

臺灣五大商港海域之波浪觀測與長浪之辨識

莊文傑¹ 曾相茂¹

交通部運輸研究所港灣技術研究中心/研究員¹

摘要

在太平洋海域，當有颱風形成時，對臺灣近海而言，不論其是否為發佈警報之颱風，所衍生之長浪，均可透過國內五大商港近海監測波浪之尖峰週期(T_p)及示性波高(H_s)，清確地陳現其逐時演化歷程。又對於由東而西自太平洋向臺灣東部海域行進或過境之颱風，在蘇澳港或花蓮港近海所監測長浪之演化歷程，特別具有指標性，故可作為長浪判釋之依據。至於颱風長浪，尖峰週期通常會大於10秒，且其在蘇澳港近海之演化一般可區分為(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)成熟飽滿；及(5)減衰消退等五個重要歷程階段。其中，啟始到達階段之辨識，可應用尖峰週期約12秒之深水群波傳播速度(~809km/day)估算；堆疊擁積階段之辨識，可以長浪之示性波高是否由小逐漸成長至大於1.5公尺為基準；而有關減衰消退階段之辨識，則可以示性波高是否由大逐漸減小至低於1.5公尺為基準。

關鍵字：長浪、湧浪、風浪、颱風、波浪監測

一、前言

海洋中之波浪，通常係因風力之作用而衍生，故有「無風不起浪」之俗諺。在海洋學之領域中，此種因風(移動風暴、颱風、或強烈季風)而起之波動，統稱為風浪(wind waves)。風浪之大小或所挾帶能量之高低，主要取決於具有特定風速之風域(風力作用場域)範圍及風力之持續吹襲時間。主要特性之表達，藉助於波高(H)以及週期(T)或頻率(f)。

Munk(1951)將具有不同產生動力之各類型波動型態及其所對應之波浪名稱，依其對應之顯要週期區間，整理如圖1所示。由圖觀察可見，因風而起之風浪，其主要週期大多小於30秒，而且，週期約在8~10秒間之風浪，相對性地具有最大之波動能量，紀錄中，風浪之最大波高，可達34公尺(Horikawa, 1978)。

湧浪(swells)，學理上係專指離開風域或失去原生風力影響之風浪，故與颱風或強烈季風之存在息息相關。一般而言，由於其比風浪具有較規則之波動或較長之週期，因此，通俗上亦稱為“長浪”。

在海洋中，基於波動之分散(dispersion)特性，週期長短不一之風浪，因而具有不同之傳播速度。而長浪，因其能離開移動中之原生風域，故波動傳播速度，通常較風域之移動速度快，所以，即使天氣風和日麗，近海仍會存在長浪。此外，因其在生成期間所挾帶之能量甚大，故可傳播之距離甚遠，當其抵達近岸後，由於波能消散不易，加以水深變淺、灣澳地形窄縮、及人造結構物之影響，因此，先來後到之長浪，常會因波動本質之非線性群聚演

化及阻塞作用而擁積及推疊，以致波高大幅放大，甚至在岸邊引發突如其來的巨浪，或衍生瘋狗浪(梁, 2008；梁 等, 2010；莊、曾, 2014；氣象局, 2014)，進而對民眾之生命財產造成危害。

