

海峽地區風湧浪預報模式之研究

林柏青
港灣技術研究所

莊甲子
港灣技術研究所

周憲德
國立中央大學

摘要

台灣海峽海域，由於特殊的地理環境位置關係，致使其海域波浪特性與一般開闊海域者有很大的區別。本研究利用現場實測風速與波浪資料，直接迴歸波高與風速之關係以做為區域性風浪預報用。另當颱風侵襲本區海域期間，對於不斷改變風場大小、路徑、速度與位置之颱風的湧浪推算，本研究則利用各項颱風湧浪影響參數如風場遮蔽效應、能量堆積效應及擴散效應等係數，分別由實測資料分析求其相關性，再依能量疊加原理，計算區域性風浪與湧浪合成後之波浪。合成模式推算結果顯示預報波浪與實測者比較甚為吻合。

一、前言

本研究主要以台灣海峽南部海域之風、湧浪合成效應及波浪預報模式之建立為主。每年夏、秋兩季，於太平洋赤道附近生成之颱風，以順時針方向經菲律賓群島東方海面，並沿著南中國海或大陸邊緣之台灣、琉球群島及日本等島嶼北上，其實際走向則受北太平洋高壓帶分布影響。台灣西南沿海各地，近年來因附近地層下陷，沿岸地區對颱風波浪、暴潮等侵襲極為敏感。本研究針對台灣西南部之雲嘉海域及彌陀海域等地區之波浪及颱風湧浪進行相關性分析，期能建立適當的風、湧浪預報模式，提供海岸防災設計之參考。

二、雲嘉海域之波浪特性分析

根據實測波浪資料及大氣風場分佈之分析結果，可發現台灣西部海岸之波浪，其生成原則上可認為係由三來源波所合成。一為近岸海域之強勁吹風所引起之現地波，其波形尖銳，週期短，與當地風場有密切關係。二為由深海折射而至之折射波，其發生於外圍風場，如冬季北來之鋒面系統及夏季南

來之盛行西南風，其產生之波浪於離開吹風域後，以湧浪型態經深海折射進入台灣西部近岸海域，此種季風折射波之波浪特性為週期稍長，尖銳度較小，與現地風浪混合後使觀測波浪之波譜高能量頻帶範圍變寬。第三種成份波為偶而發生者，其為由移動風域如熱帶氣旋或颱風所造成，一般為長週期之湧浪型態，於暴風圈內發生後，以較快速度先颶風到達近岸海域，其到達時間及湧浪大小，則視颶風大小、位置及其移動速度而定。當颶風接近近岸海域時又會影響當地風場，使得波浪型態更加複雜。

根據港灣技術研究所於1991年至1993年間於外傘頂洲北側水深13m處(圖1)所施放之波浪儀所蒐集到之波浪資料加以分析，結果顯示本區東北季風期之經常性波高為0.75m，最大波高達3.75m，而夏季(西南風)時期之經常性波高則僅0.25m，最大波高2.75m。但須加注意者，本段資料期間並無颶風直接侵襲本海域。其次，如由冬夏不同季節時之波浪的平均週期與平均波高之關係分佈圖(圖2)觀之，可得其迴歸關係如下：

$$\bar{T}_s = 4.07 + 1.8\bar{H}_s - 0.13\bar{H}_s^2 \quad \dots (1)$$

$$\bar{T}_s = 4.66 + 2.08\bar{H}_s - 0.22\bar{H}_s^2 \quad \dots (2)$$

根據上列分析結果可發現，本區海域西南季風期(夏季)之波浪週期竟比東北季風期(冬季)者平均約大0.64sec。而東北季風期之平均波高則往往比西南季風期之波高大。此可能為本區海域在夏季時期，有時會受遠海傳來之長波所影響之故。

茲為探討颱風湧浪對本區海岸風浪之影響，乃取年發生於中國南海之中度颱風馬克(Mark)走徑為例(圖3)並加以分析。當馬克颱風由南海以東北東偏北方向向台灣推進時，根據外傘頂洲外海之波浪測站所測得波浪資料，以頻譜分析後發現其颱風湧浪成分先颱風到達雲嘉海域，其前後到達過程如圖4所示，由該些圖可發現下述本海域區諸風浪特性現象：

- (1) 颱風甚遠時，湧浪未到，所觀測波浪資料中僅有純粹之風浪成分， $T_p=6.56\text{sec}$ ，其波高可由淺海風浪推算模式準確計算得到。
- (2) 颱風湧浪進入雲嘉海域，因距離尚遠，致湧浪成分週期特長($T=15.7\text{sec}$)，風浪仍維原狀($T_p=6.35\text{sec}$)。
- (3) 颱風逐漸靠近，湧浪能量增加，使得波譜能量偏向低頻，並有頻譜帶增寬現象，此因風浪與湧浪混合所致($T_p=9.09\text{sec}$)。
- (4) 颱風更接近時，湧浪成分衰退，因距離甚近，湧浪與風浪混合，至 T_p 減成6sec。
- (5) 颱風離測站方向遠去，但因距離仍近，致風浪與湧浪成分混合，能量相當，使能譜頻帶變寬($T_p=7.62\text{sec}$)。
- (6) 颱風於大陸廈門登陸後，對測站已無影響，故觀測之波浪恢復高頻之風浪狀態($T_p=6.50\text{sec}$)。

