

# 臺灣東部近海颱風與東北季風波浪之時頻演化特性

莊文傑<sup>1</sup> 曾相茂<sup>1</sup>

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心/研究員<sup>1</sup>

## 摘要

颱風與季風波浪，雖同屬於風浪，惟因衍生之風場特性不同，以致波浪的逐時演化特性互有差異，其中，除了示性波高大小之差別外，尖峰週期(頻率)的變化，最值得關注。而為探討風浪尖峰週期之特殊逐時演化特性，本研究依據先前研究之觀察，首先檢選具有代表臺灣東部近海風浪特性之蘇澳港，再針對2015年8至10月之颱風與季風影響期間，蒐集整理AWAC聲波計之原始1Hz逐時波浪監測紀錄，進行時頻分析，最後，透過分析結果之對照比較發現，颱風與季風波浪，其示性波高與尖峰頻率之逐時演化歷程或時變型態，彼此確實存在差異性，其中，最具體的差異是：颱風波浪，因明顯受颱風強度變化及其趨近與遠離所影響，故其波高與週期之變化，皆會與颱風衍生之長浪(尖峰頻率3~6cpm)興衰相關，以致頻率會由高(尖峰頻率6~10cpm)轉低，並在6cpm處具突降性，特別是在長浪堆疊擁積之極盛期間，尚會伴生有頻率介在0.2~2cpm之亞重力波；而季風波浪，純粹屬於一般風浪，主要頻率概約皆分佈於6~10cpm之高頻區間，且波高只會隨風速強弱而快速均勻增減，強風速所衍生之長浪，總體上甚微弱，且幾乎無亞重力波之伴生。

關鍵字：季風、颱風、長浪、風浪、亞重力波

## 一、前言

臺灣位處亞洲大陸東緣，且面對西太平洋，在每年之冬季，不僅有強勁盛行東北季風之作用；在夏季，更經常必須面對颱風之影響。風浪(wind waves)，係通指由移動風暴、颱風、或強盛季風等風力作用所衍生之波動。風浪之大小或所挾帶能量之高低，主要取決於風域之範圍、風速之強弱、及風力之持續吹襲時間，主要週期大多小於30秒(Munk, 1951)。而當風浪離開原生風域或失去風力之影響，則通稱為湧浪(swells)或“長浪”，且常與“瘋狗浪”產生關聯(莊、曾，2014；莊等，2016)。

透過系列之研究觀察，莊、曾(2015、2016、2017)曾指出：基於區域風場與地形水深之同質影響性，在蘇澳港與花蓮港近海，無論是颱風或季風波浪，監測所得之示性波高(Hs)與尖峰週期(Tp)，不僅波高大小或週期長短相當，其逐時演化歷程更相近似，如圖1與圖2所示，因此，臺灣東部近海的波浪特性可用二港之一作代表。此外，值得特別注意的是，一般風浪，尖峰週期普遍低於12秒，且示性波高大多小於1.5公尺；但在有颱風侵襲或有颱風長浪影響期間，風浪之尖峰週期，均會陳現具有由低突昇至高於12秒之變動現象，示性波高亦可能自超越1.5公尺開始逐漸成長，較大可達10公尺以上；而在東北季風作用期間，當風速強度超過10

級，即使風浪之示性波高可成長至大於3公尺，但其尖峰週期，普遍仍均低於12秒，且不會陳現類如颱風波浪尖峰週期所特殊具有之突昇變動現象。

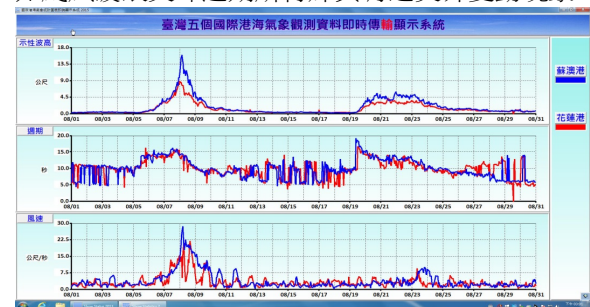


圖1 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在2015年8月夏季颱風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之對照比較

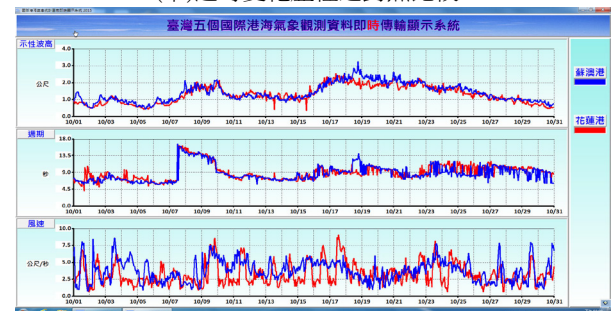


圖2 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在2015年10月上旬颱風與中旬後季風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之對照比較

