

107-101-7A85  
MOTC-IOT-107-H3DA001c

# 颱風與季風波浪特性分析及其 在瘋狗浪預警之應用



交通部運輸研究所  
中華民國 107 年 12 月

107-101-7A85  
MOTC-IOT-107-H3DA001c

# 颱風與季風波浪特性分析及其 在瘋狗浪預警之應用

著者：莊文傑、曾相茂

交通部運輸研究所

中華民國 107 年 12 月

颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用  
/ 莊文傑, 曾相茂著. -- 初版. -- 臺北市 :  
交通部運研所, 民 107. 12  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-05-8328-1(平裝)

1. 波動 2. 數值分析

351.9

107023312

颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用

著 者：莊文傑、曾相茂  
出版機關：交通部運輸研究所  
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號  
網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)  
電 話：(04)26587185  
出版年月：中華民國 107 年 12 月  
印 刷 者：  
版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊  
本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站  
定 價：300 元

展 售 處：  
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880  
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1  
電話：(02) 25180207  
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010702766 ISBN：978-986-05-8328-1(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用

交通部運輸研究所

GPN : 1010702766

定價: 300 元

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN: 978-986-05-8328-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1010702766	運輸研究所出版品編號 107-101-7A85	計畫編號 107-H3DA001c
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：朱金元 計劃主持人：莊文傑 共同主持人：曾相茂 參與人員：錢爾潔 聯絡電話：(04)26587185 傳真號碼：(04)26564415			研究期間 自 107 年 01 月 至 107 年 10 月
關鍵詞：颱風波浪、季風波浪、湧浪(長浪)、亞重力波、波浪演化、群波、瘋狗浪預警			
<p><b>報告內容重點摘要：</b></p> <p>基於風場及區域地形水深對波浪生成與傳播之綜合影響效應，本研究應用交通部運輸研究所港灣技術研究中心在國內五大商港海域所監測之長期性海氣象資料(風、浪、潮、流)，進行波浪原始 1 Hz 逐時監測紀錄之匯整與分析，並經綜合檢視近年季風與颱風期間之風、浪相關分時演化特性後，可總體性地匯整並揭示臺灣近岸海域冬、夏季季風與颱風波浪之逐時演化特性，進而再將其有效地應用以建置瘋狗浪預警準則，並研提瘋狗浪之防範措施。相關季風與颱風波浪特性研究及其在瘋狗浪預警之應用結論，分述如后。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對西南季風波浪特性，應用中央氣象局在東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標之海氣象逐時監測紀錄，檢選 2017 年 5 至 7 月幾乎無颱風影響期間，經資料彙整及分析可具體瞭解到，臺灣海峽南段海域，夏季之西南季風與波浪，其變動特性皆甚和緩，風速通常不及 8.0 m/s，較強盛之風速，亦僅約 10.7 m/s 左右；示性波高普遍低於 2 公尺，較大者亦不過 3 公尺；二階譜週期或平均週期，大多在 8 秒以下，且通常小於 6 秒。進一步再透過相關性分析可發現，東沙島與七美二資料浮標，實際風速強弱與波高大小之逐時變化歷程均甚相近似，彼此間風速及波高之相關係數分別可達 0.614 與 0.782，因此，可互為代表並據以直接陳現區域性之海氣象特性，惟總體代表性，仍以東沙島較佳。</li> <li>2. 結合東亞地面天氣圖，針對冬、春季之東北季風期，檢視國內五大商港海域分月風速與波浪逐時變化特性，綜合可發現：(1)在東北季風天氣系統之整體影響下，國內五大商港之季風，僅管因地理區位與地形遮蔽效應差異而致風速強弱彼此不同，但各港仍具有近似相同之起伏變動趨勢，風速並以臺中港最強勁，逐時歷程變化亦最明顯。(2)基隆港與臺中港冬季之季風長浪，不僅彼此逐時之示性波高大小與尖峰週期長短相近似，其隨臺中港風速強</li> </ol>			

弱而逐時變化之歷程亦極為一致。針對波高與風速平方進行迴歸分析，可得相關係數分別可高達 0.77 與 0.87，這意謂臺中港之風速，直接與兩港之季風長浪具密切關聯性，且臺灣海域之東北季風，可以臺中港作示性之代表；而其強盛程度，亦可藉臺中港風速之強弱，作為簡易地判別指標。(3)蘇澳港與花蓮港冬季彼此之風速強弱甚相當，而長浪波高大小與週期長短及其逐時變化歷程亦皆甚近似。(4)臺灣環島海域冬季之季風長浪，其尖峰週期，普遍約介在 5~10 秒間，最長不及 12 秒；而較大之示性波高，大多發生在基隆港，且可高達 6.0 公尺以上。

