1 所示，橫軸為時間，縱軸為正規化之波高(每一鋒面期間所量測的波高除以該期間波高的最大值)，圖中橫軸值為 0 代表鋒面抵達測站的時間，鋒面通過測站的時間的推估係配合天氣圖與實測資料而得，已於前節說明。由圖 1 中之包絡線可看出，當鋒面接近測站時，波高呈現下降的趨勢，此時海況漸趨平穩，當鋒面接近測站前後約 2~4 小時時，波高開始快速地增大。由圖中最大值的位置可以看出各個鋒面過境期間，波高由小到大的成長速率不一，下節將會對波高的成長速率進行定量上的描述。

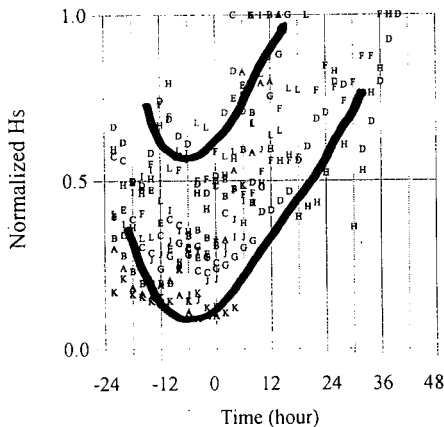


圖 1 正規化鋒面波高時序列

一般氣候的條件下，在短時間內(至少 12 小時內)的風場通常呈現穩定的狀態，但由風場圖發現鋒面抵達測站前，風速值會由大變小，鋒面通過測站後，風速開始增強。觀察新竹資料浮標所量得的

風速變化趨勢與風場圖的變化相同。風速變化趨勢與上述波高的變化趨勢相同。

因此，由上述的分析結果顯示鋒面過境前，海面上的風速與波高值會變小，鋒面過境後，風速與波高值才開始變大。

### 2.4 鋒面海況之定量描述

由上節對波高於定性上的描述，得知鋒面期間的波高成長速率不一，本節將對波高的成長速率進行定量上的描述。計算鋒面期間的波高成長速率，結果顯示可將鋒面大致分為兩種類型，一為波高成長速率平均為 50cm/2hr，此種類型屬於波高成長比較快速的鋒面，如案例 E、F、G；一為波高成長速率平均為 10cm/2hr，此類型屬於波高成長比較緩慢的鋒面，如案例 D、K、L。就海上安全而言，波高快速成長的類型是我們必須特別注意的類型。經由本文對近兩年來鋒面期間的十二筆案例中，最大的波高變化為 8 小時內，波高由 80cm 成長到 300cm，且由上節對波高的描述得知鋒面期間海面上的波高皆是在鋒面過境後才開始成長，近海小漁船或遊艇若稍不留意，在突變狀態下易造成災難，對於此種急遽變化之海況難以招架。因此本文下節中將針對此種類型的鋒面，以波浪推算為手段，探討為何在短時間內波高漲那麼高的原因。

### 三、鋒面期間之波浪推算

風浪之發展是由於海面風與波浪邊界能量傳遞之結果，當靜止水面上開始颶風則水面產生漣漪，漣漪自風中吸收能量，隨時間而成長發展為大波浪，然後由上風側開始逐漸飽和而達到定常狀態，波浪的發展由三個數量支配，分別為(1)由開始颶風開始起算的時間，稱為歷時(duration)，(2)由上風側界限開始風所吹之距離，稱為吹風距離(fetch)，及(3)風速(wind velocity)。風速越強、歷時越大、風域越大則所形成之風浪也越大。若風速一定則歷時越大風域越大所形成之浪越大，但並非風域無限大時風浪就可無限大的發展，當風域達到某一長度後波浪即不再增大，風域再大亦無補於波浪的發展，此時波浪達到完全發展，稱為完全成熟波。

爲了於探討是否上述鋒面期間的風浪急劇成長的原因。本節採用波浪推算方法應用於鋒面資料，根據推算結果與實測值的差異來討論鋒面風浪成長快速可能的原因。

### 3.1 S.M.B.波浪推算方法

工程界常用風浪推算方法，例如 SMB 法，其基本之假設是波浪因風吹而生成、發展，波浪自風吸收能量而成長，而波浪成長關係式就反應出風與浪相互關係，隨著波高增大而週期增長。將此觀念推展到海洋上，即表示波高週期與風域內之風速有關。影響有義波高  $H_{1/3}$  及週期  $T_{1/3}$  之因素有風速  $U$ 、吹風區域  $F$  及吹風歷時  $t$ 。S.M.B 法控制關係式在學理上的推導過程，可參考湯(1965)之波浪推算報告，本節並不詳述。本文所採用的控制關係式爲 Hasselmann(1976)提出的波浪推算公式，如式(1)、(2)、(3)，該推算公式係原 S.M.B.法推算公式經 JONSWAP 等現場及試驗室詳細之調查研究結果加以修正所得。