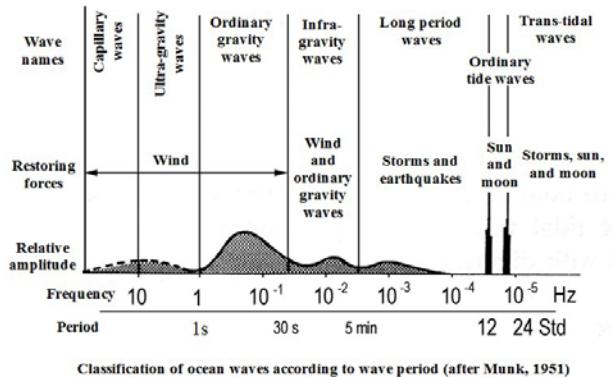


圖1 以週期差異為基準之波動分類

颱風，為臺灣首要的「災變天氣」。在西北太平洋及南海海域，每年夏、秋季節(6~11月)，平均有高達26.32個颱風會形成，其中，約有3至4個會侵襲臺灣(氣象局, 2014)。在海、陸、空各領域，由於其伴隨之強風巨浪，通常會造各類型重大天然災害，故國內現行較完善且最常施行的防減災策略與作為，大多係以發布警報之颱風為對象。對於未發布警報之颱風及因其而引發長浪之危害，卻常因無具體預警措施與作為而屢屢被輕忽。鑑此，本文將從國內五個國際港之既有波浪觀測談起，再以颱風與長浪之密切關聯性為基礎，藉今年5月僅發布海

上颱風警報之紅霞(NOUL)颱風與無警報之白海豚(DOLPHIN)颱風之波浪逐時觀測紀錄，據以探討長浪之演化特性，並提供簡易之辨識準則。

二、波浪的監測

為科學研究與工程應用之需要，我國內政部國土測繪中心、經濟部水利署、交通部中央氣象局、觀光局及運輸研究所港灣技術研究中心等政府機構，以及海軍氣象中心、國立臺灣大學海洋研究所、國研院台灣海洋科技研究中心、臺南水工試驗所等學術研究單位，在臺灣環島近海均建置有風、浪、流、潮等海氣象監測站，並經管監測紀錄與資訊分析。其中，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，早自民國七十五年開始，即著手進行臺灣五個國際港區附近海域長期性海氣象資料之蒐集、觀測、整理及分析歸納，近三十來並已獲致頗豐碩之研究調查成果(曾 等，2015)。

國內五個國際港既有波浪資料之蒐集，其起始時間分別為：臺中港自1971、基隆港自1983、蘇澳港自1984、花蓮港亦自1984、高雄港自2000。而為建置各港之海氣象(風、浪、潮、流)即時監測與傳輸顯示系統，高雄港自2000年12月起、基隆港自2001年6月起、花蓮港自2001年8月起、蘇澳港自2002年7月起、臺中港自2003年6月起，分別即廣泛使用挪威NORTEK公司出品之超音波式波向波高與剖面海流儀器(AWCP)，如圖2所示，進行長時間連續之海面波浪及海流監測(曾 等，2015)。目前，波浪監測係以1 Hz之取樣率，逐序從每小時第十分鐘開始，逐時施測2048筆紀錄。

AWCP之主要優點包括：設置水深範圍較大(約10m至60m)、可以取得即時波浪資料、並可依需要調整記錄時間及取樣頻率；但缺點則有設置費用昂貴、安裝需費時費力舖設電纜線、故障維修不易、在惡劣海象下，測取波浪極端值容易造成誤差。所量測之波浪紀錄，經儀器自身之分析及後處理功能，可直接測得示性波高(H_s)、最大波高(H_{max})、1/3最大波高($H_{1/3}$)、1/10最大波高($H_{1/10}$)、主波向、次波向、以及尖峰週期(T_p)、二階譜週期(T_{m02})、平均週期(\bar{T})等波浪代表特性。

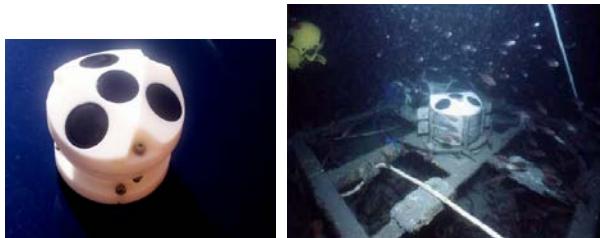


圖2 國內自2000年以後廣泛應用於近海波浪監測之超音波式波向波高與剖面海流儀AWCP(左)及其在水下量測佈置(右)示意圖

今(2015)年5月4日及5月9日，在太平洋海域分別有編號第06號之中度颱風「紅霞」及編號第07號之輕度颱風「白海豚」相繼形成，並均大約以每小時10至20公里之行進速度由東而西移動，相關移動路徑潛勢預報圖及衛星雲圖，分別如圖3與圖4所示。由圖觀察可見，紅霞颱風在5月9~10日接近菲律賓陸地前，強度曾由中度轉為強烈，且基於其對臺灣海域之威脅性，中央氣象局曾對其發布海上颱風警報；而白海豚颱風在向臺灣海域接近期間，於5月16~18日，強度亦曾由中度轉為強烈，但因其對臺灣海域不具威脅性，故中央氣象局未曾對其發布颱風警報。