為進一步探究風浪尖峰週期所陳現之特殊逐時演化特性，本研究檢選蘇澳港外近海之風浪特性代表臺灣東部海域(莊、曾，2017)，再針對2015年8至10月之颱風與季風影響期間，蒐集整理AWAC聲波計之原始1Hz逐時波浪監測紀錄，進行時頻分析，最後，透過分析結果之對照比較，據以陳示說明颱風與季風波浪，其波高與頻率逐時演化歷程或時變型態之具體差異性。

## 二、風浪監測紀錄之檢選與整理

為科學研究與工程應用之需要，自2000年後，交通部運輸研究所港灣技術研究中心針對國內五大商港海域，即已積極構建風、浪、潮、流等海氣象即時監測與傳輸顯示系統(曾等，2015)，並採用挪威NORTEK公司出品之AWAC-600 kHz方向性潮流儀(Acoustic Wave And Current Profiler)進行海流與波浪之聲波(AST)與壓力監測。每筆紀錄自每小時整點後第10分鐘開始，測量長度為2048秒，取樣頻率1Hz。於2015年8至10月之颱風與季風影響期間，匯總整理蘇澳港外在水深約26米處佈設AWAC監測波浪之原始逐時1Hz紀錄，可得如圖3所示。

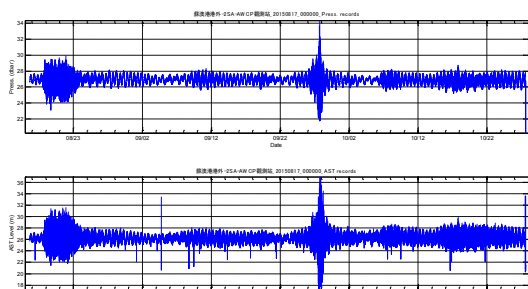


圖3 於2015年8月17日至10月28日颱風與季風影響期間在蘇澳港外佈設AWAC監測波浪所得之壓力(上)與聲波(下)原始逐時1Hz紀錄

圖3中，由於原壓力(Press.)紀錄係以dBar為單位，因此，在應用上常需先透過傅立葉轉換(Fourier transform)計算壓力波譜，再使用波動轉換函數(transfer function)及逆傅立葉轉換，藉以獲得水位時序資料，然後才可與聲波紀錄作相互對照比較。部分紀錄之轉換與校驗過程，如圖4與圖5所示。

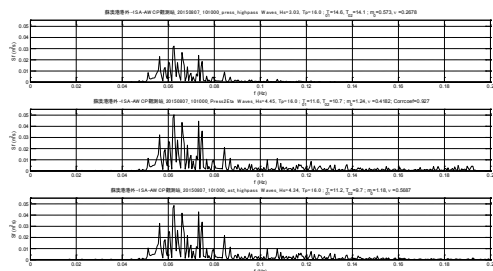


圖4 蘇澳港外2015年8月7日10時以AWAC原始壓力紀錄作傅立葉轉換之壓力波譜(上)及其經波動轉換函數後之轉換水位波譜(中)與原始聲波水位波譜(下)之對照比較

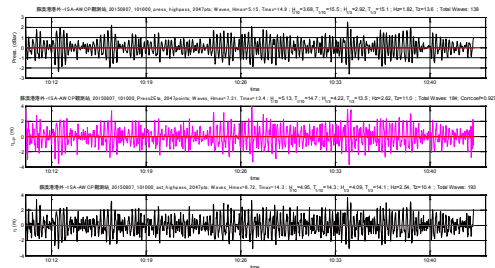


圖5 蘇澳港外2015年8月7日10時以AWAC監測波浪之原始1Hz壓力紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位紀錄(下)之對照比較(相關係數達0.927)

以AWAC監測波浪，基於原始壓力經轉換後之水位時序紀錄與原始聲波水位紀錄具相似性，又基於壓力紀錄對長波監測的先天優越性與監測訊號之穩定性，因此，本文以下關於風浪之各項分析，皆以轉換壓力紀錄後之水位時序訊號為依據。

