

凱米颱風(2006)海象分析研究

朱啓豪 徐月娟 林芳如 陳進益

海象測報中心
中央氣象局

摘 要

凱米颱風是 95 年第 4 個侵台颱風，其路徑由菲律賓東方海面往西北方移動並在台東成功附近登陸台灣，經嘉義東石附近出海，之後持續往西北方經過台灣海峽由金門附近進入福建。凱米颱風屬於中度颱風，中心最低氣壓 960 百帕，7 級暴風半徑 200 公里，10 級暴風半徑 50 公里。經由本局波浪、潮位站的資料分析，台東外洋浮標觀測最大波高約 8 公尺，搭配颱風路徑圖顯示，颱風中心可能通過浮標放置地點，因此可推斷颱風中心波高至少 8 公尺，深海浮標的建置可以提供即時的海氣象資料，幫助對於颱風強度及路徑的判斷。其他測得較大的波高為：花蓮浮標最大波高接近 5 公尺，小琉球浮標最大波高超過 4 公尺。

颱風所引起的暴潮水位分析也是本文另一個重點，凱米颱風侵襲台灣期間正好屬於大潮期間，台東縣富岡、嘉義縣東石、澎湖及金門等潮位站都觀測到有明顯的暴潮發生，觀測之最高水位接近甚至超過去年觀測之最高水位。另外，本文使用中央氣象局 CWB/NWW3-2 波浪作業模式，配合數值天氣預測系統所提供之區域性海面風場，模擬凱米颱風期間台灣附近海域之波浪變化情形，並作模式與資料浮標之觀測波高校驗與分析。

一、前言

凱米 (Kaemi) 颱風是今 (95) 年第 4 個侵台颱風 (編號 0605)，最初於菲律賓東方海面生成後，即往西北移動，由於周圍大氣環境有利於颱風發展，凱米颱風強度從輕度轉成中度颱風，且其路徑一直往台灣附近移動，經氣象局嚴密監控並判斷有侵台的威脅後於 7 月 23 日 14 時 30 分發佈海上颱風警報，同日 23 時 30 分發佈海上陸上颱風警報。凱米颱風路徑圖如圖 1，在侵襲台灣東南部海域前，其中心氣壓 960 百帕，7 級暴風半徑 200 公里，10 級暴風半徑 50 公里，近中心最大風速每秒 38 公尺，相當於 13 級風，暴風圈接近台灣東部陸地時，10 級暴風半徑增加到 80 公里，在台東縣成功附近登陸後，受中央山脈地形影響，強度略為減弱，隨後在嘉義東石附近出海，持續往西北方向通過台灣海峽，颱風中心快接近金門時，已減弱為輕度颱風，中心氣壓 975 百帕，並持續減弱進入中國大陸，氣象局於 7 月 26 日 2 時 30 分解除凱米颱風警報。

凱米颱風中心停留在台灣的時間並不長，但強烈的風速和豪雨仍帶來災情，台灣各地農業損失逾億。凱米颱風侵襲台灣時間 (7 月 23 日至 26 日) 適逢大潮期間 (農曆 6 月 28 日至 7 月 2 日)，氣象局不斷的提醒沿海低窪地區民眾嚴防淹水及海水倒灌。根據中央氣象局及其他相關單位在全省各地設有之潮位測站

及海面資料浮標觀測資料顯示，部分地區的暴潮位都接近甚至超過去年同期大潮期間之高潮位，同時強烈的颱風環流造成海面上很大的波浪，台東外洋浮標觀測到 8 公尺浪高，花蓮浮標觀測到接近 5 公尺浪高。本文首先利用這些觀測資料分別對於氣壓、風速、波浪、暴潮做分析。接著利用 CWB/NWW3-2 波浪模式模擬凱米颱風引起的波浪變化，再校驗模式與觀測資料，最後為結論。

二、浮標資料分析

中央氣象局海象測報中心 (以下簡稱海象中心) 今年首度布放深海資料浮標，成為我國駐守東部外海探測颱風和海洋氣象前哨站。這次凱米颱風剛好從台灣東南部海面經過並於成功附近登陸，颱風中心移動路徑相當接近台東外洋浮標放置地點，藉由分析台東外洋浮標之觀測資料可幫助了解颱風所引起的波浪變化。本文使用龍洞、龜山島、蘇澳、花蓮、小琉球、鵝鑾鼻、金門共 7 個近海資料浮標、及台東外洋深海資料浮標之觀測資料，浮標位置以藍點標示於圖 1，觀測間隔為 1 小時，用來分析颱風侵台期間觀測到的波高、風向風速、氣壓的變化。凱米颱風侵台期間，各觀測站觀測之最大波高、風速、氣壓如表 1。