3. 就夏季颱風波浪而論，當太平洋海域有颱風形成時，則不論其行進路徑，亦不論其是否為發佈颱風警報，只要颱風向臺灣海岸趨近，則颱風所衍生之長浪，其傳播速度概約可以每日 800 公里計算，且在東部近海，通常可在蘇澳港與花蓮港近海，透過示性波高( $H_s$ )與尖峰週期( $T_p$ )，清楚地陳現其極相近似之(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之逐時演化歷程。另外，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；
4. 在颱風波浪的(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)發達成熟；及(5)減衰消退等五個主要演化歷程階段中，最值得特別注意的是，自堆疊擁積至發達成熟階段，颱風長浪的尖峰週期將會由 10 秒以下突然躍升至 12 秒以上，示性波高亦會由小逐漸成長至大於 1.5 公尺，以致颱風長浪常會因此一波動調變不穩定特性而可引發異常大浪或瘋狗浪。而為解決目前瘋狗浪尚無法準確預測或預報之問題，本研究尚針對颱風長浪之調變特性，再結合蘇澳港或花蓮港長浪波高與週期甚相近似之逐時演化歷程，提出瘋狗浪預警之發布與解除準則，並建立預警的分級與其預警措施，冀期能滿足防災、避災、減災、除災之需求。
5. 對照近岸監測波浪之時序特性變化與發生瘋狗浪侵襲事件之時間關聯性，本研究認為伴隨颱風或季風所衍生之湧浪，其在近岸之群波非線性演化本質與波能聚積堆疊效應，應是引發瘋狗浪或異常大浪的重要機制與關鍵原因。因此，為現階段瘋狗浪避災與防災之需要，本研究將避免對瘋狗浪之準確發生時間與地點進行預測或預報，而僅以預警為目標。主要的預警準據，建議以位處臺灣東部之蘇澳港或花蓮港近海既有海象測站之即時波浪監測特性作為基礎，當所監測到波浪之示性波高大於 1.5 公尺、且其示性週期在甚短期間內由通常小於 10 秒之風浪，突然轉變為超過 12 秒以上之湧浪時，應即起動相關之預警作為；而當波浪之示性週期再度減降回復至 10 秒以下時，即可解除預警。

### 研究成果之效益：

- (1)學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 2 篇，出版研究報告 1 冊。結合海岸專業知識，溫故知新，應用時頻分析，深切探討颱風與季風波浪特性，訂定颱風長浪之防災分級，研提瘋狗浪預警之詳細具體判定準則；
- (2)技術創新(科技整合創新)方面：應用研究觀察，學以致用，結合颱風與季風波浪示性波高及尖峰週期之逐時演化特性，擴展分析觀點，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，具體研提瘋狗浪之防災應變措施，提升科研課題之廣度與深度；
- (3)在經濟效益(經濟產業促進)方面：配合政府推展「海岸管理法」之永續發展目標，因應海岸防災效能，樽節颱風長浪減災及瘋狗浪防災之成本；
- (4)在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：依據颱風長浪之危險潛勢分級圖，具體提出瘋狗浪之預警準則，研提瘋狗浪之防災應變措施，精進海岸防災策略，降低海岸遊憩風險，促成國家海氣象觀測資源之永續利用；
- (5)在其它效益(政策管理及其它)方面：因應氣候變遷與海岸災害風險，落實「整體海岸管理計畫」，推動「海岸防護」與「海岸保護」目標，綜整海岸管理之課題與對策，導引海岸防災措施，健全海岸管理。

### 可供本所或其他政府機關後續應用情形：

本研究有效應用國家海氣象觀測資源，詳實結合颱風與季風波浪示性波高及尖峰週期之逐時演化特性，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，具體提出瘋狗浪之預警準則，並研提瘋狗浪之有效防災應變措施，發揮海岸專業學能，學以致用，精進海岸災害評估策略，降低海岸遊憩風險。相關成果可提供交通部中央氣象局、觀光局、各國家風景區管理處、鄰海縣市政府觀光旅遊局、港務分公司、經濟部水利署、海洋委員會海巡署等相關政府單位從事瘋狗浪預警及防災的應用參考。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 12 月	187	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

### 機密等級：

密 機密 極機密 絕對機密

(解密條件：年 月 日解密，公布後解密，附件抽存後解密，

工作完成或會議終了時解密，另行檢討後辦理解密)