圖3 今(2015)年5月4日在太平洋海域所形成編號第06號之中度颱風「紅霞」之移動路徑圖及05/10 13:30之衛星雲圖(取自中央氣象局網站)



圖4 今(2015)年5月9日在太平洋海域所形成編號第07號之輕度颱風「白海豚」之移動路徑圖及5/17 20:00之衛星雲圖(取自中央氣象局網站)

在國內五個國際港近海，應用AWCP對波浪進行監測，因而可得「紅霞」颱風及「白海豚」颱風影響期間之逐時波浪紀錄，分別如圖5與圖6所示。

在不同颱風之影響下，就波高之大小而言，由圖5與圖6觀察可見，臺灣東部近海波浪之監測波高，由於未受臺灣本島陸地岬頭地形遮蔽之影響，

一般皆會大於西部近海。另外，在東部近海，逐時波高之變化趨勢，約略近似相同，但很特別的是，蘇澳港之波高，通常會比花蓮港大。

再就週期之逐時變化趨勢而論，臺灣東部近海之波浪，亦皆比西部近海具有較長之週期。而且在東部近海之蘇澳港與花蓮港，彼此之波浪週期，與波高相似，甚特殊地亦約略具有甚相近似之逐時變化特性，特別是在波浪週期由短而長之突變發生時間。

綜合圖5與圖6，從國內五個國際港近海觀測波浪之逐時變化特性比較可知，針對相同之颱風影響，只要其行進路徑係由太平洋海域接近臺灣東部海域，則波浪週期與波高之逐時變化特性，將可以蘇澳港或花蓮港作為代表與指標。兩者相較，蘇澳港更優於花蓮港。因此，對於臺灣環島海域相關長浪之辨識與討論課題，建議均可以蘇澳港之逐時觀測波浪特性作為代表。

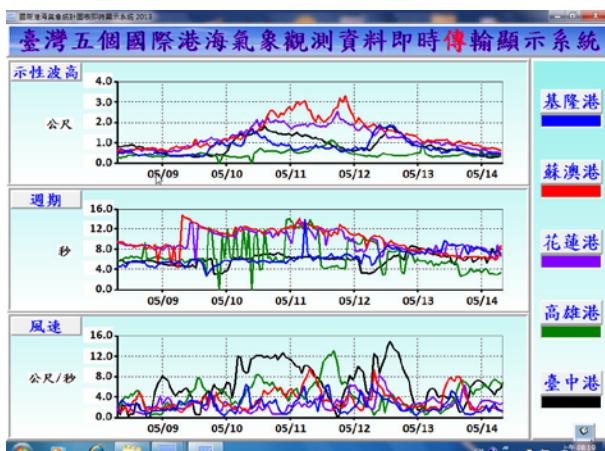


圖5 紅霞颱風影響期間(05/09~05/14)在國內五個國際港近海所監測之逐時波浪紀錄 (上：示性波高 H_s ；中：尖峰週期 T_p ；下：風速)

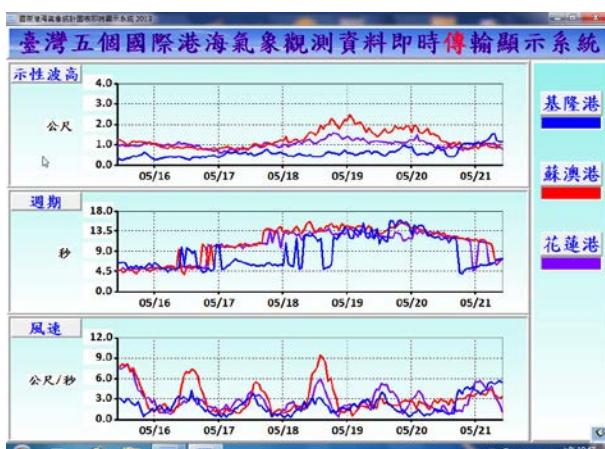


圖6 白海豚颱風影響期間(05/16~05/21)在國內三個國際港近海所監測之逐時波浪紀錄 (上：示性波高 H_s ；中：尖峰週期 T_p ；下：風速)