(一) 波高

圖 2 為台東外洋浮標 7 月 23 日至 26 日之波高時序圖，綠色虛線從左至右依序為(a)24 日 14 時、(b) 24 日 17 時、(c)24 日 23 時及(d)25 日 5 時。24 日 14 時及 17 時為颱風中心最靠近台東外洋浮標之期間；24 日 23 時為颱風中心登陸時間；25 日 5 時為颱風中心出海時間，均以紅點標示於圖 1。圖 2 中黑色星號為觀測波高，從 7 月 23 日午夜之後有明顯上升趨勢，此時浮標離颱風中心約有 500 多公里，這時波高已超過 2 公尺，進入 7 級暴風半徑後，波高升至 3 公尺以上，然後持續上升至 7.1 公尺後，迅速下降至 3.2 公尺，然後又急速上升至 7.9 公尺，配合這段時間的颱風中心位置，發現距離外洋浮標相當近，觀測波高急速下降後又快速上升，可能是颱風中心經過浮標位置附近所造成。颱風中心移動路徑前方與後方之風向相反，颱風眼又靜風，因此風浪在颱風中心通過當地時會有短暫減弱的情形。波高升至接近 8 公尺後就逐漸下降，當颱風登陸成功時，波高接近 5 公尺，25 日 20 時前，波高均維持 3 公尺以上，直到解除颱風警報，波高尚維持 2 公尺左右。

圖 3 為各近海資料浮標站之海氣象資料時序圖，各圖中下半部黑色星號代表觀測波高。綠色虛線從左至右依序為(c)24 日 23 時及(d)25 日 5 時，分別為颱風在東岸登陸及在西岸出海時間。龍洞(圖 3-1)、龜山島(圖 3-2)、蘇澳(圖 3-3)及花蓮(圖 3-4)位置在颱風路徑以北，前二者雖然距離颱風中心較遠，又在 7 級暴風半徑之外，但所觀測的最大波高分別達到 3.1 及 4.7 公尺，由於龍洞位置更北，所觀測的波高較龜山島小。龜山島浮標波高在 12 小時內由 1 公尺很快上升至 4 公尺。此時颱風中心已登陸即將出海，受到強勁東南風影響，波高均維持在 1.5 公尺以上。要注意的是，雖然東北部海面在 7 級暴風圈之外，但是海上的波浪仍然很大，民眾不可掉以輕心。

花蓮浮標自 24 日 8 時波高已達 2 公尺以上，之後持續上升，當颱風在成功附近登陸時波高最高達 4.8 公尺，之後逐漸下降，25 日 7 時以前波高均維持 2 公尺以上。往北方之蘇澳浮標自 24 日 16 時波高從 2 公尺開始往上升高，25 日 1 時波高最高 4.2 公尺，25 日 11 時之後波高降至 2 公尺以下。

小琉球(圖 3-5)、鵝鑾鼻(圖 3-6)位於颱風路徑以南，小琉球浮標自 25 日 1 時達到 2 公尺後逐漸上升，相對極值出現在 25 日 5 時 3.4 公尺及 15 時 4.1 公尺，波高持續在 3 公尺左右，直至 27 日 19 時以後才減弱。鵝鑾鼻浮標自 24 日 23 時達到 2 公尺後仍逐漸上升，25 日 3 時波高超過 3 米，4 時下降至 2.5 米，隨後又上升，至 6 時波高達到最高 3.5 公尺，另一個極值出現在 25 日 16 時 3.4 公尺，波高持續維持在 3 公尺左右，27 日 19 時以後，波高才降至 2 公尺以下。颱風警報於 26 日 2 時 30 分解除，但這兩處浮標的大浪依舊維持約 2 天，可見颱風過後所引起的西南氣流相當強勁，因小琉球浮標離颱風中心更近，波高更高些。

颱風中心通過金門(圖 3-7)約在(f)25 日 17 時，標示為最右邊之綠色虛線。颱風中心通過後，金門浮標波高繼續上升，波高最大值出現在 26 日 1 時 2.8 公尺，26 日 14 時後降至 2 公尺以下。