普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。



**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Investigating the characteristics of typhoon and monsoon waves associated with its applications on freak waves warning.			
ISBN (OR ISSN) 978-986-05-8328-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010702766	IOT SERIAL NUMBER 107-101-7A85	PROJECT NUMBER 107-H3DA001c
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chu Chin-Yuan PRINCIPAL INVESTIGATOR: Juang Wen-Jye PROJECT ADVISOR: Tseng Hsiang-Mao PROJECT STAFF: Chien Er-Jier PHONE: 04-26587185 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2018 TO October 2018
KEY WORDS: Typhoon and Monsoon Waves, Swell, Infragravity Waves, Wave Evolutions, Grouping, Freak Waves Warning.			
<p>Applying 3 data buoys' records measured at the stations of Pratas, QiMei, and XiaoLiuqiu, respectively, to survey the characteristics of the summer monsoon waves in southern sea of the Taiwan Strait. The records of wind, waves, and pressure are specially selected during May to July of 2017 when the typhoon effects could be supremely excluded. Analyzing the data, we know that the wind significantly present the characteristics of the land and sea breezes such that the averaged wind speeds are generally less than 8.0 m/s, and hardly stronger than 10.7 m/s even during the prevailing periods. The sea state are mild such that the significant wave heights (<math>H_s</math>) are generally lower than 2.0 m, and the mean wave period (<math>T_{m02}</math>) are commonly shorter than 8.0 s. Furthermore, it is found that the time variant processes of wind and waves that respectively measured at the Pratas and QiMei buoys are similar to each other. The correlation coefficient of winds and waves between Pratas and QiMei is as high as 0.614 and 0.782, respectively. We therefore propose that the Pratas and QiMei buoys could be represented each other to well present the regional characteristics of wind and waves during summer monsoon. On electing the representative buoy, the Pratas is actually superior to QiMei.</p> <p>Reviewing the time variant characteristics of the winter monsoon wind associated with the waves that simultaneously measured at the 5 main ports: Keelung (KL), Taichung (TC), Kaohsiung (KH), Hualien (HL) and Suao (SA) of Taiwan, several interesting results are found. (1) Due to the regional effects of sites as well as topographical shelters, the hourly magnitudes of monsoon are obviously different at the 5 main ports. However, the variation trends of monsoon are mutually similar under the entire climate effects of the continental cold high. Specially, the significant trend with the strongest winds is usually presented at TC. (2) The waves with almost the same significant wave heights (<math>H_s</math>) and peak periods (<math>T_p</math>) presented at both of the ports of KL and TC, and so are the hourly trends. Moreover, the trend of swells is closely correlated to the monsoon that appeared at TC, and the correlation coefficients between <math>H_s</math> and the square of wind speeds are 0.77 and 0.87 respectively. We therefore propose that the monsoon can be well characterized, identified, and presented by the wind speeds appeared at TC. (3) The <math>H_s</math> and <math>T_p</math> as well as its hourly trends of swells that presented at both of the ports of SA and HL are almost the same too. (4) The <math>T_p</math> of monsoon waves are generally shown between 5~10 seconds, and the longest one is no more than 12 s around the seas of Taiwan. As to <math>H_s</math>, most of the bigger swells are observed at KL, and could be with heights higher than 6.0 m.</p> <p>Contrasting the time varying characters of measured waves with the coastal freak waves that occurred and reported on news journal, we consider that the essential of wave grouping evolution associated with the wave accumulation effects of the</p>			

swell should be the main mechanism and key cause to generate the coastal freak waves. To partially fit the requirements of hazards mitigation and prevention at present stage, we therefore focus on the works of proposing a primary early warning scheme instead of forecasting and predicting. Basing on the real time wave monitoring system that managed by the center of harbor and marine science and technology, I.O.T., the main proposing scheme is exactly monitoring and identifying the growth of swell such that the early warning scheme should be started when the significant wave height and period bigger than 1.5m and 10s, and could be stopped when the wave period restoring to less than 10s, i.e., the general wind waves.

Once there are Typhoons formed in the western Pacific Ocean and west approaching, the evolutions of swell presented by the time variants of the significant wave height ( $H_s$ ) associated with the peak period ( $T_p$ ) can be well monitored on the east coasts of Taiwan, especially on the coastal seas of Suao and Hualien. Surveying the swell events occurred by near years, we find that sea is generally calm with  $H_s$  less than 1 m and  $T_p$  no more than 8 s before swell impact on, and then the evolutions of swell exhibiting common characteristics due to wave modulation instabilities such that it may be summed up in 5 stages of (1)arriving, (2)grouping, (3)accumulating, (4)maturing, and (5)dissipating. At the arriving stage, the arriving time can be estimated by the deep water group velocity that is about 809 km/day by letting  $T_p=12$  s. In the grouping stage,  $T_p$  going rise over 8 s. During the accumulating stage,  $T_p$  getting greater than 10 s and  $H_s$  growing bigger than 1.5 m. When  $H_s$  reaching its maximum while oscillating around sometimes, the maturing stage is confirmed. On  $H_s$  decaying and dropping down to 1.5 m,  $T_p$  retrieving less than 10 s as well, then the dissipating stage is identified.

Basing on the journal reports relating to the coastal rogue waves or freak waves, it is find that the coastal freak waves frequently occur behind the stage of wave accumulating. We therefore propose a warning guideline to partially fulfill the requirements of marine disaster defense, evading, mitigation and reduction.

DATE OF PUBLICATION December 2018	NUMBER OF PAGES 187	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
--------------------------------------	------------------------	--------------	--

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

# 颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之 應用

## 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	IV
目 錄 .....	VI
圖目錄 .....	IX
表目錄 .....	XX
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 研究緣起 .....	1-1
1.2 文獻回顧 .....	1-2
1.3 工作項目 .....	1-4
1.4 研究成果之效益與應用 .....	1-4
1.4.1 研究成果效益 .....	1-4
1.4.2 在業務施政上的應用 .....	1-5
<b>第二章 臺灣環島近海之風浪與風速監測紀錄 .....</b>	<b>2-1</b>
2.1 海氣象監測及展示系統 .....	2-1
2.2 風與波浪監測紀錄匯整 .....	2-5
2.2.1 風 .....	2-5
2.2.2 波浪 .....	2-9