三、長浪的傳播速度

因風而起之風浪，參見圖1，其主要週期大多小於30秒，再參照圖5及圖6可見，若長浪之尖峰週期(T_p)平均以12秒代表，則在太平洋中，長浪將判屬深水波，且其波動傳播速度將可以群波速度(C_g)估算如下：

$$C_g = \frac{1.56}{2} T_p \quad (1)$$

$$= 0.78 * 12 \text{ m/s}$$

$$= 9.36 \text{ m/s}$$

$$= 33.7 \text{ km/hr}$$

$$= 809 \text{ km/day}$$

掌握波動傳播速度，依據颱風行進路徑與距岸距離，進而即可估計波浪自形成後，其前導波群可對特定近海波浪測站產生影響衝擊之到達時間。

以今(2015)年5月4日及5月9日在太平洋海域相繼形成之中度颱風「紅霞」及輕度颱風「白海豚」為例，若以長浪每日約傳播809公里之速度為基礎，則先從圖3可見，紅霞颱風在5月4日初生成時，距離蘇澳港波浪測站之距離約2400 km，因此，伴隨颱風衍生之長浪，估計應於3日後，亦即於5月7日，其前導波群即會傳播至臺灣東部近海；而至5月12日，颱風自臺灣東部近海開始北轉離開後，距離蘇澳港之最近距離僅約200 km，故可預期，伴隨颱風所衍生長浪之影響，應可自5月12日當日起即開始減弱消退。

至於白海豚颱風，從圖4可見，其在5月9日初生成時，距離蘇澳港波浪測站之距離約4600 km，因此，當時伴隨颱風衍生之長浪，預期可於約6日後，亦即5月15日，其前導波群將會傳播至臺灣東部海岸；而至5月18日，颱風自臺灣東部外海開始北轉離開時，距離蘇澳港之最近距離約2000 km，故可預期，伴隨颱風所衍生長浪之影響，應可自5月21日起減弱消退。

綜合而論，在蘇澳港，欲篩選近海實測波浪紀錄，據以檢視或辨識颱風所衍生長浪的演化特性，從以上應用群波速度所估計之起始影響與減弱消退期間，針對「紅霞」颱風，應為2015年5月7日至5月12日，共約6天；而針對「白海豚」颱風，則其應為2015年5月16日至5月21日，亦共約6天。

四、近岸長浪之演化歷程

波高與週期，兩者共同是描述波浪特性之重要參數，故而欲清蹕陳現及檢視近岸長浪之演化歷程，應將兩者綜合聯結。

另外，如前所述，在太平洋海域，自颱風形成後，其所衍生長浪之逐時變化或演化特性，可應用蘇澳港海象測站之監測波浪作為指標，至於其對蘇澳港近海之起始影響與減弱消退期間，則可依據長

浪之傳播速度(~809 km/day)進行估算。因此，在2015年5月7日至5月12日共約6天之「紅霞」颱風影響期間；及在2015年5月16日至5月21日亦共約6天之「白海豚」颱風影響期間，整理蘇澳港近海波浪逐時監測之示性波高(H_s)、尖峰週期(T_p)及近海十分鐘平均風速等分析結果，分別可得如圖7與圖8所示。

在圖7與圖8中，首先，觀察近海逐時風速之變化特性可見，蘇澳港近海風速之強弱，明確具有日週期之變動性，每日較小風速，約在2 m/s以下；較大風速，則約介在6~10 m/s間，並且約發生於每日正午(12時)之前後約2小時。因此，可判定該風力，並非源自於遠域之颱風，而明確係因當地海—陸溫差效應所衍生之「海陸風」。海陸風速越強，代表天氣愈晴朗。也因此，從「海陸風」之明顯性，進而可判定，在「紅霞」及「白海豚」颱風影響期間，蘇澳港僅管風和，但卻日不麗，天氣很明顯是非常晴朗而炎熱地。