(二) 風向風速

圖 3 各圖中上半部黑色十字代表觀測風速，藍色線段代表風向量，隨著颱風中心的靠近，各測站均有風速增加的趨勢，但是最大風速出現的時間點並不一致。花蓮浮標在颱風登陸前風速明顯增強，當颱風在台東成功登陸時，觀測到最強的東北風，之後迅速下降，當颱風出海時風速再度增強，風向轉為東南風。颱風遠離台灣後，由於受到西南氣流影響，風速並未下降至颱風來臨時的低風速。蘇澳、龍洞及龜山島出現最大風速之時間則在颱風於西岸出海後，風向偏南。颱風中心在台灣時，小琉球風速並沒有明顯變化，保持在最高點 15m/s，颱風出海後才緩慢下降，且風向以偏西南風為主。鵝鑾鼻風速最強是在颱風登陸時，之後逐漸減弱。金門受到颱風影響的時間最晚，當颱風中心在台灣海峽時，金門風速逐漸增強，在風向轉變前到達風速最大值，各地測站之最大風速為：花蓮浮標約 12m/s，蘇澳約 18m/s，小琉球及金門浮標約 15m/s，相當於 7 級風，龍洞、龜山島雖然離颱風中心較遠，最大風速也接近 15m/s。花蓮浮標因為處於七星潭受遮蔽，所以觀測到的最大風速較低。

(三) 氣壓

圖 3 各圖中上半部黑色線代表觀測氣壓時序列，右邊縱軸代表氣壓刻度。在颱風侵台期間，氣壓均有下降趨勢，並隨著颱風的遠離而回升。觀察最靠近颱風中心的幾個浮標資料，花蓮浮標在颱風中心即將出海時最低氣壓 993 百帕；小琉球浮標因較接近颱風中心，測得較低的氣壓 986 百帕，相較於颱風中心 960 百帕，得知這些測站離颱風中心還有段距離。其他測站所觀測到之最低氣壓均在 990 百帕以上。

利用資料浮標觀測之氣壓、風速風向變化有助於推斷颱風中心的位置。以花蓮浮標為例，颱風中心登陸成功前後，出現最大風速值，風向也從偏北風依順時鐘方向轉成南風，可以知道颱風中心從花蓮站南部通過。

三、颱風波浪模擬

中央氣象局海象中心負責風浪預報業務，所使用的外海風浪預報模式係引進美國海洋及大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)所開發的 NWW3 (NOAA WAVEWATCH III) 模式 (Chen 2001, Tolman 2002)，進行西北太平洋海域的波浪預報。海象中心目前使用 3 層波浪作業模式系統，最外層是 CWB/NWW3-1 (徐和林, 2003)，涵蓋範圍

包括了台灣海峽、東海、黃海、南海及部份西北太平洋海域，網格點的分割係以 0.5 個經緯度為單位。第 2 層是 CWB/NWW3-2，涵蓋範圍是以台灣為中心的海域，網格解析度為 0.25°，其邊界條件係由 NWW3-1 所提供。最內層為 SWAN-3 近海波浪模式，網格解析度為 0.05 度，以台灣周圍海域為主。波浪模式所輸入的風場資料為中央氣象局巢狀網格數值天氣預測系統 (NFS) 所提供之區域性大氣模式輸出的海面風場，依解析度大小分別為 RC(45km×45km)、MC(15km×15km) 及 HC(5km ×5km)，風浪模式涵蓋範圍如圖 4。為了觀察台灣海峽的波浪變化情況，本文利用第 2 層 CWB/NWW3-2 波浪模式搭配 NFS 模式 MC 風場來模擬颱風波浪變化。

(一) 波浪場模擬結果

凱米颱風從菲律賓東方往台灣東部移動，圖 5 表示 CWB/NWW3-2 風浪模式模擬凱米颱風之波浪變化，圖 5-1~圖 5-5 顯示為颱風中心在(a)24 日 14 時、(c)24 日 23 時、(d)25 日 5 時、(e) 25 日 8 時及(f)25 日 17 時之波浪場模擬結果。24 日 14 時及 17 時為颱風中心最靠近台東外洋浮標之期間；圖 5-1 可清楚看出大浪區位於颱風中心北側，亦即颱風行進方向右前方，此時颱風中心接近台東外洋浮標，最大波高超過 9 公尺。台灣東部海面波高均在 4 公尺以上；台灣海峽北部東側海域由於風速增強，波高已超過 2 公尺。圖 5-2 顯示颱風即將登陸台東成功，此時台灣東部海面波高持續升高，颱風行進方向右側為最大浪區。颱風登陸台灣後，台灣東部海面大浪區往北方移動，繞過東北角近海。圖 5-3 當颱風中心在東石附近出海時，台灣海峽波高均在 3 公尺以上，而且大浪區集中在台灣海峽西側，最大波浪超過 8 公尺；此時台灣東部海面浪高也有 8 公尺。颱風中心持續往澎湖方向移動(圖 5-5)，台灣海峽浪高逐漸增強。隨著颱風中心接近金門(圖 5-5)，颱風環流逐漸減弱，台灣海峽波高逐漸下降，但是受到颱風引進的強勁西南氣流影響，海峽波高維持在 2.5 公尺以上，較大波浪集中在台灣海峽北部海面，台灣東部海面波浪超過 5 公尺，台灣東部海面也有 3 公尺以上，並不適合海上船隻活動。