2.3 波壓紀錄之轉換處理 .....	2-15
2.4 風浪監測與分析資料之檢選 .....	2-26
<b>第三章 颱風波浪特性分析.....</b>	<b>3-1</b>
3.1 臺灣近海之颱風長浪監測 .....	3-1
3.2 臺灣東部海域颱風波浪之關聯特性 .....	3-12
3.3 颱風長浪之傳播速度 .....	3-18
3.4 近岸颱風長浪之演化歷程 .....	3-20
3.5 颱風長浪之判識 .....	3-36
<b>第四章 季風波浪特性分析.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 臺灣近海之季風波浪監測 .....	4-1
4.2 東北季風與區域風浪之關聯特性 .....	4-9
4.3 西南季風與區域風浪之關聯特性 .....	4-24
4.4 東北季風波浪之演化歷程 .....	4-34
<b>第五章 瘋狗浪之預警.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 瘋狗浪與颱風風浪之關聯 .....	5-1
5.2 瘋狗浪侵襲之關鍵癥候與潛勢 .....	5-4
5.3 瘋狗浪預警及防災分級 .....	5-6
5.4 瘋狗浪之預警措施與作為 .....	5-11
<b>第六章 結論與建議.....</b>	<b>6-1</b>
6.1 結論與建議 .....	6-1
6.2 研究成果之效益 .....	6-4
6.3 可供本所或其他政府機關後續應用情形 .....	6-5

參考文獻.....	參-1
附錄 1 期末報告審查簡報資料.....	附 1-1
附錄 2 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表.....	附 2-1



## 圖目錄

圖 1-1 以週期差異為基準之波動分類 .....	1-1
圖 2-1 現況 IHMT 建置之海氣象觀測與展示系統架構圖 .....	2-1
圖 2-2 挪威 NORTEK 公司出品同時掛載有壓力計(Press.)及聲波計 (AST)之超音波式波向波高與剖面海流儀(AWAC) .....	2-5
圖 2-3 臺灣海域冬季 2017/10/30 02:00 之東北季風天氣系統(左)與地面 風場(右) .....	2-7
圖 2-3(續) 臺灣海域夏季 2017/06/20 08:00 之西南季風天氣系統(左)與 地面風場(右) .....	2-7
圖 2-3(續) 臺灣海域秋季 2017/10/20 08:00 蘭恩颱風之颱風天氣系統(左) 與地面風場(右) .....	2-7
圖 2-4 臺中港北外堤風速測站在 2015 年 12 月至 2016 年 1 月冬季季風 期實測之 10 分鐘平均風速(上)與風向(下)逐時序紀錄 .....	2-8
圖 2-4(續) 臺中港北外堤風速測站在 2016 年 2 月至 2016 年 3 月冬季季 風期實測之 10 分鐘平均風速(上)與風向(下)逐時序紀錄 .....	2-8
圖 2-5 蘇澳港在 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間以 AWAC 壓力計 (Press._上)及聲波計(AST_下)實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀 錄(上) .....	2-10
圖 2-6 蘇澳港在 2015 年 8 至 10 月含括颱風與季風期間以 AWAC 壓力 計(Press._上)及聲波計(AST_下)實測波浪之原始 1 Hz 分時時序 紀錄 .....	2-10
圖 2-7 花蓮港在 2015 年 8 月含括蘇迪勒颱風及天鵝颱風影響期間以 AWAC 壓力計(Press._上)及聲波計(AST_下)實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀錄 .....	2-11
圖 2-8 以示性波高( $H_s$ )及尖峰週期( $T_p$ )陳現 5 個國際港波浪監測特性之 IHMT 既有海氣象展示系統 .....	2-11
圖 2-9 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港冬季(2015 年 1 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統 .....	2-12

圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港冬季(2016 年 3 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統.....	2-12
圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季(2012 年 5 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統.....	2-13
圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季(2016 年 6 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統.....	2-13
圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季颱風(2014 年 7 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統.....	2-14
圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季颱風(2016 年 8 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統.....	2-14
圖 2-10 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 00 時以 AWAC 壓力計原始 1 Hz 分時實測紀錄作傅立葉轉換後之壓力頻譜(上)及其應用界定頻率並經波動轉換函數後之轉換水位頻譜(中)與聲波計水位頻譜(下)之對照比較.....	2-18
圖 2-10(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 12 時以 AWAC 壓力計原始 1 Hz 分時實測紀錄作傅立葉轉換後之壓力頻譜(上)及其應用界定頻率並經波動轉換函數後之轉換水位頻譜(中)與聲波計水位頻譜(下)之對照比較.....	2-18
圖 2-11 蘇澳港 2015 年 8 月 6 日 12 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.934).....	2-19
圖 2-11(續) 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 00 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.937).....	2-19
圖 2-11(續) 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 20 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波	

水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.884) .....	2-20
圖 2-11(續) 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 23 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.688) .....	2-20
圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 6 日 12 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.868) .....	2-21
圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 00 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.923) .....	2-21
圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 12 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.941) .....	2-22
圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 16 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.928) .....	2-22
圖 2-12 將 2015 年 8 月 7 日 AWAC 聲波計原始分時實測紀錄與蘇澳港(上)及花蓮港(下)經應用不同界定頻率與逆傅立葉轉換壓力計紀錄為海面水位時序之相關係數檢核比對 .....	2-23
圖 2-13 蘇澳港於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整 .....	2-24
圖 2-13(續) 蘇澳港於 2015 年 8 至 10 月含括颱風與季風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整 .....	2-24
圖 2-13(續) 花蓮港於 2015 年 8 月含括蘇迪勒颱風與天鵝颱風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整 .....	2-25
圖 2-13(續) 花蓮港於 2015 年 10 月含括颱風與季風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整 .....	2-25