三、彌陀海域之波浪特性分析

彌陀海域位於雲嘉海域以南，其風浪特性與雲嘉海域者相類似，唯因海岸地形為偏西北東南方向，且北有外傘頂洲屏。冬季時，受東北季節風之影響不大，因此進入該海域之折射波能量，可以略而不計，僅須考慮當地之區域性風浪與颱風湧浪之相關性分析。

(一) 海氣象資料蒐集與分析

中國石油公司高雄永安LNG廠，委託國立成功大學水利及海洋工程研究所，自民國80年元月起，開始設站，進行彌陀海域地區海氣象觀測作業，至目前為止已蒐集了連續三年之風速風向，波浪以及潮汐資料，對彌陀海岸附近地區之海氣象特性，可說已有了初步的瞭解。

大致說來，彌陀海岸附近的波浪大小以春季波浪為最小。夏季波浪則最不穩定，其波高小至0.5m以下，大至3m以上均會發生。秋季與冬季波高發生機率雖然近似，但是發生原因不盡相同。秋季較大波浪主要由颱風湧浪引起，波高常大於3m。冬季較大波浪則受東此季風影響，波高鮮少大於2m。另外，82年夏季沒有颱風直接侵襲台灣，但是波浪發生機率與81年相似，顯示外海湧浪是造成彌陀海岸地區夏季較大波浪發生的重要因素之一。

(二) 颱風資料蒐集與分析

為配合彌陀海域波浪觀測記錄，自80年1月至83年7月9日共蒐集了14組颱風資料(如表1)以作為分析用。

表1 80年1月至83年7月9日間對台灣有直接威脅之颱風

區分	通過台灣南部及南海	通過台灣東部	通過台灣中、北部
颱風編號	9106	9109	9111
	9107	9119	9215
	9108	9202	9216
	9120		9219
	9123		
	9124		
	9213		

上列14組颱風為對台灣本島直接構成威脅且經中央氣象局發布颱風警報者。其中，有七組颱風為經台灣南部、巴士海峽或南中國海域，產生湧浪，並直接侵入台灣海峽南部，其路徑如圖5所示。其他通過台灣東部或中北部之颱風，因受陸地屏障，威脅較小，但所引進之強烈氣流所造成之波浪仍不可忽視。

四、理論分析與模式建立

影響彌陀海域波浪狀況者，主要可分為區域性

波浪及外來湧浪兩類。區域性波浪純屬現地之風浪，外來湧浪則為遠方強烈風場輸出之湧浪，當兩者同時抵達觀測點後成為合成波浪。外來湧浪主要來自颱風波浪，且因彌陀海岸位於台灣西南部，易受南方北上之波浪侵襲，因此本研究重點以經過台灣海峽南部，巴士海峽及南中國海之颱風為主。

(一) 區域性風浪推算模式

所謂區域風浪者係指由現地風場發生而引起之局部海域波浪。一般說來，其隨地域特性而不同。至其發生原因不外是風場靠近或通過，例如鋒面通過時，鋒面後方之東北風風場，夏季之西南氣流，雷雨雹或颱風等。此種區域性波浪一般與當地風場強度成正比，時間延遲約1~2小時。

彌陀海域位於台灣海峽南部，於季節風期間風場較穩定，風速變化不大。由現場之波浪觀測資料，風速，及中央氣象局發布之地面天氣圖等，可據以研判區域性風浪發生時段及因遠方強烈風場產生湧浪發生時段。以迴歸方法可分別獲得彌陀海域各不同季節之區域性風浪推算模式，如圖6-圖9。波浪與風速之關係式則分別如下：

- 春 $H=0.42+0.0356W$(3)
- 夏 $H=0.7+0.027W$(4)
- 秋 $H=0.5+0.043W$(5)
- 冬 $H=0.42+0.056W$(6)

式中，H：示性波高(m)
W：風速(m/sec)

夏季時，風浪關係式之斜率較緩，而冬季時其斜率較陡。因此，冬季於海面風變時起浪較快，須加以小心。

(二) 颱風波浪推算模式

影響彌陀海域波浪最大者，除上述之區域性風浪外，尚有冬季時台灣海峽北部之冷鋒面系統及夏季時常發生之颱風。除了颱風直接侵襲該海域外，由台灣海峽南部之南中國海通過之颱風更常帶來巨大湧浪，造成海峽南部海域無風起大浪，於無預警情況下，嚴重威脅沿海居民之安全。

由前述四組風、浪關係式分別推算區域性風浪並與彌陀海域現場波浪觀測值比較，如圖10-圖13，顯示沒有明顯外來湧浪時，區域風浪預報模式應為可行。因颱風湧浪為造成彌陀海域大浪發生之主要原因之一。因此，如何準確預測得颱風湧浪為一重要課題。

首先，根據Bretschneider(1976)的颱風風浪模式推算颱風波浪：

1. 求颱風最大風速 U_R

$$U_R = k\sqrt{\Delta P} - 0.5fR \dots\dots\dots(7)$$

$$k = -\frac{\phi}{7.5} + 70 \dots\dots\dots(8)$$

式中

- U_R ：颱風最大風速(節)
- ϕ ：颱風中心位置緯度
- ΔP ：中心示度之深度(吋汞柱)
- f：柯氏力係數
- R：颱風最大風速半徑(哩)