## 三、颱風波浪之演化特性

於2015年8至10月期間，蘇迪勒(SOUDELOR)颱風是當期對臺灣影響最大的颱風，中央氣象局曾對其發布海陸上颱風警報。其自7月30日在關島東方海面形成後，即穩定向西北西移動，強度逐漸增強，8月1日距離臺灣約3,200公里，颱風全程強度發展與移動路徑變化，如圖6所示。以群波傳播速度概約是800km/day計算，估計颱風長浪大約會於8月5日初始傳達臺灣東部近海。自港研中心之港灣環境資訊網截取對應期間之逐時波浪監測資訊，可得示性波高與尖峰週期之逐時變動歷程，如圖7所示。

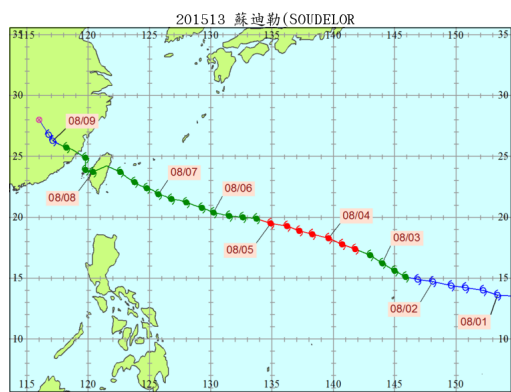


圖6 於2015年8月8日在臺灣各地帶來強風豪雨巨浪之蘇迪勒颱風全程發展與移動歷程(資料來源：中央氣象局)

觀察圖7可見，蘇迪勒颱風波浪，在8月5日0時估計長浪初始傳達臺灣東部近海之前，波浪特性屬於一般之風浪，示性波高小於1公尺，尖峰週期在10秒左右，但不及12秒；而至5日12時，長浪抵達並群聚成長後，尖峰週期即明顯超越12秒且突昇至14秒；接著，因長浪之持續堆疊擁積，以致在6日

10時，示性波高超越1.5公尺，尖峰週期持續保持在14秒左右；直到8日3時颱風登陸前後，風浪發達成熟，示性波高最大達16公尺；此後，風浪即減衰消退，並於10日12時後回歸為平時之一般風浪。

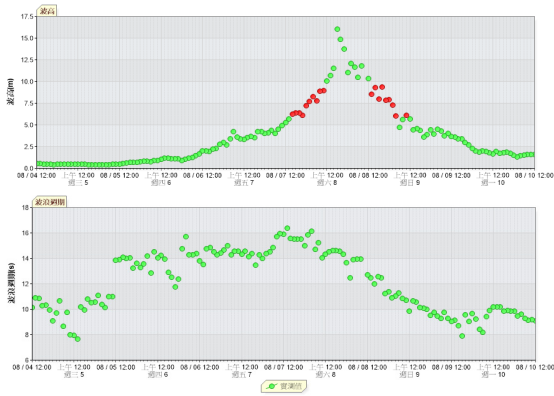


圖7 於2015年8月蘇迪勒颱風侵襲期間在蘇澳港近海監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下)之逐時變動歷程

配合上述2015年8月5至10日蘇迪勒颱風之侵襲期間，截取蘇澳港外佈設AWAC監測波浪所得經轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號，再應用中央移動平均法，取1,200秒窗寬，移除潮汐水位後，進一步應用Enhanced Morlet Transform (AnCAD, 2014)，因而可得颱風波動全程演化時頻分析圖，如圖8所示。特定時間相關之波譜，則如圖9所示。

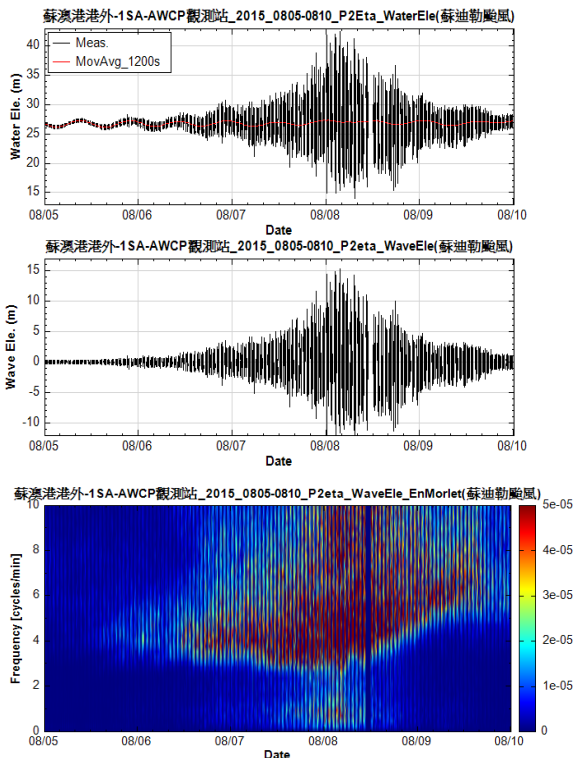


圖8 於2015年8月5至10日蘇迪勒颱風侵襲期間在蘇澳港近海監測波浪所得轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號(上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中)與其應用Enhanced Morlet Transform後之時頻分析圖(下)