(二) 波浪模式校驗

圖 2 為台東外洋浮標觀測波高(黑色星號)與 CWB/NWW3-2 模式預測波高(紅色線條)時序列圖。模式波高從 24 日開始明顯上升，24 日之前觀測值較大，24 日之後模式波高值較觀測值大。波浪模式只模擬出颱風中心通過前的最大波高，中心通過後的另一個波高極值未能顯現，這可能是與 NFS 風場未能正確模擬颱風中心風場有關。從颱風中心登陸後，模式和觀測波高不論在波高值或趨勢變化上均相當一致，顯見外洋深海資料浮標不受地形遮蔽影響，更具有代表性。

圖 3 各圖中上半部紅色線表示 NFS 風速時序列，下半部紅色線為 CWB/NWW3-2 預測波高時序列。大致上來看，除了小琉球及鵝鑾鼻外，驅動風浪模式之海面風速及預測波高都較觀測值大，但是變化的趨勢一致。首先分析較接近颱風中心的測站如：花蓮、鵝鑾鼻、小琉球、金門，花蓮觀測到最大風速接近 15m/s，模式使用之最大風速接近 30m/s，模式較觀測值大接近 2 倍，以致於模式最大波高遠大於觀測波高。模式和觀測值相差較大之時間為颱風接近台灣期間，當颱風距離台灣有一段距離時，模式與觀測值均相當接近。鵝鑾鼻模式最大風速時間落後觀測時間，但是發生最大波高的時間卻早於觀測，可能和模式選擇測站點位有關，需要後續分析。小琉球浮標風速在 24 日傍晚以前，模式與觀測不一致，但是由於風速小，兩者波浪變化趨勢一致，只是觀測波高值較大，24 日傍晚過後模式風速模擬較佳，但是均較觀測值大。整體來看，小琉球觀測波浪都較模式為大，兩者差距最大接近 1.5 公尺，模式對於波高低估的現象於未來預報時須加以注意。金門浮標觀測風速較模式小，兩者最大風速相差約 15m/s，出現在颱風出海時，因此從颱風中心登陸成功至接近金門這一段時間，模式波高均大於觀測波高。其餘龍洞、龜山島、蘇澳模式由於風場均較觀測值大，模式模擬的波高均大於觀測值。

四、暴潮資料分析

凱米颱風是從台灣東南方海面登陸後，穿越中央山脈，進入台灣海峽，最後登陸大陸，屬於 PLC 路徑(颱風中心登陸且西向經過中部陸地)。分析全台各潮位站的資料顯示，暴潮偏差最大的地區和颱風中心的位置有密切相關。凱米颱風於 7 月 24 日 23 時左右由台東縣成功附近登陸，25 日 4 時左右由嘉義縣東石附近出海，25 日 8 時颱風中心在澎湖附近，25 日 17 時颱風中心接近金門，根據颱風路徑，本文利用靠近颱風中心路徑的幾個潮位站，分別是成功、花蓮、富岡、東石、澎湖、金門等潮位站，分析實測之暴潮變化。

圖 6 表示各潮位站天文潮、暴潮及暴潮差的時序列圖，藍色線代表天文潮位，黑色線代表觀測之暴潮位，兩者的差異稱為暴潮差，以綠色線表示，縱軸左邊是天文潮、暴潮水位的刻度，右邊則是暴潮偏差的刻度，靠近圖形底部之直線代表颱風警報發布之時間，細線代表海上颱風警報，粗線代表海上陸上颱風警報。首先分析靠近颱風中心登陸地點成功站的水位變化，成功站(圖 6-2)於 24 日中午之後潮位開始受到颱風的影響，此時颱風中心距離成功站約 200 公里遠。當颱風中心登陸時，暴潮差最大，但此時正好是當地低潮時，最大暴潮差約 40 公分，之後隨著颱風遠離，暴潮偏差量逐漸減小。最大暴潮位發生在 24 日 20 時左右，為當地天文潮高潮時，此時颱風中心已經