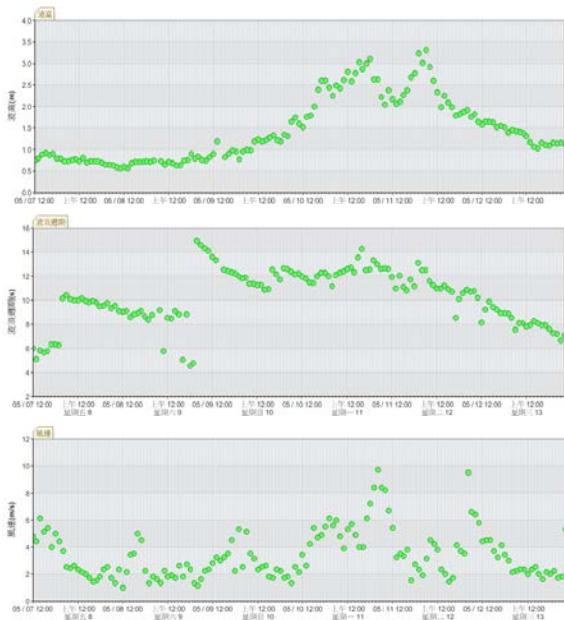


圖7 蘇澳港近海在紅霞颱風長浪起始影響至減弱消退期間(05/07 ~ 05/13)之示性波高 H_s (上)、尖峰週期 T_p (中)及平均風速(下)逐時演化歷程

其次，針對近岸長浪之演化歷程(莊、曾，2014)，在2015年5月7日至5月12日共約6天之「紅霞」颱風影響期間，由圖7之波高與週期之逐時變化觀察可見，當紅霞颱風之前導長浪波群，於5月7日中午前初抵蘇澳港近海時，波高甚小，不及1.0公尺，而週期多在6秒上下，波浪係屬於日常天氣下之經常性風浪，總體海象，尚算風平浪靜；及至5月7日晚上約8時，僅管波高仍偏小，但週期已自6秒突然增長至約10秒，可見，長浪波群已陸續抵達；再至

5月9日早上約8時許，雖然波高仍保持在1.0公尺以下，但波浪週期再次從10秒大幅躍升，最大至約15秒左右，這顯示海域之波動特性，明確已由風浪轉變為長浪；而後，由於長浪波能之不易消散性，外加先來後到長浪波群之陸續堆疊擁積，故長浪之波高，自此時期開始，即將緩緩成長而增高，並約於5月10日星期日(母親節)早上約8時許，波高超過1.5公尺；及至5月10日晚上6時至5月11日早上6時間，長浪演化臻於成熟，波高超過2.5公尺；接著，在5月11日晚上約8時前，演化成熟之波高，最大可達約3.5公尺，但接續由於颱風行進速度及強度之轉變，促使發展已臻成熟之長浪，波高會在2.5公尺上下陳現振盪；最後，隨著颱風自臺灣東部近海開始北轉離開，促使保持在成熟飽滿狀態之長浪，陸續會因堆疊擁積效應減弱而衰退，最高約達3.5公尺之波高，因而會逐漸降低，週期亦會從12秒以上逐漸減縮；及至5月12日下午約2時，波高已快速降低至小於1.5公尺、週期小於10秒；而至5月13日中午約12時許，波高已回降至約1.0公尺、週期趨近於6秒，這意謂颱風衍生之長浪已完全消散，近海波浪再次又回復為日常天氣下之風浪。於圖7中，特別值得一提的是，海陸風速之日週期性強弱變動，並不會使風浪之波高與週期，陳現對應之日週期性增減。