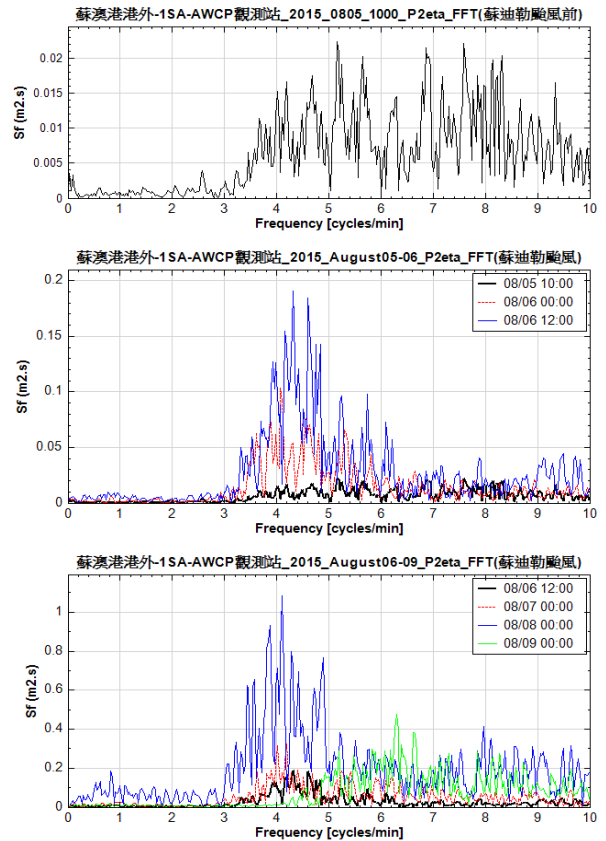


圖9 蘇澳港近海蘇迪勒颱風長浪在初始到達與群聚成長期(上)；堆疊擁積期(中)；及發達成熟與減衰消退期(下)之逐時波譜變化

颱風波浪的全程演化，通常可區分為(1)啟始到達、(2)群聚成長、(3)堆疊擁積、(4)發達成熟、(5)減衰消退等五個重要歷程階段(莊、曾，2015；2016)。以其為基礎，綜合觀察圖8與圖9可見，蘇迪勒颱風波浪，自8月5日0時估計長浪初始到達臺灣東部近海開始，風浪波動能量(波高)小，頻率主要分佈於3~10cpm間，這意謂在颱風長浪影響初期，頻率介在3~6cpm的長浪波高，普遍尚未比既存於近岸且頻率介在6~10cpm的一般風浪優越；隨後，受颱風行進強度變化及其趨近造成長浪群聚成長與堆疊擁積之影響，以致頻率介在3~6cpm的長浪波動能量，不僅會漸次由小變大，外加長浪不易消散，頻率更會由高轉低，並在8月5日12時後，頻率遂於6cpm處陳現突降至5cpm以下之週期突異性，最特別是，在8月7日12時後，在長浪堆疊擁積之極盛期與發達成熟期中，尚會伴生有頻率介在0.2~2cpm之亞重力波。後續，隨颱風之遠離，致使長浪進入減衰消退期，長浪波高因而快速減小，主要頻率隨之也回復為介在6~10cpm的一般風浪。

再以2015年8至10月期間之杜鵑(DUJUAN)颱風為例，其自9月22日在菲律賓東方海面形成後，即穩定以西北轉西北西方向移動，強度逐漸增強，09月27日08:30及17:30，中央氣象局曾分別對其發



布海陸上颱風警報，並在9月28日17時40分由宜蘭南澳鄉登陸。強風及豪雨曾造成鐵公路及航空交通多班停駛，並曾造成3人死亡，農損逾新臺幣1.7億元。杜鵑颱風全程強度發展與移動路徑變化，如圖10所示。由於該颱風於9月23日由熱帶低氣壓發展為輕度颱風，當時距離臺灣約1,600公里，故若以群波傳播速度概約是800km/day計算，估計颱風長浪大約會於9月25日初始傳達臺灣東部近海。自港研中心之港灣環境資訊網截取對應期間之逐時波浪監測資訊，可得示性波高與尖峰週期之逐時變動歷程，如圖11所示。