出海位於臺灣海峽。接著分析花蓮站(圖 6-1)暴潮水位變化，雖然花蓮距離成功較遠，但是暴潮水位變化和成功差不多，只是暴潮偏差量較小，約 30 公分。富岡站(圖 6-3)位於成功站南方，暴潮偏差量發生時間和成功站差不多，偏差量約 35 公分，和成功不同的是，富岡站最大暴潮偏差持續 2-3 個小時，成功站則是到達最大偏差量之後就下降。凱米颱風中心於嘉義東石附近出海，東石站(圖 6-4)可明顯看出受颱風影響之暴潮水位，較嚴重的是，颱風影響最大的時間剛好是當地滿潮時間，暴潮偏差量近 75 公分，維持約 2 小時後迅速下降，隨後暴潮偏差又上升產生另一個高峰，約 40 公分，然後緩慢降低。比較颱風中心登陸及出海的潮位變化，東石潮位站潮位上升速度較成功快，可能是漲潮加上靠近颱風中心所致，未來若是有相似路徑的颱風，對於颱風中心出海口附近需要加強警戒。

颱風中心出海之後，逐漸往澎湖靠近，澎湖站(圖 6-5)觀測到的最大暴潮偏差量約 60 公分，此時還在漲潮階段，25 日接近中午時最高水位約 230 公分。颱風中心約在 25 日 17 時靠近金門，但是金門站(圖 6-6)最大暴潮偏差量出現在 25 日 10 至 12 時間，約 60 公分，此時颱風中心在澎湖附近，在 25 日 20 時左右暴潮偏差約 40 公分且持續一段時間，此時颱風中心已經進入福建，但是颱風強度並沒有立刻減弱，金門風速維持在 10m/s 左右，因此金門潮位還是受到颱風影響。特別的是，台灣東岸暴潮差變化是一次升降；台灣西岸則是呈波狀。當颱風中心靠近台東成功時，金門站另有一波暴潮偏差極值約 30 公分，出現在 24 日 11 時左右，這些暴潮偏差較大值出現的時間都是在漲潮期間，同時也是風速增強的期間。

五、結論與建議

颱風是影響台灣最嚴重的天然災害之一，監控及預報颱風侵台期間之波浪、暴潮是本中心重要的業務之一，隨著各地海象觀測網建置完全，對於未來颱風預報除了可供預報中心即時之氣象資料外，也可以增進波浪、暴潮的預報準確度。綜合以上對凱米颱風的分析結果，可歸納以下幾點：

1、資料浮標所觀測到的最低氣壓值為小琉球浮標約 986 百帕，所有測站均有明顯的氣壓下降趨勢。大部份浮標觀測到之最大風速約 15m/s，相當於 7 級風，和距離颱風中心遠近沒有太大差異。利用資料浮標風速風向和氣壓值，對於颱風路徑及強度有很大的幫助。

2、凱米颱風路徑相當接近台東外洋浮標，觀測到最大波高接近 8 公尺，由於浮標位置遠離陸地，可以觀察到颱風暴風圈內重要的氣象因子，可彌補海洋觀測資料缺乏之遺憾，建議未來優先設置深海浮標。花蓮、蘇澳浮標觀測波高資料有明顯的單一極值，鵝鑾鼻、小琉球卻有兩次極值出現，兩者相差約 10 小時。在颱

風遠離後，浮標波高維持 1.5 公尺一段時間，因是受到颱風所引起的強勁西南氣流所致。

3、CWB/NWW3-2 波浪模式對於凱米颱風波浪場模擬，有助於了解颱風侵台時台灣外海的波浪情況。對於模式波高的校驗部份，由於 NFS 對於颱風風場模擬均較觀測值大，以致於模式波浪值有高估現象，小琉球則相反，此部份可以作為往後波浪預報的參考指標，但是還需要搜集更多的颱風資料做分析比較。

4、若颱風路進屬於 PLC 路徑，依據分析結果可推論暴潮影響地區為台灣東南部、西部海岸、澎湖及金門地區。台灣西部海岸暴潮水位上升較東岸快速，另外颱風中心靠近澎湖時，除了注意澎湖暴潮水位之外，金門沿岸地區由於風速增強及地形影響，可能會產生最大暴潮偏差量，需要特別注意。

參考文獻

- 1.Chen, H.-S.,2001: Wind wave prediction models for Far East area. Proceedings of the 6th Workshop on Ocean Models for APEC Region.
- 2.Hsu, Y.- J. G. and F.- J. Lin, 2003: Evaluation of the Operational CWB/NWW3 Wave Model for the Taiwan Region in 2002. The 10th Workshop on Ocean Models for the APEC Region (WOM-10), OMISAR Project Publication, October 7-10, 2003, Hanoi, Vietnam, pp 1.1-1.19.
- 3.NOAA, 2002 "User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.2.2," edited by Hendrik, L. Tolman.