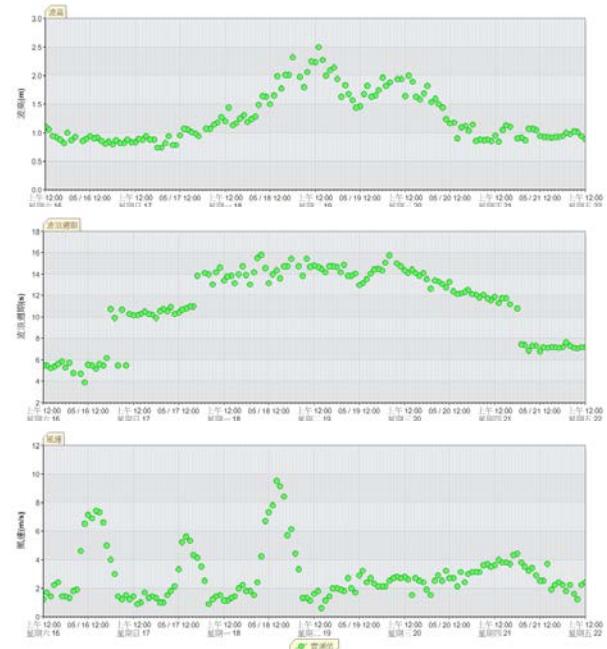


圖8 蘇澳港近海在白海豚颱風長浪起始影響至減弱消退期間(05/16 ~ 05/22)之示性波高 H_s (上)、尖峰週期 T_p (中)及平均風速(下)逐時演化歷程

再於2015年5月16日至5月22日亦共約6天之「白海豚」颱風影響期間，由圖8之波高與週期觀察可見，當白海豚颱風之前導長浪波群，於5月16

日中午前初抵蘇澳港近海時，波高甚小，亦不及1.0公尺，而週期亦多在6秒上下，波浪係屬於日常天氣下之高頻風浪，總體海象，亦可稱風平浪靜，具有日週期性強弱變動之海陸風速，亦不會對風浪之波高與週期，陳現對應之日週期性增減；及至5月16日晚上約6時，僅管波高仍偏小，但週期已自6秒突然增長至約10秒，可見，長浪波群已陸續抵達；再至5月17日下午約5時許，與紅霞颱風長浪相似，雖然波高仍保持在1.0公尺以下，但波浪週期之變化，再次從10秒大幅躍升至14秒以上，且最長週期約可達16秒左右，這顯示海域之波動特性，明確已由風浪轉變為長浪；而後，由於長浪波能之不易消散性，再外加先來後到長浪波群之陸續堆疊擁積，故長浪之波高，自此時期開始，即將緩緩成長而增高，並約於5月18日早上約9時許，波高超過1.5公尺；及至5月18日下午2時至5月19日清晨，長浪演化臻於成熟，波高均超過2.0公尺，且最大可達約2.5公尺；接著，在5月20日清晨以前，演化成熟之波高，再次由於颱風行進速度及強度之轉變，促使發展已臻成熟之長浪，波高會在2.0公尺上下陳現振盪；最後，隨著颱風自臺灣東部外海開始北轉離開，促使原來保持在成熟飽滿狀態之長浪，陸續會因堆疊擁積效應減弱而衰退，波高因而逐漸降低，週期亦會從12秒以上逐漸減縮；及至5月20日中午約12時，僅管週期仍維持在12秒左右，但波高已快速降低至小於1.5公尺；而至5月21日早上約7時許，波高已回降至約1.0公尺、週期趨近於8秒，這再次顯示出颱風衍生之長浪已完全消散，近海波浪又回復為日常天氣下之風浪。於圖8中，特別值得一提的是，颱風長浪之演化，通常與當地之天氣及風力或「海陸風」無關。。

五、長浪的辨識

颱風在初形成時皆屬輕度颱風等級，因此，其近中心附近10分鐘平均之最大風速，應達17.2~32.6 m/s，或蒲福風級8~11級(氣象局，2014)。在此種遠域強風持續作用下，於廣闊海面所衍生之波浪，尖峰週期(T_p)通常會大於10秒(Semedo et al., 2011)。至於尖峰週期，學理上係指波浪頻譜中，具有最大波能之頻率(f_p)所對應之週期。所以，在太平洋海域，無論形成颱風之遠近、強弱或有無發佈颱風警報，只要颱風係由東而西向臺灣東部海域行進或過境，則在蘇澳港近海所監測之波浪，檢視其尖峰週期是否大於10秒，即可作為辨識長浪之簡易基準。