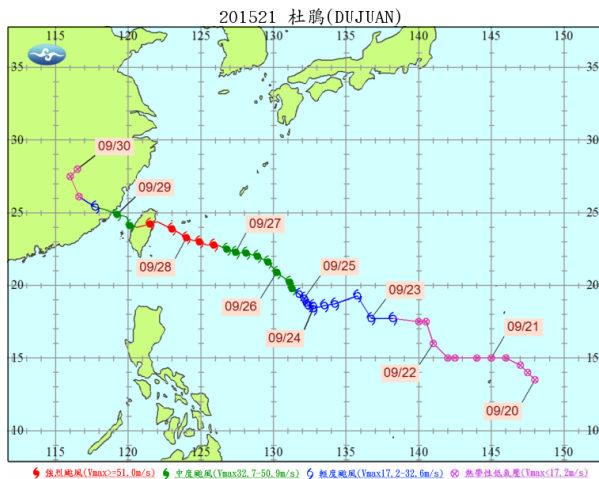


圖10 於2015年9月28日17時40分由宜蘭南澳鄉登陸之杜鵑颱風全程發展與移動歷程(資料來源：中央氣象局)

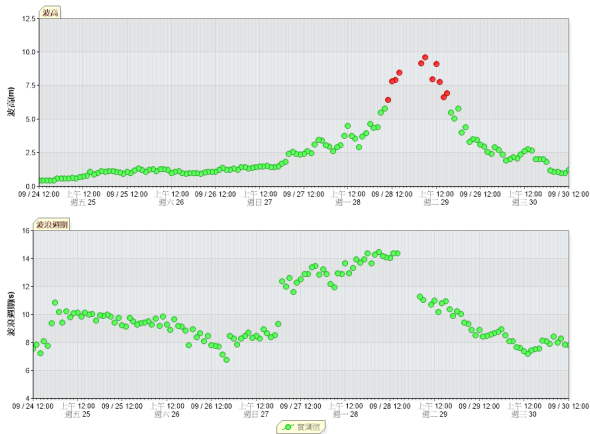


圖11 於2015年9月杜鵑颱風侵襲期間在蘇澳港近海監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下)之逐時變動歷程

觀察圖11可見，杜鵑颱風波浪，在9月25日0時估計長浪初始傳達臺灣東部近海之前，波浪特性屬於一般之風浪，示性波高小於1公尺，尖峰週期在10秒左右，但不及12秒；而至27日6時，長浪抵達並群聚成長後，尖峰週期即明顯突昇超越12秒且漸增至14秒；接著，因長浪之持續堆疊擁積，以致在27日12時，示性波高超越2.5公尺，尖峰週期持續保持在14秒左右；直到28日18時颱風登陸前後，風浪

發達成熟，示性波高最大達9.6公尺；此後，風浪即減衰消退，並於30日4時後回歸為平時之一般風浪。

配合上述2015年9月24至30日蘇澳港外佈設AWAC監測波浪所得經轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號，再應用中央移動平均法，取1,200秒窗寬，移除潮汐水位後，進一步應用Enhanced Morlet Transform (AnCAD, 2014)，因而可得颱風波動全程演化時頻分析圖，如圖12所示。

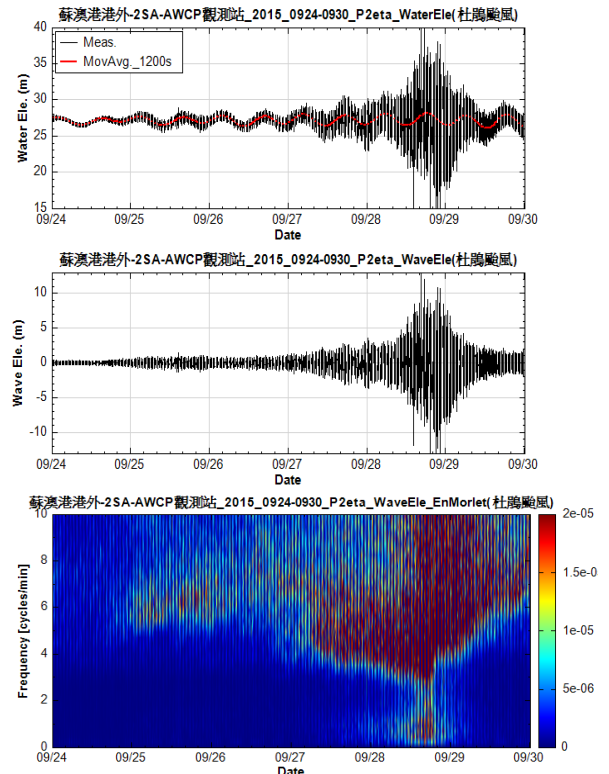


圖12 於2015年9月25至30日杜鵑颱風侵襲期間在蘇澳港近海監測波浪所得轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號(上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中)與其應用Enhanced Morlet Transform後之時頻分析圖(下)