2. 將 U_R 換算成海面10公尺高，10分鐘平均風速為：

$$U_{R_s} = 0.865U_R \dots\dots\dots(9)$$

3. Bretschneider以美國51個颶風實測資料得靜止颶風最大風速半徑處之波高(呎)為

$$H_R = k'\sqrt{R \cdot \Delta P} \dots\dots\dots(10)$$

$$k' = 7.59 - 41.21\left(\frac{fR}{U_R}\right) + 160.51\left(\frac{fR}{U_R}\right)^2 - 219.32\left(\frac{fR}{U_R}\right)^3 \dots\dots\dots(11)$$

4. 當颱風移動時，風速為颱風靜止時之風速與颱風移動速度之向量和，所增加之量 ΔU 為：

$$\Delta U = \frac{1}{2}V \cdot \cos(\theta + \beta) \dots\dots\dots(12)$$

式中

- V：颱風中心移動速度，單位(節)
- θ ：等壓線切線方向與颱風移動方向的夾角
- β ：為風向與等壓線切線的夾角

5. 颱風以V的速度移動時，波高則變為：

$$H_{RV} = H_R \left(1 + \frac{\Delta U}{U_{RS}} \right)^2 \dots \dots \dots (13)$$

(三) 颱風湧浪推算模式

波浪脫離發生風場風域範圍後，即成為湧浪。一般湧浪傳遞速度大於颱風移動速度，所以湧浪皆先颱風到達。影響湧浪大小及傳遞之各項參數分別為：

1. 湧浪能量傳遞擴散參數

波浪離開颱風風域範圍後，向外傳遞並擴散，其能量與颱風七級風暴風半徑 R_7 成正比而與傳遞距離 r 成反比(Liang, 1990), 因此湧浪傳遞擴散參數

$$C_1 = \sqrt{\frac{R_7}{r}} \dots \dots \dots (14)$$

2. 湧浪堆積效應參數

颱風不移動時 R 處的代表波週期 T_R (秒)，可由 H_R 及海面風速 U_{RS} 求出

$$T_R = 0.3785 U_{RS} \cdot \tanh \left[\ln \left\{ \left(1 + \frac{40H_R}{U_{RS}^2} \right) / \left(1 - \frac{40H_R}{U_{RS}^2} \right) \right\}^{0.5} \right]^{0.6} \dots \dots (15)$$

湧浪週期計算式為

$$T_P = \left(0.003 \cdot r \cdot R_7 / T_R^4 + 0.22 \right) \cdot U_{RS} \dots \dots \dots (16)$$

湧浪傳遞至測站之時間延遲 T_{log} (小時)，為

$$T_{log} = \frac{r}{3.035 T_P} \dots \dots \dots (17)$$

當颱風移動時，湧浪將產生堆積與消退的現象(Liang, 1990)，則參數

$$C_2 = \sqrt{\frac{\Delta t}{\Delta t + T_{log2} - T_{log1}}} \dots \dots \dots (18)$$

式中

Δt ：湧浪計算時間間隔，單位(小時)。
 T_{log1} , T_{log2} ：兩次計算湧浪傳遞時間延遲，單位(小時)。

3. 風域遮蔽效應參數

颱風七級風暴風半徑雖僅有 200~300 公里，但其外圍風場卻可涵蓋 1000 公里，尤其在南中國海之廣闊海域，外圍風場引進旺盛西南氣流，其帶來之湧浪能量仍不可忽視。圖 14 為中度颱風季克(ZEKE)之等氣壓線分佈圖，繪成氣壓，距離分佈圖如圖 15，其風速分佈圖則如圖 16，六級風以上風場達 1000 公里。因此計算颱風風域遮蔽效應時應同時考慮其外圍風場之能量貢獻。以 d_1/R_7 表示風域之完整性。在南中國海 d_1 為颱風中心至呂宋島西岸之距離，由資料分析顯示，當颱風中心離開陸地向西入海且移動至足夠範圍後才能產生可傳遞至彌陀海域之有效湧浪，此範圍即東臨界點位置，即圖 17 中，各線與 x 軸相交位置，其離岸距離隨緯度減少而增加。連接各東臨界點為東臨界線，其位置如圖 18 所示。而呂宋島以東之颱風其湧浪則無法傳遞至彌陀海域內。因此，位於東臨界線以西，南中國海內之颱風其風域遮蔽效應參數計算式為

$$C_3 = d_1/R_7 \dots \dots \dots (19)$$

颱風通過南中國海接近大陸或中南半島時，風域受陸地遮蔽影響，湧浪開始衰減。此風域遮蔽效應參數計算式為

$$C_3 = \frac{\Delta x}{R_7} \left(1 + S \frac{d_2}{R_7} \right) \dots \dots \dots (20)$$

式中， $S = -0.21$ 為風域遮蔽湧浪衰減係數(圖 19)。圖中 H_{x2} 為颱風位於西臨界線時之湧浪波高值， H 為颱風深入陸地相對於 d_2/R_7 之湧浪波高值。颱風風域開始受陸地遮蔽影響之位置為西臨界線，此臨界線約為距岸 R_7 位置如圖 18 內所示。 ΔX 為颱風位置緯度之西臨界線與東臨界線間距離，以經度表示。 d_2 為颱風通過西臨界線向陸前進距離，單位為公里。