以國內五個國際港近海波浪之逐時監測分析結果(參見圖5及圖6)及蘇澳港之長浪演化歷程(參見圖7與圖8)為基礎，配合上列所述長浪之簡易辨識基準，再結合長浪示性波高(H_s)之逐時變化，進而可將長浪之辨識，更清楚地區分為(1)啟始到達；(2)

群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)成熟飽滿；及(5)減衰消退等五個重要歷程階段。

以圖7所示紅霞颱風在蘇澳港近海所觀測之長浪演化歷程為例，依波動傳播速度估計，長浪應於5月7日啟始到達蘇澳港近海，且在此時期(約於5月7日20時)，觀測波浪之尖峰週期(T_p)，會從一般週期約6秒之風浪，開始轉變為超越10秒之長浪，但因當時近海之長浪，僅處於前導波群到達階段，故其波高(H_s)，依舊甚小，普遍不及1.0公尺，故而仍以週期約6秒之風浪作為主要之示性指標；及至5月9日8時前，隨著颱風之接近，長浪開始群聚成長，且所具有之波能，已逐漸超越風浪，故尖峰週期得以持續維持於10秒左右之準長浪；而後，長浪進入堆疊擁積階段，尖峰週期會作第二階段之躍昇，並隨著颱風強度之逐漸變化，長浪之示性波高，隨即逐漸增大，並於5月10日8時，超越1.5公尺，而於5月10日中午，在綠島海域即傳出7名浮潛客，因為颱風長浪轉大，7人體力不支無法游回岸邊，最後靠浮潛教練和海巡署人員合力搶救，才順利上岸；自此時間之後約10小時，即約於5月11日6時，由於先來後到長浪之持續堆疊與擁積，終致使長浪成熟飽滿，示性波高，因而可達3.0公尺以上；再持續約24小時，即在5月12日以後，由於颱風強度減弱及中心位置北轉偏移，故長浪開始進入減衰消退階段，並在5月12日14時以後，波高已降低至1.5公尺，週期亦逐漸往10秒趨近，直至5月13日12時以後，近海波浪又回復為週期約6秒之經常性風浪。

同樣地，再以圖8所示白海豚颱風在蘇澳港近海所觀測之長浪演化歷程為例，依波動傳播速度估計，長浪應於5月16日啟始到達蘇澳港近海，且在此時期(約於5月16日18時)，觀測波浪之尖峰週期(T_p)，會從一般週期約6秒之風浪，開始轉變為超越10秒之長浪，但因當時近海之長浪，僅處於前導波群到達階段，故其波高(H_s)，依舊甚小，普遍不及1.0公尺，故而仍以週期約6秒之風浪作為主要之示性指標；及至5月17日17時前，隨著颱風之接近，長浪開始群聚成長，且所具有之波能，已逐漸超越風浪，故尖峰週期得以持續維持於10秒左右之準長浪；而後，長浪進入堆疊擁積階段，尖峰週期會作第二階段之躍昇，並隨著颱風強度之逐漸變化，長浪之示性波高，隨即逐漸增大，並於5月18日9時，超越1.5公尺；自此時間之後約10小時，即約於5月19日0時，由於先來後到長浪之持續堆疊與擁積，終致使長浪成熟飽滿，示性波高，約可達2.5公尺；再持續約24小時，即在5月20日以後，由於颱風強度減弱及中心位置北轉偏移，故長浪開始進入減衰消退階段，並在5月20日12時以後，波高已降低至小於1.5公尺，週期亦逐漸往10秒趨近，直至5月21日7時以後，近海波浪又回復為波高小於1.0公尺，週期約6秒之經常性風浪。

為了工程設計與防災應用，通常採用之最大波高，依合田(1990)之建議，其約可達示性波高之1.6~2.0倍。至於，異常大波浪(freak waves)，則一般係以波高大於示性波高之2.0倍(Sand et al., 1990)作界定。因此，颱風長浪之示性波高，若如紅霞颱風可演化至3.5公尺，則最大波高將可能高達5.6~7.0公尺。也因此，在長浪達成成熟飽滿前之堆疊擁積階段，對親海民眾之生命安全與近海人民之財產保全，均將極具威脅性。故而在長浪辨識上，除了尖峰週期應大於10秒之基準外，示性波高達成成熟飽滿階段前後之判識，亦甚重要。而其間，最重要的當然是掌握長浪演化是否已發展至(3)堆疊擁積階段，以及確認是否進入(5)減衰消退歷程。