表 1、凱米颱風侵台期間各浮標站觀測之最大波高、風速、氣壓及對應時間。

站名	最大波高/ 發生時間	最大風速/ 發生時間	最低氣壓/ 發生時間
台東外洋	7.9/ 072418		
金門	2.8/ 072610	14.7/ 072515	
小琉球	4.1/ 072515	15./ 072503	986/ 072500
鵝鑾鼻	3.5/ 072506	14.1/ 072423	990/ 072500
龍洞	3.1/ 072504	14.8/ 072510	996/ 072505
龜山島	4.7/ 072504	15./ 072506	995/ 072505
蘇澳	4.2/ 2501	17.7/ 2505	991/ 2503
花蓮	4.8/ 2500	12.1/ 2423	993/ 2505

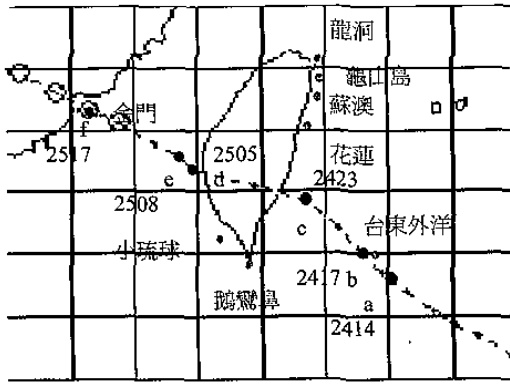


圖 1、凱米颱風路徑圖 (時間格式為日/時 LST)

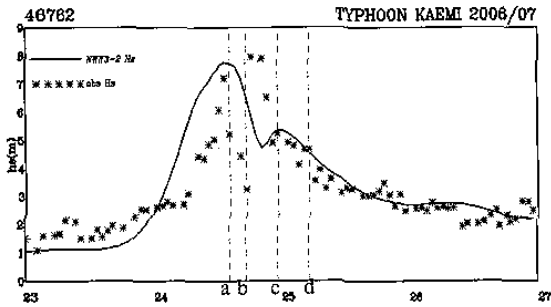
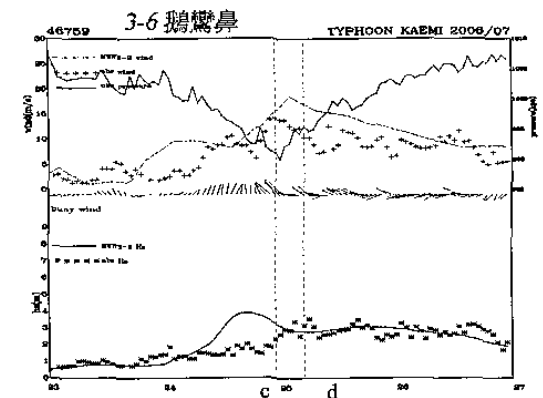
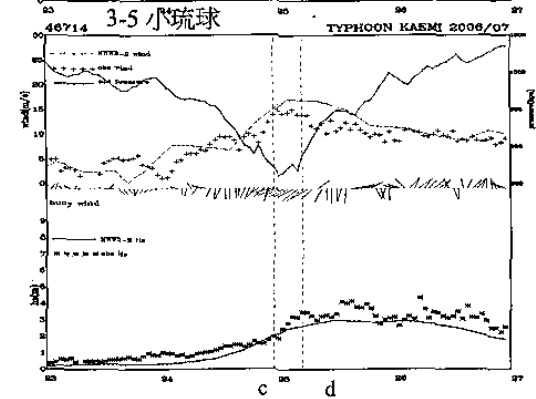
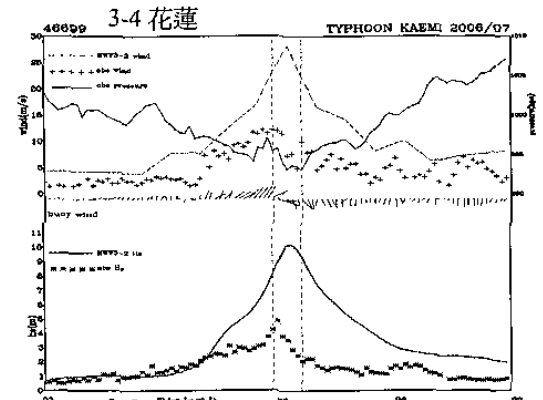
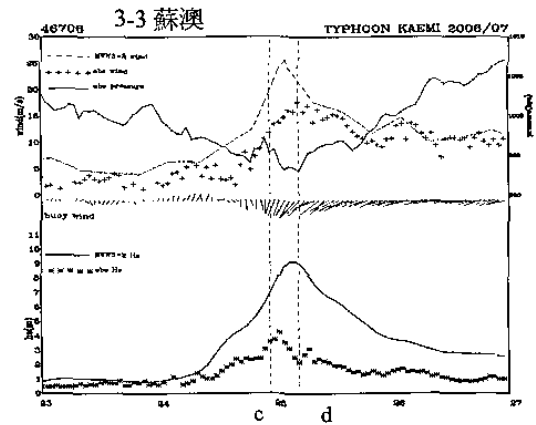
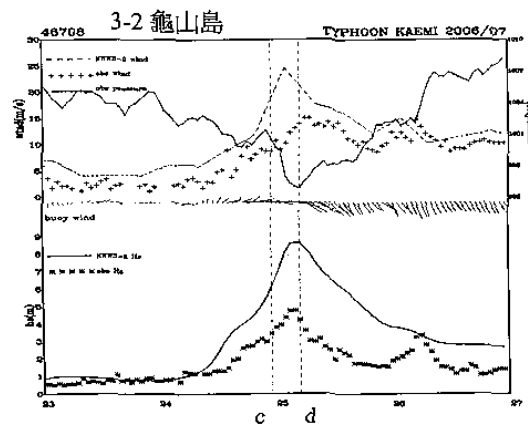
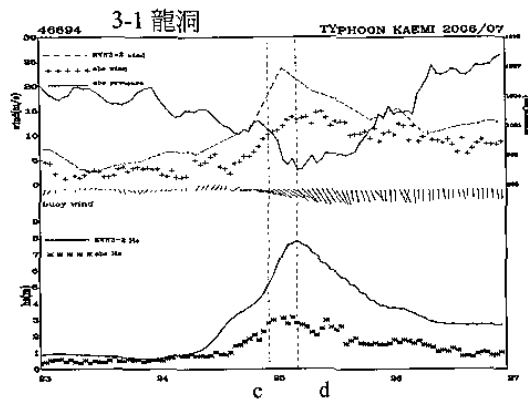