仿照圖8，觀察圖12可見，杜鵑颱風波浪，自9月25日0時估計長浪初始到達臺灣東部近海開始，風浪之波動能量(波高)普遍偏小，頻率主要均仍分佈於3~10cpm間，這同樣說明在颱風長浪影響初期，頻率介在3~6cpm的長浪波高，普遍尚未比既存於近岸且頻率介在6~10cpm的一般風浪優越；隨後，受颱風行進強度變化及其趨近造成長浪群聚成長與堆疊擁積之影響，以致頻率介在3~6cpm的長浪波動能量，不僅會漸次由小變大，外加長浪不易消散，頻率更會由高轉低，並在9月27日6時後，頻率遂於6cpm處陳現突降至5cpm以下之週期突異性，最特別是，在9月28日12時後，在長浪堆疊擁積之極盛期與發達成熟期中，尚會伴生有頻率介在0.2~2cpm之亞重力波。後續，隨颱風之遠離，致使長浪進入減衰消退期，長浪波高因而快速減小，主

要頻率隨之也回復為介在6~10cpm的一般風浪。

因此，綜合蘇迪勒颱風與杜鵑颱風波浪的全程演化歷程可具體瞭解到，臺灣東部近海之颱風波浪，因明顯會受颱風行進強度變化及其趨近與遠離效應之影響，故波高與週期之逐時變化，明顯皆會與颱風衍生浪之興衰相關，致使主要波動之尖峰頻率集中在3~6cpm間，最特別的是在長浪堆疊擁擠之極盛期與發達成熟期，尚會伴生有頻率介在0.2~2cpm之亞重力波。

#### 四、東北季風波浪之演化特性

臺灣環島海域，受大陸冷高壓天氣系統發展之總體影響，僅管東、西部近海之地理區位不同，海岸區域地形遮蔽效應各異，但在東北季風盛行期間，臺中港北外堤頭之風速，通常比國內各處海岸強勁，一般可大於5級或8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，甚至可達10級或24.5~28.4 m/s。因此，臺中港北外堤頭之風速，可實際應用以作為東北季風強盛性之簡易判別指標(莊、曾，2016a、b)。

在2015年10月期間，自港研中心之港灣環境資訊網截取臺中港北外堤頭(台中二站)之風力監測資訊，可得10分鐘平均之逐時風速與風向變動歷程，如圖13所示。

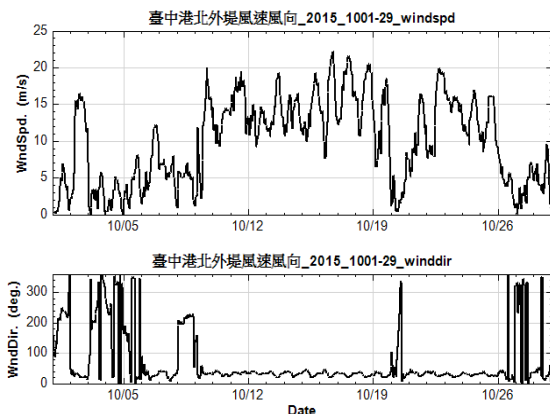


圖13 臺中港北外堤風力測站在2015年10月季風期監測之十分鐘平均風速(上)與風向(下)

由圖13觀察可確認，在臺灣東部之蘇澳港近海，在10月12日至28日期間，明顯應處於東北季風期，且較弱的平均風速，一般可大於5級或10.7 m/s，在10月16日17時，最強可達9級或22.30 m/s。因此，再自港研中心之港灣環境資訊網截取蘇澳港對應季風期間之逐時波浪監測資訊，可得示性波高與尖峰週期之逐時變動歷程，如圖14所示。觀察圖14可見，在10月12日至15日之較弱風速期間，季風波浪之示性波高普遍不及1.5公尺，尖峰週期大多在8秒上下；自16日開始之較強風期間，波高即隨風速增強而持續增大至約2.5公尺，惟其週期始終維持在10秒左右，至於，在10月18日12時前後，可見週期有由10秒突昇至13秒且波高大於3公尺之現象，