4. 象限及方向參數

一般颱風風浪在接近颱風中心第一、四象限處最大，第二、三象限內之波浪較小。因此，當測站位於颱風第一、四象限波浪傳遞方向者，其象限及方向參數 $C_4 = 1.5$ ，位於第二、三象限波浪傳遞方向時， $C_4 = 1$ 。

5. 湧浪波高修正係數

同時到達同一觀測點之颱風湧浪及區域性風浪，依能量疊加原理合成。颱風湧浪成份波高 H_{swell} 可由觀測波高值 $H_{measured}$ 及由風場計算之區域風浪波高值 H_{local} 求得。

$$H_{swell} = \sqrt{H_{measured}^2 - H_{local}^2} \dots\dots\dots(21)$$

設颱風湧浪與颱風強度及各項參數成正比關係，即

$$H_{swell} = \xi \times H_{Rt} \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \dots\dots\dots(22)$$

式中 H_{Rt} ：經時間 t 到達測點之颱風中心最大風速處波高，單位(米)

C_1 ：湧浪能量傳遞擴散參數

C_2 ：湧浪堆積效應參數

C_3 ：風域遮蔽效應參數

C_4 ：象限及方向參數

ξ ：湧浪波高修正係數

則由圖20可得湧浪波高修正係數

$$\xi = 0.3897 \dots\dots\dots(23)$$

五、驗證及討論

利用上述颱風湧浪推算參數法，分別計算80年至81年間通過台灣海峽南部，巴士海峽及南中國海域之七組颱風在彌陀海域之湧浪波高，並與當地風場推算之區域性風浪以能量疊加原理合成後，與當地之實測波高值比較，結果如圖21至圖25所示；預測與實測波浪極為接近。最後，將合成波高預測值與實測值比較繪如圖26，可看出誤差約僅±0.28米，甚為合理。

六、結論與建議

台灣海峽因海域地形狹長，東有台灣本島屏蔽，南與呂宋島間隔著巴士海峽。當颱風位於呂宋島及台灣東部海域時，其湧浪會直接侵襲台灣東部沿海，但對海峽內之台灣部沿海則絲毫不受影響。當颱風通過呂宋島向進入南中國海域，並向推進時，除了颱風本身產生之湧浪外，其外圍環流在颱風東部水域引進強烈南氣流，其產生之波浪仍不可忽視。當颱風繼續向西或向北與東南亞半島或大陸陸地接觸時，颱風能量迅速衰減亦影響其風場及湧浪大小。本文針對由南方海域北上侵入台灣海峽之颱風湧浪進行研究，並準確預測得彌陀海域之合成波高，其中尚包括區域性風浪。80年至83年彌陀海

域波浪觀測期間，僅得七組侵入台灣海峽南部，巴士海峽及南中國海域之颱風資料。資料雖然不多，歸納得之颱風湧浪參數推算方法，預報結果甚為理想。爾後，若有更多資料提供分析，相信對各項參數之修正或臨界線之界定可以更加準確。

誌 謝

本研究承行政院國科會經費補助(NSC84-2621-P-124-001B)，謹此誌謝，同時感謝國立成功大學水利及海洋工程研究所高家俊教授提供風速與波浪資料，中央氣象局海象測報中心提供地面天氣圖及颱風資料，使本計畫得能順利進行；此外，港研所錢爾潔小姐協助打字等，在此一併誌謝。

參考文獻

1. 藍元志，周恒豪，高家俊(1993)：“彌陀海域現場波浪預測之分析研究”，第十五屆海洋工程研討會。
2. 陳嘉榮，楊道昌，游保杉，高家俊(1994)：“彌陀海域即時波浪預報模式之研究”，第七屆水利工程研討會論文集。
3. 莊甲子，黃清和，林柏青(1991)：“雲嘉海岸現場波浪觀測及預報模式之建立”，農委會80農建-71-林-08(8)。
4. 莊甲子，林柏青(1991)：“雲嘉海岸外海波浪特性之研究”，第十三屆海洋工程研討會論文集，pp.491-505。
5. Bretschneider, C.L. and E.E. Tamage(1976), "Hurricane Wind and Wave Forecasting Technics", Proceedings 15th International Coastal Engineering Conference, PP.202-237.
6. Liang, N.K.(1990) : "A Study on Typhoon Swell Height Prediction", ACTA OCEANOGRAPHICA TAIWANICA, No.25, PP.77-86.
7. Liang, N.K. and C.C. Chien(1985) "A Typhoon Swell Hindcasting Technique Modified by Land Sheltering Effect", Proceedings, Air-Sea Interaction Workshop, Dec. 7-16, Taipei, PP.279-312.
8. Bretschneider, C.L.(1972) : "A Non-Dimensional Stationary Hurricane Wave Model", 4th Offshore Technology Conference, PP.OTC 1517.