圖 2、台東外洋浮標觀測波高及 CWB/NWW3-2 波浪模式預測之波高。



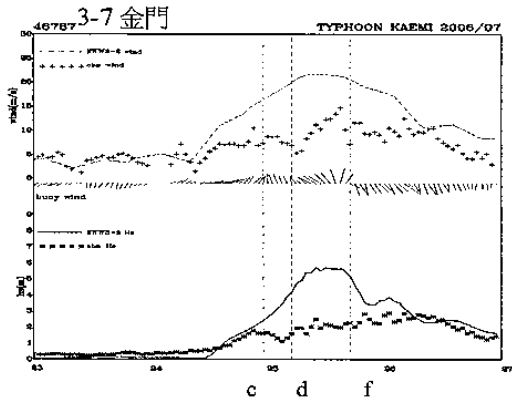
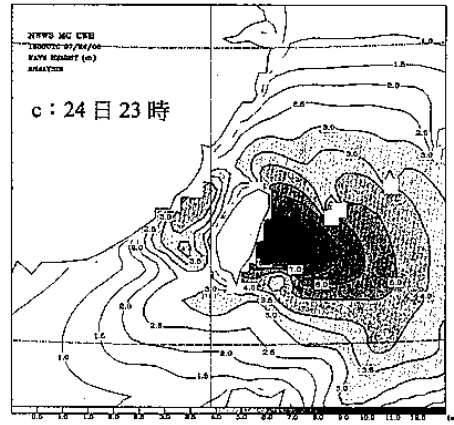