(1)有限風域時控制關係式

$$H_s = 5.112 \times 10^{-4} U_{10} F^{1/2} \quad (1)$$

(2)有限歷時時控制關係式

$$H_s = 4.32 \times 10^{-5} U_{10}^{9/7} t^{5/7} \quad (2)$$

(3)完全成熟狀態控制關係式

$$H_s = 2.482 \times 10^{-2} U_{10}^2 \quad (3)$$

式中  $H_s$  爲示性波高， $T_p$  爲尖峰週期， $U_{10}$  爲 10m 高風速， $F$  爲風域， $t$  爲歷時。由上述三個推算式分別可求得三個波高值，推算結果中最小的波高值即爲推算結果。

至於 S.M.B.推算中所需使用到的各個元素，說明如下：「風速」係採用新竹資料浮標當地所觀測到的 3m 平均風速值，透過轉換得到 10m 風速。「風域」則經由風場資料圈選決定，採用中央氣象局風場資料，資料時間間格爲 12 小時(早上 8:00 及晚上各有一筆)，假設上述期間風場變化不大爲常數。因陸地之網格點不發生波浪，因此在進行風域圈定時不考慮陸地上之網格點。本文圈選風域的方法如下(彭，1991)：

(i)以新竹資料浮標站爲基點向東北方畫線，令此線

與台灣海岸相切。然後逆時間旋轉而與第一條線相隔  $15^\circ$  畫一射線，依此原則共畫十四條射線，每條射線皆相隔  $15^\circ$ ，如圖 2 所示。

(ii)在每條射線上從基準點開始向外延伸，從鄰近線上的網格點風場資料內插得到射線上之風速、風向，若有位於陸地上之網格點則不納入計算。

(iii)若射線上之風向與射線夾角不超過  $45^\circ$  且風速大於 5m/s 則該點在風域內若射線上之風向與射線夾角大於  $45^\circ$  且風速小於 5m/s 則該點在風域外。最後一個風域內之點與新竹資料浮標站之距離即爲新竹資料浮標站可能的風域之一。

(iv)十四條射線中最長的風域即爲新竹資料浮標站之吹風風域。

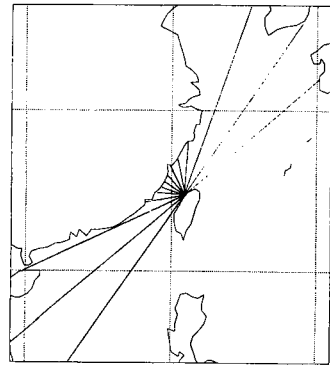


圖 2 由風場圈選風域時所採用之射線示意圖

本文以風場圖圈選風域，在圈選過程中，發現在鋒面期間風場內的風速了出現兩種情形，一爲在鋒面過境前，風速均小於 5m/s，由上述(iii)描述判斷，鋒面期間新竹資料浮標站位於風域外。另一種情形爲鋒面過境後，風速增大且均大於 5m/s，但吹風距離長達 500km 以上，因此由(1)式推算的波高值並不是三者中最小的一個。又鋒面期間的風速並非均勻，無法推算正確的歷時時間，因此本文假設鋒面期間的波浪屬於成熟波。

由於鋒面係隨時間移動系統，因此波浪推算過程中，風域亦逐時而改變，相對地，吹風延時也逐時變化。依此原則本文推算鋒面波高，並以平常無鋒面時之海況爲對照組，分析結果如下節說明，

### 3.2 鋒面海況與推算結果之差異

根據上述的波浪推算方法，本節針對鋒面期間海況變化最顯著地案例 G 來從事波浪推算計算，該

鋒面於民國八十七年二月三日左右抵達臺灣北部，鋒面後伴隨強烈冷氣團，其強度達到寒流的程度，該鋒面移動速度並不快，如圖 3，影響台灣附近海況將近達五天左右。此鋒面在抵達新竹浮標測站前，海面平靜無波，當鋒面一到達，海上波浪快速增大，如圖 4 所示，波高在短短六小時內，由不到 1 米增長至接近 3 米的惡劣海況，而此波浪的成因乃是由於快速變大的風速所引發，如圖 5 所示，最大平均風速約達 15m/s。爲了討論後續的推算結果，本文同時也選取了案例 L 來作對照組，案例 L 之鋒面引發了緩慢成長的海況，鋒面期間最大波高約 2 米，最大平均風速亦約達 15m/s，如圖 6、7，但由於係慢慢變大，因此引起之海面波浪亦慢慢成長。