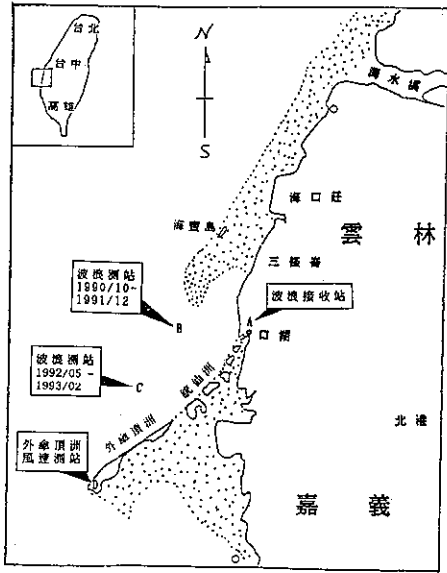


圖 1 雲嘉海岸沙洲分佈、風速測站及波浪測站位置圖

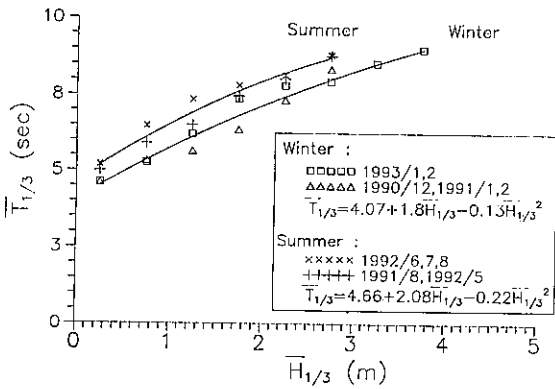


圖 2 雲嘉海岸平均示性波高與週期關係圖

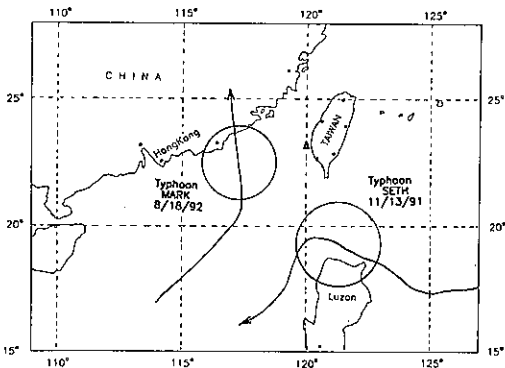


圖 3 馬克(MARK)颱風與席斯(SETH)颱風路徑圖

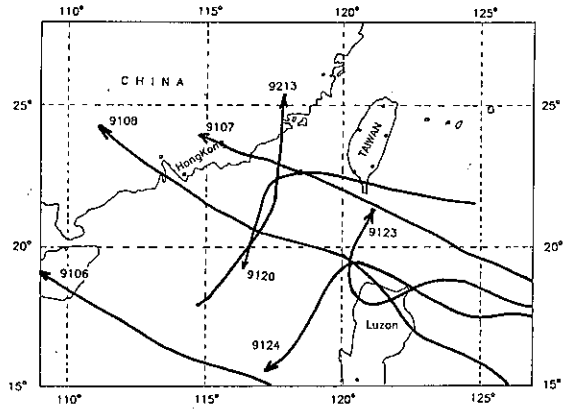


圖 5 七組颱風路徑圖

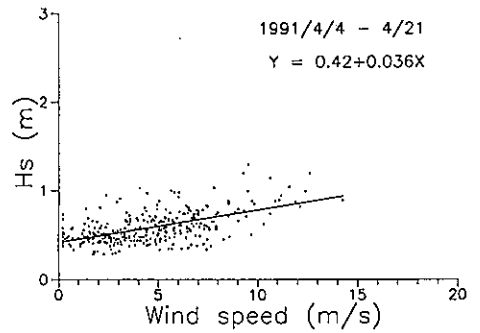


圖 6 春季時彌陀海域之風、浪關係圖

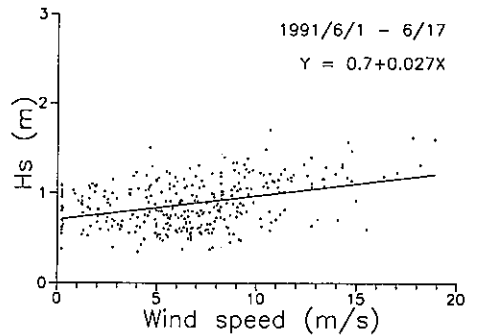


圖 7 夏季時彌陀海域之風、浪關係圖

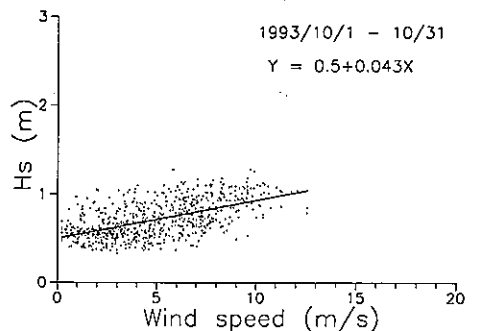


圖 8 秋季時彌陀海域之風、浪關係圖

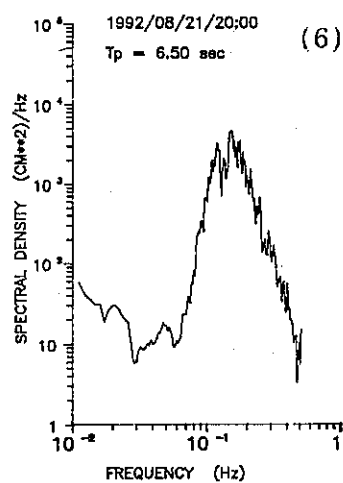
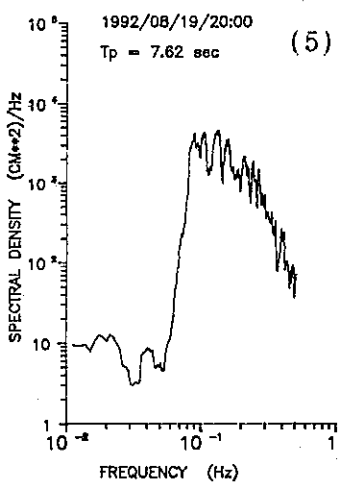