圖 3、各近海資料浮標站所觀測之風、氣壓、波高及 CMB/NWW3-2 波浪模式之預測波高時序圖。

5-2 072415UTC



5-3 072421UTC

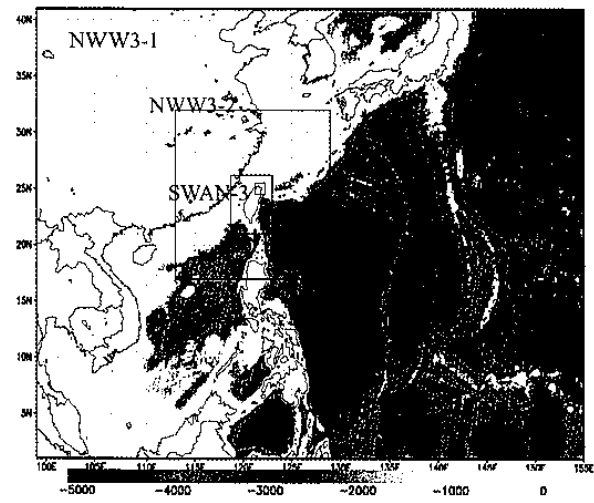
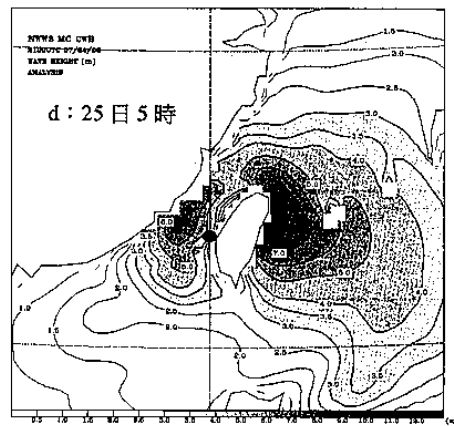
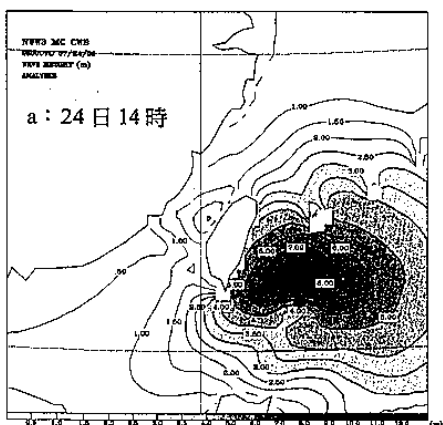
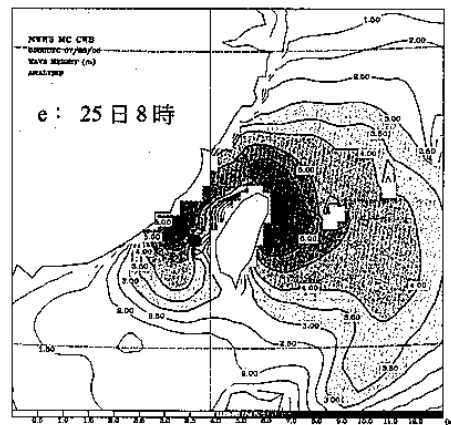


圖 4 海象中心 3 層巢狀網格風浪作業模式涵蓋範圍

5-1 072406UTC



5-4 072500UTC



5-5 072509UTC

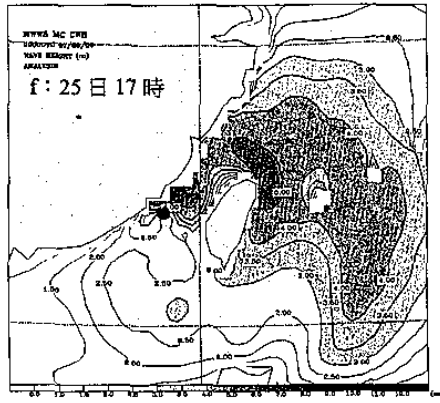


圖 5、CWB/NWW3-2 波浪作業模式模擬凱米颱風之波浪場，其中紅色圓點代表當時之颱風中心位置。

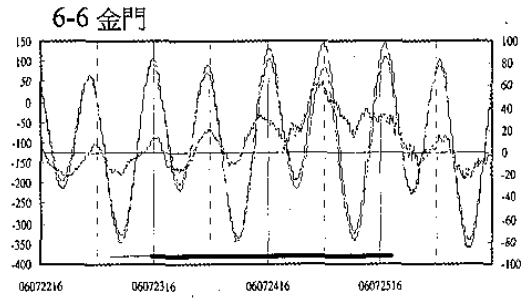
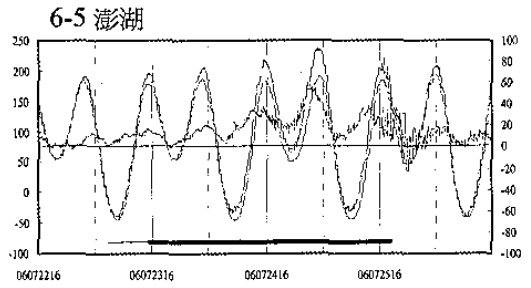


圖 6：各潮位站所觀測之天文潮位、暴潮位、暴潮偏差時序列圖。