在紅霞颱風及白海豚颱風期間，依據圖7與圖8所示蘇澳港之長浪(尖峰週期大於10秒)演化歷程，再綜合以往相關之研究經驗(莊、曾，2014)，有關其堆疊擁積階段之辨識，可以長浪之示性波高是否由小逐漸成長至大於1.5公尺為基準；而有關減衰消退階段之辨識，則可以示性波高是否由大逐漸減小至低於1.5公尺為基準。至於，處在成熟飽滿階段之長浪，其示性波高通常會高達1.5公尺以上。

六、結論

波浪之尖峰週期(T_p)，係指波浪頻譜中，具有最大波能之頻率(f_p)所對應之週期；而其示性波高(H_s)又與1/3最大波高($H_{1/3}$)相近似，故兩者綜合適可應用以判識長浪之顯著性。

近15年期間，交通部運輸研究所港灣技術研究中心在基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、臺中港等國內五大商港近海所建置之海象監測站，由於皆應用AWCP進行波浪即時監測，顯示系統又逐時地以示性波高及尖峰週期陳示波浪特性，因此，在太平洋海域，當有颱風形成時，對臺灣近海而言，不論其是否為發佈警報之颱風，所衍生之長浪，均可透過國內五大商港近海監測波浪之尖峰週期及示性波高，清楚地陳現其逐時演化歷程。又對於由東而西自太平洋向臺灣東部海域行進或過境之颱風，在蘇澳港或花蓮港近海所監測長浪之演化歷程，特別具有指標性，故可作為長浪判釋之依據。特別值得一提的是，基於兩港各自地理位置與海域地形水深之差異，蘇澳港對長浪判釋之指標性，實際上優於花蓮港。

關於颱風長浪之辨識，甚簡易地可以尖峰週期大於10秒作為基準。至於其在近海之演化，依據蘇澳港之觀測，一般可將其區分為(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)成熟飽滿；及(5)減衰消退等五個重要歷程階段。其中，啟始到達階段之辨識，可應用尖峰週期約10秒之深水群波傳播速度($\sim 809 \text{ km/day}$)估算；堆疊擁積階段之辨識，可以長

浪之示性波高是否由小逐漸成長至大於1.5公尺為基準；而有關減衰消退階段之辨識，則可以示性波高是否由大逐漸減小至低於1.5公尺為基準。

參考文獻

1. 合田良實, 1990: 港灣構造物の耐波設計, 鹿島出版社。
2. 梁乃匡, 2008: “颱風湧浪與怪浪的預報”，第10屆水下技術研討會暨國科會成果發表會論文集。
3. 梁乃匡、林俊傑、曾相茂, 2010: “颱風湧浪預報經驗法的探討”，海洋工程學刊, 10卷, 2期, 87-120.
4. 曾相茂、何良勝、曾俊傑, 2015: 103年臺灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(2/4), MOTC-IOT-103-H2DA001a 基本研究報告，交通部運輸研究所，共373頁。
5. 氣象局, 2014a: 氣象百科 海象問答 波浪，中央氣象局編印。<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/marine/wave001.htm>
6. 氣象局, 2014b: 氣象百科 颱風百問，中央氣象局編印。<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/typhoon.pdf>
7. 莊文傑、曾相茂, 2014: “淺談瘋狗浪之預警”，第36屆海洋工程研討會論文集，第95-100頁。
8. Horikawa, K., 1978: Coastal Engineering An Introduction to Ocean Engineering, Chapter 2, University of Tokyo, Japan.
9. Sand, S.E., Hansen, N.E.O., Klinting, P., Gudmestad, O.T. and M.J. Sterndor, 1990: Freak wave kinematics, in: Water Wave Kinematics, NATO ASI Series E, 178, Kluwer Academic, 535-550.
10. Semedo, A., Sušelj, K., Rutgersson, A. and A. Sterl, 2011: A Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40. *J. Climate*, 24, 1461-1479.