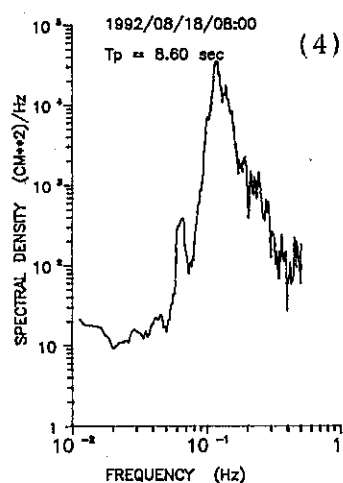
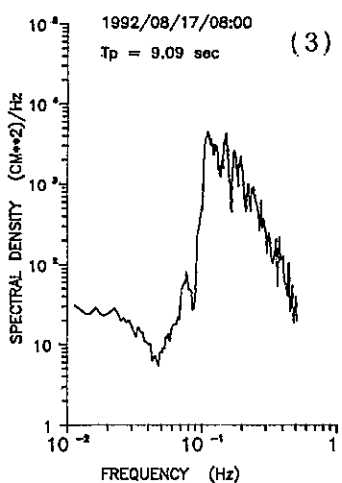
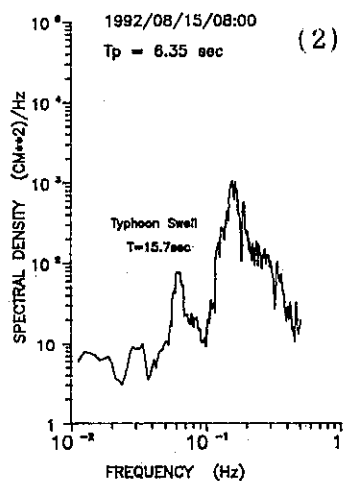
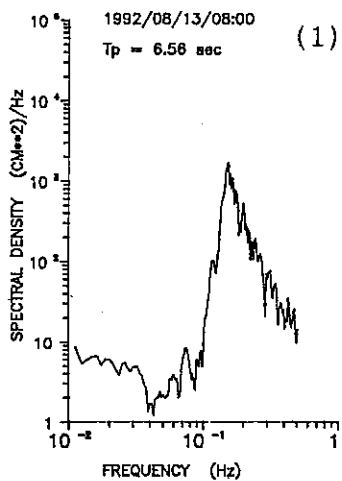


圖 4 馬克(MARK)颱風接近測站前後之波浪能譜變化

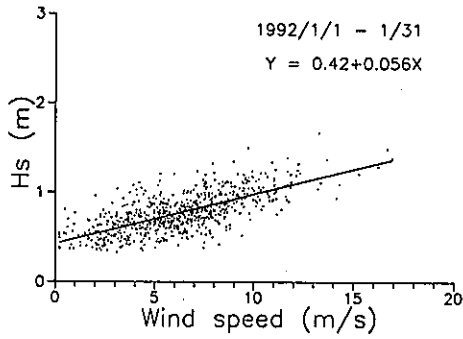


圖 9 冬季時彌陀海域之風、浪關係圖

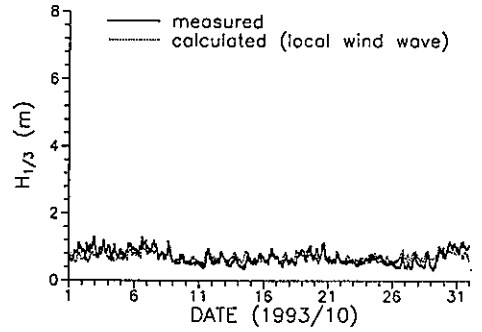


圖 13 推算區域性風浪與實測波浪圖(IV)

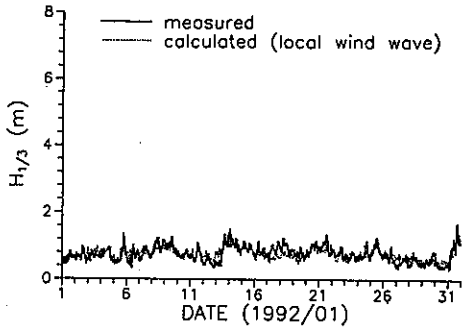


圖 10 推算區域性風浪與實測波浪圖(I)

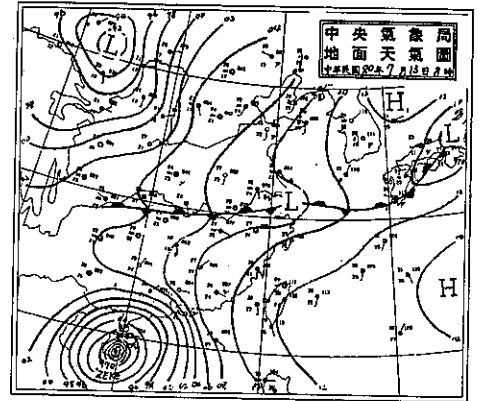


圖 14 中度颱風季克(ZEKE)之等壓線分佈圖

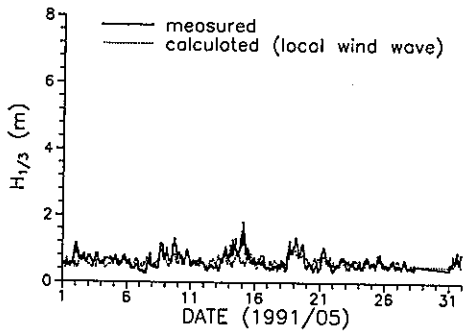


圖 11 推算區域性風浪與實測波浪圖(II)