圖 2-14 蘇澳港外於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間以壓力計(上)及聲波計(下)監測波浪之原始 1Hz 逐時波動紀錄與聲波紀錄在大波高期間發生之截底情形.....	2-26
圖 2-14(續) 蘇澳港外於 2015 年 9 月杜鵑颱風影響期間以壓力計(上)及聲波計(下)監測波浪之原始 1Hz 逐時波動紀錄與聲波紀錄在大波高期間發生之截底情形.....	2-27
圖 2-14(續) 花蓮港外於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間以壓力計(上)及聲波計(下)監測波浪之原始 1Hz 逐時波動紀錄與聲波紀錄在大波高期間發生之截底情形.....	2-27
圖 3-1 國內 5 個國際港在 2014 年 7 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)之逐時演化歷程比對.....	3-2
圖 3-1(續) 國內 5 個國際港在 2015 年 7 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)逐時演化歷程比對.....	3-2
圖 3-2 蘇力颱風(2013/07)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上_示性波高；中_尖峰週期；下_風速).....	3-3
圖 3-3 海燕颱風(2013/11)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上_示性波高；中_尖峰週期；下_風速).....	3-4
圖 3-4 浣熊颱風(2014/07)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上_示性波高；中_尖峰週期；下_風速).....	3-5
圖 3-5 梅沙颱風(2015/03)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上_示性波高；中_尖峰週期；下_風速).....	3-6
圖 3-6 紅霞颱風(2015/05)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上_示性波高；中_尖峰週期；下_風速).....	3-7
圖 3-7 白海豚颱風(2015/05)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上_示性波高；中_尖峰週期；下_	

風速).....	3-8
圖 3-8 位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港於 2015 年 7 月夏季颱風影響期間示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)所陳示近似相同之逐時演化歷程.....	3-10
圖 3-9 位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港於 2015 年 4 月梅沙颱風影響期間颱風波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示近似相同之逐時演化歷程.....	3-11
圖 3-9(續) 位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港於 2015 年 5 月紅霞颱風影響期間颱風波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示近似相同之逐時演化歷程.....	3-11
圖 3-10 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2013 年 8 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程.....	3-14
圖 3-11 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2014 年 7 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程.....	3-14
圖 3-12 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2014 年 8 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程.....	3-15
圖 3-13 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 7 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程.....	3-15
圖 3-14 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 8 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程.....	3-16
圖 3-15 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 10 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程.....	3-16
圖 3-16 蘇澳港與花蓮港自 2013 年至 2015 年 7 月與 8 月夏季颱風期監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下左)及二階譜週期(下右)之關聯性.....	3-17

圖 3-17 在蘇澳港監測梅沙颱風(2015/03)之長浪示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程 .....	3-27
圖 3-18 在蘇澳港監測紅霞颱風(2015/05)之長浪示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程 .....	3-28
圖 3-19 在蘇澳港監測白海豚颱風(2015/05)之長浪示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程 .....	3-29
圖 3-20 蘇迪勒颱風(2015/08)之移動路徑(上)及在蘇澳港監測颱風長浪(下)之示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程 .....	3-30
圖 3-21 於蘇迪勒颱風侵襲期間(2015/08)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)與其時頻分析圖(下) .....	3-31
圖 3-22 在蘇澳港近海於蘇迪勒颱風侵襲期間(2015/08)颱風長浪在不同時間階段之分時波譜變化 .....	3-32
圖 3-23 杜鵑颱風(2015/09)之移動路徑(上)及在蘇澳港監測颱風長浪(下)之示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程 .....	3-33
圖 3-24 於杜鵑颱風侵襲期間(2015/09)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)與其時頻分析圖(下) .....	3-34
圖 3-25 在蘇澳港近海於杜鵑颱風侵襲期間(2015/09)颱風長浪在不同時間階段之分時波譜變化 .....	3-35
圖 3-26 山竹颱風影響期間(2018/09)蘇澳港資料浮標之波高與週期及風速之逐時演化特性 .....	3-38
圖 4-1 可在臺灣海域衍生強勁東北季風之大陸冷高壓天氣系統 2015/01/28 0000UTC .....	4-1
圖 4-2 可在臺灣海域衍生強勁東北季風之大陸冷高壓天氣系統與其風場預報圖(2016/01/24 0800LST 帝王寒潮期間) .....	4-2
圖 4-3 臺灣海域夏季 2017/06/20 08:00 之西南季風天氣系統(上)與對應之地面風場(下) .....	4-3

圖 4-4 臺灣 5 個國際港在 2014 年 12 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化 .....	4-5
圖 4-4(續) 臺灣 5 個國際港在 2015 年 1 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化 .....	4-5
圖 4-4(續) 臺灣 5 個國際港在 2015 年 2 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化 .....	4-6
圖 4-5 臺灣 5 個國際港在 2016 年 1 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化 .....	4-8
圖 4-5(續) 臺灣 5 個國際港在 2016 年 2 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化 .....	4-8
圖 4-5(續) 臺灣 5 個國際港在 2016 年 3 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化 .....	4-9
圖 4-6 基隆港與臺中港 2014 年 12 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-10
圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2015 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-10
圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2015 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-11
圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2016 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-11
圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2016 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-12
圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2016 年 3 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-12
圖 4-7 蘇澳港與花蓮港 2014 年 12 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-13
圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2015 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-13
圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2015 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-13