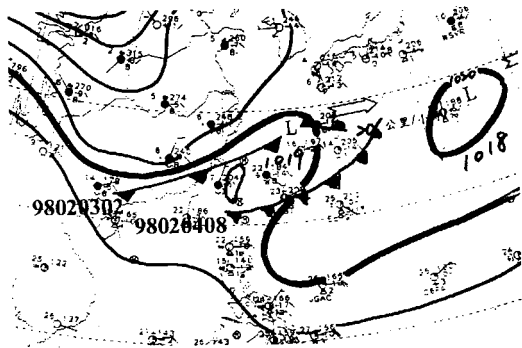


圖 3 鋒面過境期間之天氣圖(案例 G)

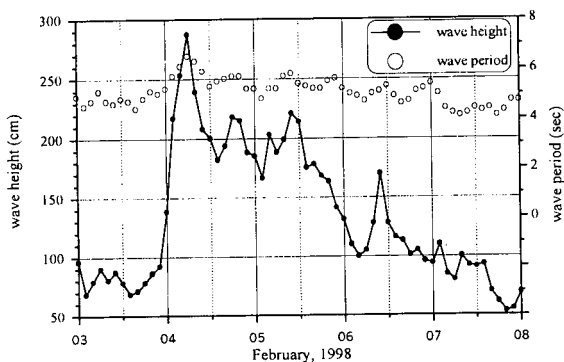


圖 4 波高快速增長之鋒面波高與週期(案例 G)

波浪推算結果分別如圖 8 與圖 9 所示，分析結果顯示鋒面抵達前後，S.M.B.方法推算結果與現場觀測值差異大，案例 G 中鋒面抵達時，風速急遽變大，S.M.B.推算值亦求得增長快速之海況，但 S.M.B.風浪增長速率小於現場觀測值，在整個鋒面

所引起的大波高期間，S.M.B.方法主要受歷時影響，有低估之結果。而在波浪成長緩慢之案例 L 中，亦有類似之結果，亦即是波浪在成長期間，S.M.B.推算結果較實測值小，而波浪在衰減過程中，S.M.B.推算結果高於實測值。

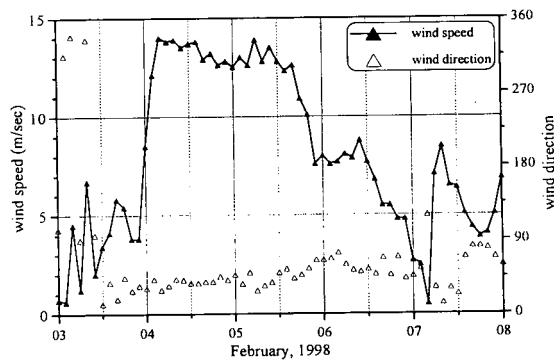


圖 5 波高快速增長之鋒面風速與風向(案例 G)

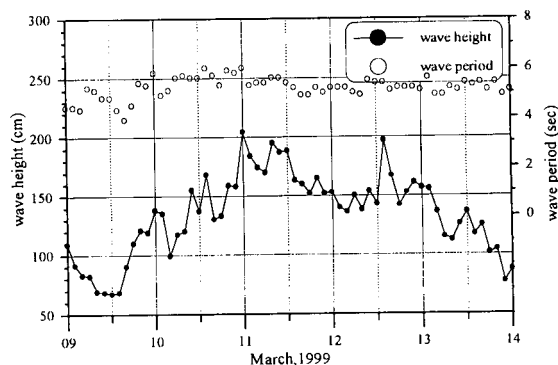


圖 6 波高緩慢增長之鋒面波高與週期(案例 L)

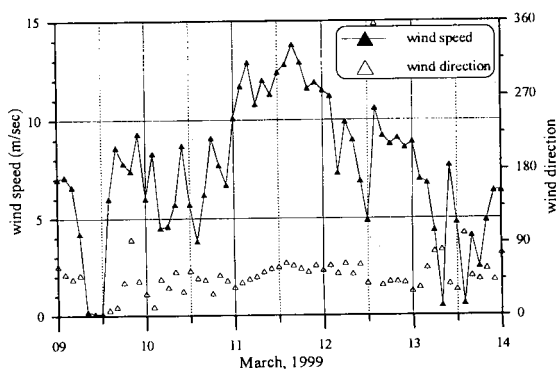


圖 7 波高緩慢增長之鋒面風速與風向(案例 L)