經查其係當期巨爵(KOPPU)颱風(10/13~10/21)及蕃琵(CHAMPI)颱風(10/13~10/25)長浪影響所致。

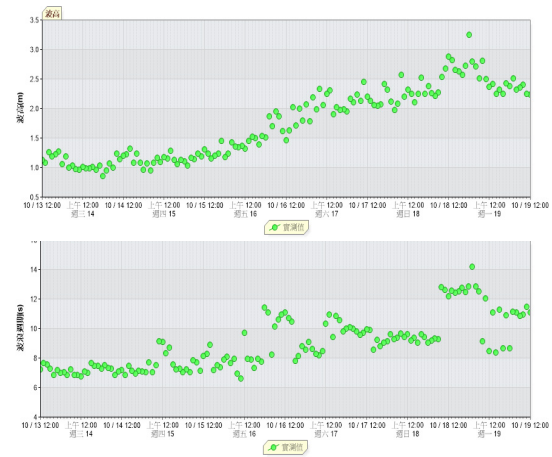


圖14 蘇澳港近海在2015年10月13日至19日東北季風期監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下)之逐時變動歷程

配合上述2015年10月12日至28日之季風期間，截取蘇澳港外佈設AWAC監測波浪所得經轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號，再應用中央移動平均法，取1,200秒窗寬，移除潮汐水位後，進一步應用 Enhanced Morlet Transform (AnCAD, 2014)，因而可得季風波動全程演化時頻分析圖，如圖15所示。特定時間相關之波譜，則如圖16所示。

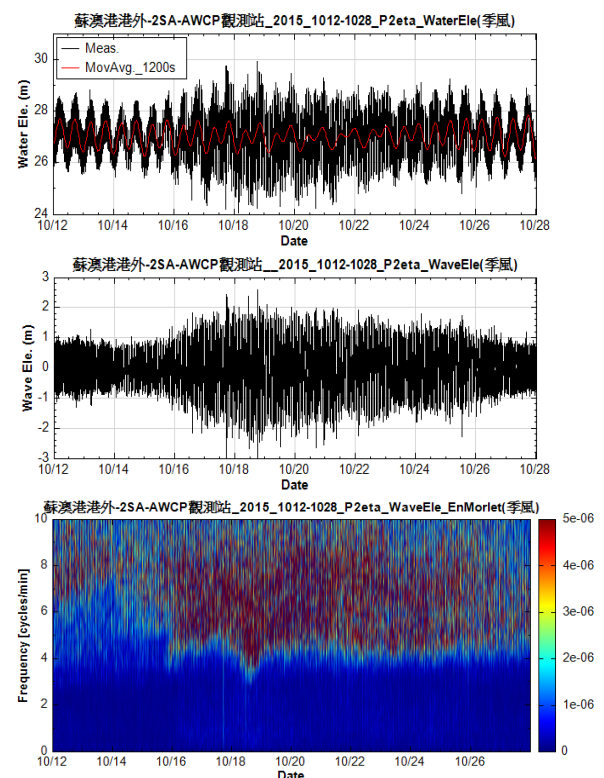


圖15 於2015年10月12日至28日東北季風期間在蘇澳港近海監測波浪所得轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號(上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中)與其應用 Enhanced Morlet Transform後之時頻分析圖(中)