週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-14
圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2016 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-14
圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2016 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-15
圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2016 年 3 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性 .....	4-15
圖 4-8 冬季季風強盛期基隆港與臺中港波高之關聯性 .....	4-18
圖 4-9 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之風浪波高與臺中港風速二次方之關聯圖 .....	4-20
圖 4-10 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之風浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖 .....	4-20
圖 4-11 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之風浪波高與臺中港風速二次方之關聯圖 .....	4-22
圖 4-12 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之風浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖 .....	4-23
圖 4-13 冬季季風(色階及箭尺)對臺灣東部及中西部海域風浪波高(等值線)所具有總體之影響性 .....	4-23
圖 4-14 臺灣海域在 2017/06/20 08:00 之夏季西南季風天氣系統(上)與地面分析風場(下) .....	4-24
圖 4-15 臺灣海峽南段海域 2017/08/08 08:00 夏季西南季風之分析風場(箭矢及色階)及預報波浪場(等值線) .....	4-25
圖 4-16 國內 5 個國際港在 2012 年 5 月夏季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)逐時變化歷程之比對 .....	4-26
圖 4-16(續) 國內 5 個國際港在 2016 年 6 月夏季季風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)逐時變化歷程之比對 .....	4-26
圖 4-17 東沙島(黑實線)、七美(紅虛線)、小琉球(藍點線)資料浮標於	

2017 年 5/8 至 7/28 期間實測示性波高(上)、二階譜週期(中上)、 平均風速(中下)與氣壓(下)之逐時歷程紀錄(圖註後數字為缺漏 率).....	4-27
圖 4-18 東沙島(黑實線)與七美(紅虛線)資料浮標平均風速(上)與示性 波高逐時紀錄經以中央移動平均處理後彼此間之相似性與關聯 性.....	4-30
圖 4-19 以東沙島資料浮標經移動平均處理後之平均風速(紅虛線)為基 準分別對照其與東沙島(上)及七美(下)示性波高(黑實線)逐時變 化之趨勢與關聯性.....	4-31
圖 4-20 以七美資料浮標經移動平均處理後之平均風速(紅虛線)為基 準分別對照其與東沙島(上)及七美(下)示性波高(黑實線)逐時變 化之趨勢與關聯性.....	4-31
圖 4-21 以東沙島資料浮標之平均風速作為風域之代表風速分別推估 其與東沙島(紅點、線)及七美(藍點、線)示性波高之關聯性 .....	4-32
圖 4-22 以七美資料浮標之平均風速作為風域之代表風速分別推估其 與東沙島(藍點、線)及七美(紅點、線)示性波高之關聯性 ....	4-33
圖 4-23 可在臺中港海域衍生風速大於 20.8 m/s 之大陸冷高壓、鋒面、 與低壓天氣系統 2014/12/01 0600UTC .....	4-35
圖 4-23(續) 可在臺中港海域衍生風速大於 20.8 m/s 之大陸冷高壓、鋒 面、與低壓天氣系統 2015/02/09 0000UTC .....	4-35
圖 4-24 臺中港北外堤頭風力測站在 2015 年 10 月季風初起期間風力監 測之十分鐘平均風速(上)與風向(下).....	4-36
圖 4-25 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 .....	4-37
圖 4-26 於 2015 年 10 月 12 日至 28 日東北季風期間在臺中港北外堤頭 監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之 原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊 號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下).....	4-38
圖 4-27 蘇澳港近海 2015 年 10 月 12 日至 28 日東北季風期間一般風速	

期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化 .....	4-39
圖 4-28 於 2015 年 12 月 9 日至 26 日東北季風期間在臺中港北外堤頭 監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之 原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊 號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下).....	4-40
圖 4-29 蘇澳港近海 2015 年 12 月 9 日至 26 日東北季風期間一般風速 期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化 .....	4-41
圖 4-30 於 2016 年 1 月 21 日至 2 月 5 日東北季風期間在臺中港北外堤 頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後 之原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序 訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下).....	4-42
圖 4-31 蘇澳港近海 2016 年 1 月 21 日至 2 月 5 日東北季風期間一般風 速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化 .....	4-43
圖 4-32 於 2016 年 2 月 11 日至 2 月 27 日東北季風期間在臺中港北外 堤頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄 後之原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時 序訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下).....	4-44
圖 4-33 蘇澳港近海 2016 年 2 月 11 日至 2 月 27 日東北季風期間一般 風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變 化.....	4-45
圖 4-34 於 2016 年 3 月 4 日至 3 月 20 日東北季風期間在臺中港北外堤 頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後 之原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序 訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下).....	4-46
圖 4-35 蘇澳港近海 2016 年 3 月 4 日至 3 月 20 日東北季風期間一般風 速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變 化.....	4-47
圖 5-1 民國 107 年 9 月 2 日曾在宜蘭南澳神秘海灘造成嚴重瘋狗浪侵 襲悲劇之燕子颱風行進路徑潛勢預報.....	5-3