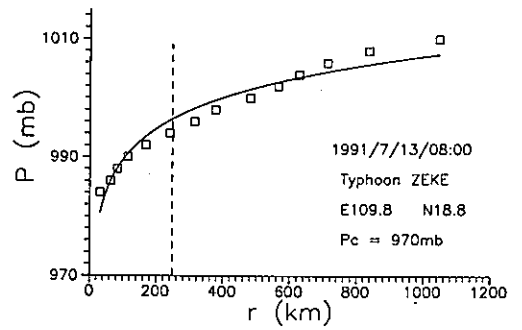


圖 15 季克(ZEKE)颱風之氣壓-距離分佈圖

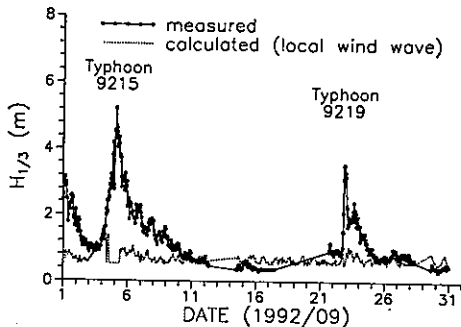


圖 12 推算區域性風浪與實測波浪圖(III)

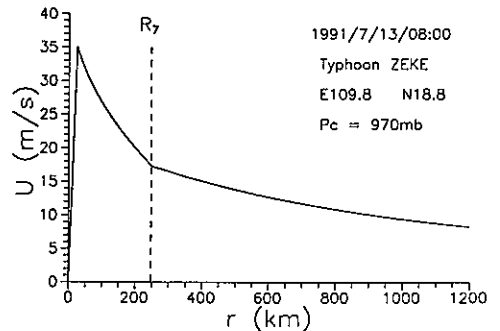


圖 16 季克(ZEKE)颱風之風速-距離分佈圖

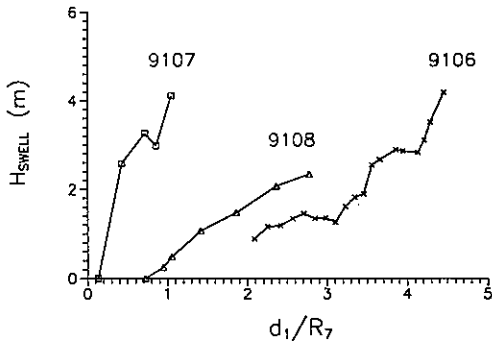


圖 17 實測波浪之湧浪成份與參數 d_1/R_7 關係圖

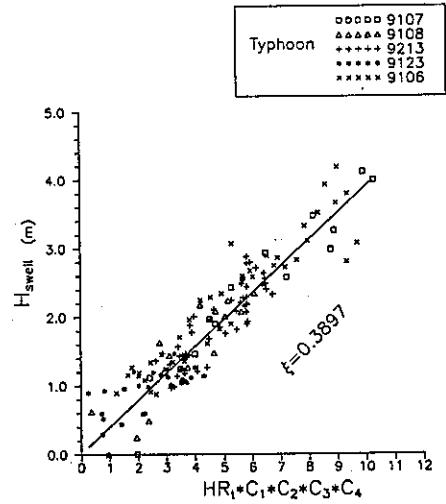


圖 20 颱風湧浪與參數關係圖

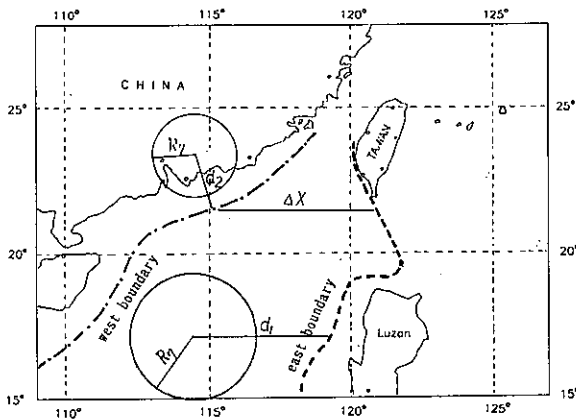


圖 18 東、西臨界線位置圖

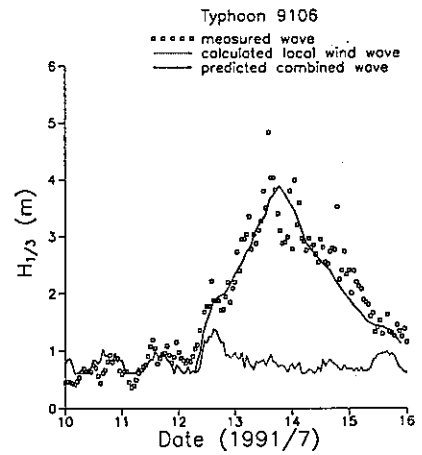


圖 21 預報合成波高與實測波高比較圖

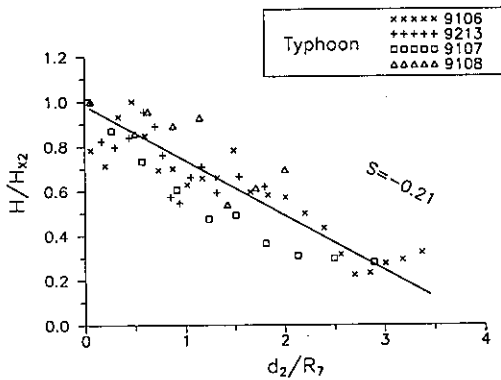


圖 19 颱風風域遮蔽湧浪衰減關係圖

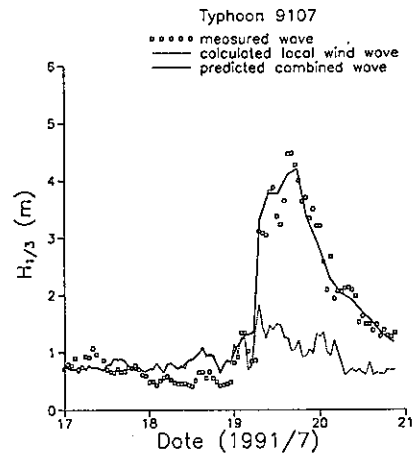


圖 22 預報合成波高與實測波高比較圖

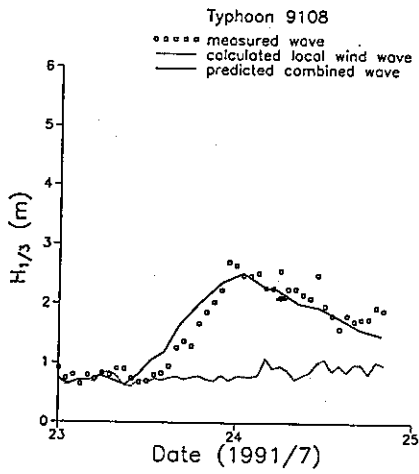


圖 23 預報合成波高與實測波高比較圖

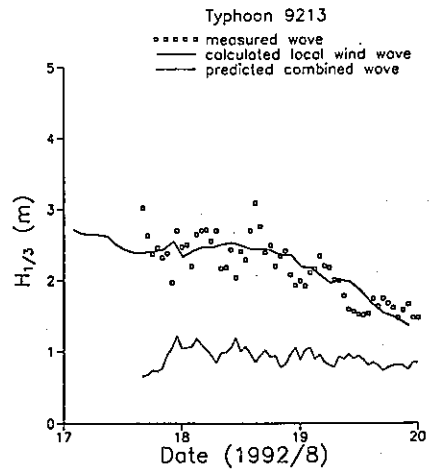


圖 25 預報合成波高與實測波高比較圖

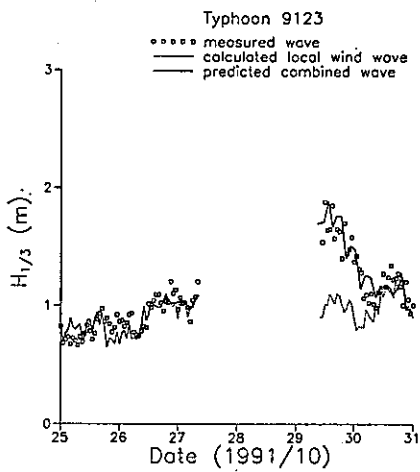


圖 24 預報合成波高與實測波高比較圖

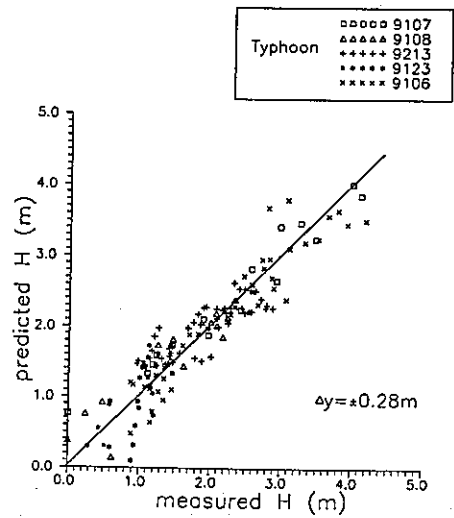


圖 26 預報合成波高與實測波高關係圖

The Predictional Model of Wind Wave and Swell in Taiwan Strait

P.C. Lin
**Institute of Harbour &
Marine Technology**

J.T. Juang
**Institute of Harbour &
Marine Technology**

S.T. Chow
National Central University

ABSTRACT

Due to the special bathymetry of Taiwan Strait, the characteristics of waves inside this strait area was quite different from those of open seas. In this study, the relationship between the wind speed and the wave height was completed first by use of the field data at site and with it to use for the prediction work of regional waves. Meanwhile, during the typhoon season, because the wind field of typhoon was changed time by time as well as its path and moving speed. Therefore, some empirical coefficients as the sheltering effect of the wind wave, the effect of energy cumulation and dispersion etc. was defined by way of the analysis of the field data. After that, the energy combination theory was used for the computation of the combined waves. Results shows that the predictional wave height was coincide with the measure's very well.