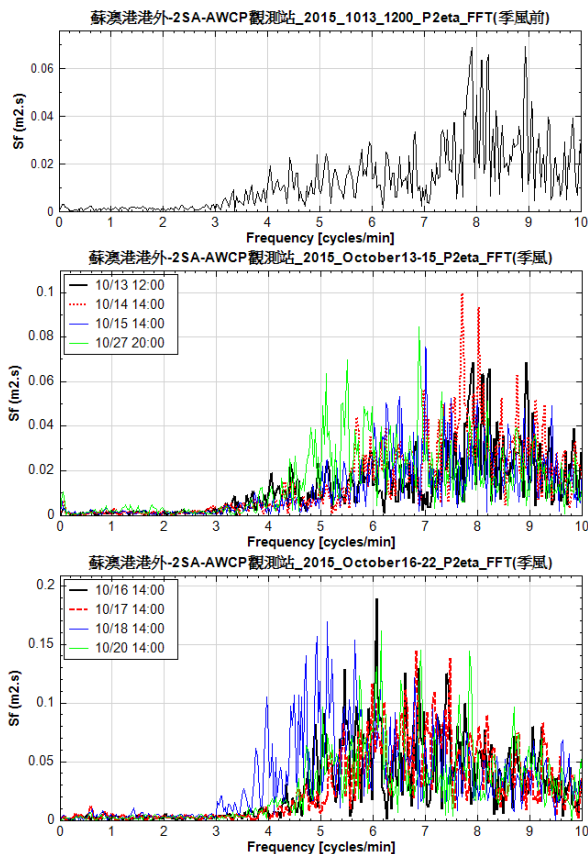


圖16 蘇澳港近海東北季風期間一般風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之逐時波譜變化

對照圖13至圖16，觀察季風期風速、波高與週期之時變歷程可見，季風波浪，自10月12日至15日，在一般較弱風速期間，風浪之波動能量(波高)普遍偏小，頻率主要均分佈於6~10cpm間；自16日後之較強風速期間，示性波高即隨風速增強而普遍增大，尖峰頻率，僅管亦會隨風速增強而往6cpm之低頻段趨近，惟主要仍分佈於6~10cpm間，其中，在10月18日12時前後，可見尖峰頻率由近6cpm突昇至5cpm之現象，經查其係巨爵颱風(10/13~10/21)及薔琵颱風(10/13~10/25)衍生之長浪影響所致。此外，特別值得注意的是，季風波浪，僅管風速曾高達9級，可比擬輕度颱風，但風浪之尖峰週期，仍普遍均低於12秒，且不會像颱風波浪週期所特殊陳現之突昇變動現象，更不會在0.2~2cpm頻率間，伴生亞重力波。

## 五、結論

針對具有陳現臺灣東部近海風浪特性之蘇澳港，於2015年8至10月之颱風與季風影響期間，蒐集整理蘇澳港外AWAC聲波計之原始1Hz逐時波浪監測紀錄，進行時頻分析，並透過分析結果之對照比較發現，颱風與季風波浪，其波高與頻率之逐時演化歷程或時變型態，彼此確實存在差異性，其

中，最具體的差異是：颱風波浪，因明顯受颱風強度變化及其趨近與遠離所影響，故其波高與週期之變化，皆會與颱風衍生之長浪(尖峰頻率3~6cpm)興衰相關，以致頻率會由高(尖峰頻率6~10cpm)轉低，並在6cpm處具突降性，特別是在長浪堆疊擁擠之極盛期間，尚會伴生有頻率介在0.2~2cpm之亞重力波；而季風波浪，純粹屬於一般風浪，主要頻率概約皆分佈於6~10cpm之高頻區間，且波高只會隨風速強弱而快速均勻增減，強風速衍生之長浪，總體上甚微弱，且幾乎無亞重力波之伴生。

## 參考文獻

1. 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。
2. 莊文傑、曾相茂, 2015a: “臺灣五大商港海域之波浪觀測與長浪之辨識”, 104年天氣分析與預報研討會論文集, A5海象測報與應用, 中央氣象局, 5-11\_L。
3. 莊文傑、曾相茂, 2015b: “臺灣東海岸颱風長浪演化歷程之共通特性”, 第37屆海洋工程研討會論文集, 第83-88頁。
4. 莊文傑、曾相茂、張憲國, 2015: “AWCP之波浪監測紀錄分析與其統計特性”, 第37屆海洋工程研討會論文集, 第77-82頁。
5. 莊文傑、曾相茂, 2016a: “臺灣海域之東北季風與國內五大商港海域之長浪特性”, 105年天氣分析與預報研討會論文集, A5海象測報與應用, 中央氣象局, A5-17。
6. 莊文傑、曾相茂, 2016b: “東北季風期基隆港與臺中港長浪之關聯性”, 第38屆海洋工程研討會, 第5-10頁。
7. 莊文傑、曾相茂、張憲國, 2016: “颱風長浪演化與瘋狗浪之預警”, 海洋及水下科技季刊, 26(4), 第22-31頁。
8. 莊文傑、曾相茂, 2017: “臺灣海域夏季颱風與冬季季風波浪之近岸觀測特性”, 106年天氣分析與預報研討會論文集, A5海象測報與應用, 中央氣象局, A5-7。
9. AnCAD, 2014: Visual Signal 1.5 Professional, 逸奇科技公司。
10. Munk, W. H., 1951: Origin and generation of waves, Proc. 1st Conf. on Coastal Eng., pp.1-4.
11. Tucker, M. J., 1991: Waves in ocean engineering \_ Measurement, Analysis, Interpretation, Ellis Horwood Series in Marine Science, E. Horwood, New York, 431p.