圖 5-2 海燕颱風影響期間(2013/11/09 07:43:00)在蘇澳港近海觀測到最大波高約達 8.3 公尺之異常大波浪時序紀錄.....	5-4
圖 5-3 海燕颱風長浪發生 11-9 瘋狗浪侵襲事件前 2 小時之蘇澳港近海原始 1 Hz 波浪分時監測紀錄(2013/11/09 12:10:00).....	5-5
圖 5-4 以 EMD 分析 11-9 海燕颱風瘋狗浪侵襲事件前 2 小時之蘇澳港近海波浪監測紀錄所得之 IMFs 及主要週期約介在 12~15 秒且明顯具群波型態與調變特性之第 2 IMF (紅).....	5-6
圖 5-5 颱風長浪之防災分級與對應之防減災重點 .....	5-8
圖 5-6 無發布警報之燕子颱風於 2018 年自 9 月 1 日至 5 日在花蓮港近海所衍生颱風長浪之 5 個主要演化階段及瘋狗浪預警之發布時機.....	5-10
圖 5-7 中央氣象局近年依據臺灣環島近海資料浮標之波浪監測分析結果不定時在局網針對臺灣各處海岸發布之颱風長浪即時警示訊息(上_2018 年 9 月之山竹颱風；下_2018 年 10 月之玉兔颱風) .....	5-14
圖 5-8 好發瘋狗浪侵襲之海岸及海灘區域所常設警示效能甚有限之靜態警示標誌.....	5-15
圖 5-9 建議於重要之海岸公路、鐵路區段及通往海岸之服務區或關鍵通道入口處，建設可動態起閉且與瘋狗浪警報發布與解除資訊聯動之電子看板、布告、跑馬燈、動態燈號、標誌與警示文字 .....	5-15



## 表目錄

表 3-1 蘇澳港與花蓮港 2013 至 2015 年颱風影響期間分月監測波浪示性波高( $H_s$ )、尖峰週期( $T_p$ )及二階譜週期( $T_{m02}$ )之相關係數...3-13	
表 3-2 颱風強度分級表.....3-18	
表 4-1 基隆港與臺中港 2013 至 2016 年冬季季風期分月監測波浪示性波高( $H_s$ )、尖峰週期( $T_p$ )及二階譜週期( $T_{m02}$ )之相關係數 .....4-18	
表 4-2 臺灣海峽南段海域東沙島、七美、小琉球資料浮標於 2017 年 5 月 8 日至 7 月 28 日夏季季風期間實測波高、週期、風速之統計分析 .....4-28	
表 4-3 東沙島、七美、小琉球資料浮標實測海氣象紀錄經以中央移動平均處理後彼此間示性波高( $H_s$ )、二階譜週期( $T_{m02}$ )、平均風速(Wnd)及氣壓(Pres)之相關係數.....4-29	
表 4-4 以東沙島及七美資料浮標經移動平均處理後之平均風速(紅虛線)為基準再分別計算其與東沙島及七美示性波高逐時變化之關聯性與相關係數.....4-30	
表 5-1 颱風長浪侵襲之防災分級 .....5-8	



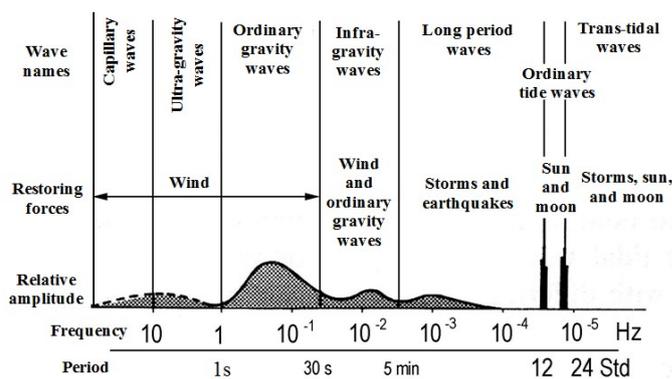
# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起

海洋中之波浪，通常係因風力作用而衍生，故有「風生水起」、「無風不起浪」之俗諺。學理上，因風(移動風暴、颱風、或強烈季風)而起之波浪，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強度風速之風域(風力作用場域)範圍及其持續吹襲之時間，主要特性之表達，常以波高( $H$ )、週期( $T$ )或頻率( $f$ )作陳現。

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 1-1 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，其為近岸波浪之主要構成成分，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”。



Classification of ocean waves according to wave period (after Munk, 1951)

資料來源：Munk, 1951.

圖 1-1 以週期差異為基準之波動分類

另外，基於波動之分散(dispersion)特性，週期長短不一之波浪，將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，實際皆比風域之移動速度快。所以，近岸之長浪，通常會與遠域移動之風暴或颱風具有密切關聯性。

颱風，為臺灣首要的災變天氣，而伴隨颱風所生成之長浪，則似如影隨形之危險海怪，且在海、陸、空各領域，常會造成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，卻常因其神出鬼沒之演化特性無法明確掌握而屢屢被輕忽。鑑此，針對臺灣近海，本文以交通部運輸研究所港灣技術研究中心(IHMT)在國內五大商港近海所建置之海氣象(風、浪、潮、流)即時監測與傳輸顯示系統為基礎，從國內五個國際港之既有波浪觀測資料庫中，檢選並彙整冬、夏季之季風及部分曾發布及未曾發布海、陸颱風警報期間之長期連續波浪監測與分析紀錄，再以颱風與長浪之密切關聯性為基礎，藉歷年波浪之逐時觀測與分析紀錄，配合颱風之移動路徑、位置、距東部海岸之距離及強度變動等資訊，陳示颱風長浪之實際演化歷程，並據以探索颱風長浪與季風波浪之共通演化特性，進而對神出鬼沒，但卻經常伴隨颱風長浪而衍生之瘋狗浪，提供簡易之危險潛勢分級，建構預警判別準則，研提預警措施，藉期可有效防範瘋狗浪之侵襲，減小其危害，並達成颱風長浪相關災害防制之需要。