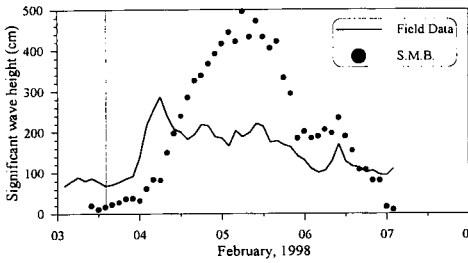


圖 8 S.M.B.法推算結果與實測波浪之比較( 案例 G) , 圖中直線為鋒面抵達測站的時間

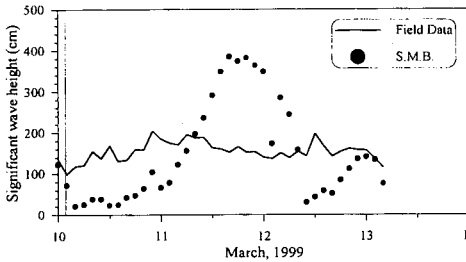


圖 9 S.M.B.法推算結果與實測波浪之比較( 案例 L) , 圖中直線為鋒面抵達測站的時間

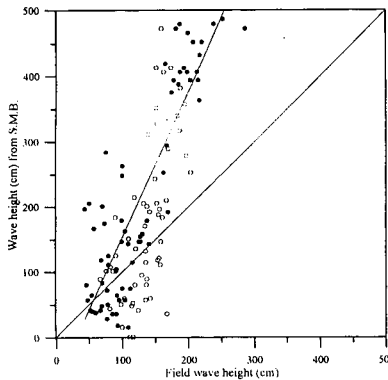


圖 10 實測波高與 S.M.B.法推算波高之關係圖 (實心圓實測波高值, 空心圓為 S.M.B.推算波高值)

#### 四、結果與討論

本文分析民國八十七、八十八年冬季期間, 在臺灣西北海域新竹資料浮標站所觀測的海氣象資料。本文試圖藉由 S.M.B.波浪推算方法, 探討鋒面期間波高成長是否可以 S.M.B.假設之風浪成長理論

來解釋, 希望藉以了解鋒面期間波浪急遽成長之原因。

經由多筆鋒面資料的統計分析與波浪推算比較, 本文獲得以下兩點:

1. 鋒面到達測站前, 海面波高漸趨平緩, 當鋒面前緣抵達測站時, 波高在短時間內急遽成長。
2. 鋒面抵達前與離開後, S.M.B.推算結果與實測值接近, 但在鋒面引發之大波高期間, S.M.B.推算結果約為實測值的兩倍(如圖 10)。

本文為探討鋒面引發之風浪急遽成長原因之初步研究, 經由上述討論發現, S.M.B.方法應用於推算鋒面抵達前及離開後之海面波高的結果與實測值誤差還不至於太大, 但在推算本文有興趣之鋒面期間引發之大波高時卻與實測值有約兩倍之差異, 本文後續研究中將進一步探討可能之原因, 繼續探求鋒面波高急遽成長之原因。

#### 謝誌

感謝中央氣象局提供天氣圖、風場資料及新竹資料浮標站實測資料, 研究期間氣象局海象測報中心呂理宏先生協助風場圖繪製, 使本文得以完成, 謹致感謝之意。

#### 參考文獻

1. 湯麟武等(1965) "澎湖跨海大橋橋址波浪及波力推算報告書", 成功大學水工試驗室研究試驗報告第十號。
2. 李汴軍(1979)"冬季鋒面過境型台中港波浪成長之研究", 大氣科學第六卷第一期, 1頁-5頁。
3. 李汴軍、梁乃匡(1981)"風浪數值預報模式在臺灣北部海域之應用", 第五屆海洋工程研討會論文集, 315頁-321頁。
4. 侯和雄、劉正忠(1982)"臺灣海峽風浪特性之研究", 第六屆海洋工程研討會論文集, 8-1頁-8-17頁。
5. 彭紹博(1991)"季風風浪數值模擬之研究", 國立成功大學碩士論文。
6. 郭金棟(1995)"海岸工程", 中國土木水利工程學會。
7. 簡仲環、曾相茂、林受勳 (1995)"台灣區域波浪統計特性比較研究", 第十七屆海洋工程研討會論文集, 161頁-1670頁。

7. 簡仲璟、曾相茂、林受勳 (1995)"台灣區域波浪統計特性比較研究"，第十七屆海洋工程研討會論文集，161頁-1670頁。
8. 李汴軍、范揚洺、楊康宏、葉曙純(2000)"北部沿岸風場與波浪特性之氣候分析"，第二屆國際海洋與大氣會議，論文編彙-海洋，135頁-140頁。
9. Hasselmann, K. ,Ross, D.B. , Muller, P. , and Sell, W.(1976) "A parametric wave prediction model", *Journal of Geophysical Oceanography*, Vol. 6, pp 200~228.
10. Jackson O. Blanton, Julie A. Amft, and Dana K. Lee (1989) "Wind Stress and Heat Fluxes Observed During Winter and Spring 1986", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 94, No. C8, pp 10686~10698.
11. Neil E. Van de Voorde and Scott P. Dinnel (1998) "Observed Direction Wave Spectra During a Frontal Passage", *Journal of Coastal Research*, Vol. 14, pp. 337-346.