## 1.2 文獻回顧

在西北太平洋及南海海域，基於海洋環境與地理位置之特殊性，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)。儘管每年直接對臺灣陸岸或近海侵襲之颱風並不頻繁，但只要有一颱風形成，其所衍生之長浪，必定可挾帶甚大之能量，且可長距離傳播。

又基於波動之分散(dispersion)特性，週期長短不一之風浪，因而具

有快、慢不同之傳播速度。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，且因其在生成期間所挾帶之能量甚大，故可傳播之距離甚遠，特別是當其抵達近岸後，由於波能消散不易，加以水深變淺、灣澳地形窄縮、及人造結構物之反射影響，所以，即使天氣風和日麗，近海仍會存在長浪(莊、曾，2015)，且先來後到之長浪，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(梁 等，2010；Liang, 2007、2012)，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。

對於颱風長浪，梁、林(1978)曾著手進行推算研究，並於隨後提出預報方法且持續改善預報準確度(梁，1982、2008；梁 等，2010；Liang, 2012)。另外，為科學研究與工程應用之需要，交通部中央氣象局及運輸研究所港灣術研究中心，分別自 1995 年 10 月及 2000 年 12 月起，即著手更新提昇以往之波浪監測設備，且在臺灣環島海域陸續布建資料浮標及應用超音波式波向波高與剖面海流儀器(AWCP)進行長期之波浪監測，監測結果並提供國內學者作相關分析、模擬、推算及預報與預警等研究應用(錢，2006；Doong and Kao, 2007；許 等，2011、2012；滕 等，2012；陳 等，2013；張，2015；莊、曾，2015、216)。

「瘋狗浪」係臺灣民間對近岸海域曾造成傷亡之突發性異常大浪之俗稱。發生之時、空，迄今尚具不可預測性(許 等，1993；陳，1999；蔡 等，2001；陳 等，2002)。在研究課題上，常與海洋上之突浪、詭浪(freak waves)或暴浪(rogue waves)相關聯。可能之引發機制，主要應與局部海域之水深地形、波流交互作用、波群之聚合(grouping)、波動之非線性演化及調變不穩定(modulation instability)等效應有關，特別是與颱風長浪之急遽堆疊與匯聚演化最具關聯性(梁 等，2010；張、歐，2013；莊、曾，2014；陳 等，2015；Zakharov and Ostrovsky, 2009)。

### 1.3 工作項目

本研究：「颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用」為本所 107 年「港灣環境資訊整合及防災應用研究(1/4)」綱要計畫之第 3 子計畫，研究期程為一年，研究重點在針對臺灣近海颱風長浪所衍生瘋狗浪侵襲之預警課題，從颱風與季風波浪之基本特性差異分析著手，進而掌握長浪變化之關鍵因素，據以研提防範瘋狗浪侵襲之預警準則及防護對策。主要之年度研究重點工作項目如下：

- (1) 分月綜整及剖析國內五大商港海域近年颱風及季風波浪與風速之逐時監測紀錄；
- (2) 探討臺灣環島不同區位海域颱風長浪及季風波浪隨風速演變歷程之共通性；
- (3) 掌握可判定風浪時變特性之關鍵指標及可充分陳現空間代表性之港口區位；
- (4) 研提瘋狗浪預警之相關準則與防範對策及措施。
- (5) 年度研究報告綜合整理、撰寫及提交。

### 1.4 研究成果之效益與應用

#### 1.4.1 研究成果效益

本研究成果主要在廣泛分析颱風與季風波浪之波高與週期逐時演化特性，再透過颱風長浪於具足引發瘋狗浪侵襲所特殊具有之尖峰週期突昇變動性，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，進而具體研提瘋狗浪之預警準則及相關防災應變措施。主要研究效益，綜整條列如下：

- (1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 2 篇，出版研究報告 1 冊。結合海岸專業知識，溫故知新，應用時頻分

析，深切探討颱風與季風波浪特性，訂定颱風長浪之防災分級，研提瘋狗浪預警之詳細具體判定準則；

- (2) 技術創新(科技整合創新)方面：應用研究觀察，學以致用，結合颱風與季風波浪示性波高及尖峰週期之逐時演化特性，擴展分析觀點，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，具體研提瘋狗浪之防災應變措施，提升科研課題之廣度與深度；
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：配合政府推展「海岸管理法」之永續發展目標，因應海岸防災效能，樽節颱風長浪減災及瘋狗浪防災之成本；
- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：依據颱風長浪之危險潛勢分級圖，具體提出瘋狗浪之預警準則，研提瘋狗浪之防災應變措施，精進海岸防災策略，降低海岸遊憩風險，促成國家海氣象觀測資源之永續利用；
- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：因應氣候變遷與海岸災害風險，落實「整體海岸管理計畫」，推動「海岸防護」與「海岸保護」目標，綜整海岸管理之課題與對策，導引海岸防災措施，健全海岸管理。

#### **1.4.2 在業務施政上的應用**

本研究有效應用國家海氣象觀測資源，詳實結合颱風與季風波浪示性波高及尖峰週期之逐時演化特性，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，具體提出瘋狗浪之預警準則，並研提瘋狗浪之有效防災應變措施，發揮海岸專業學能，學以致用，精進海岸災害評估策略，降低海岸遊憩風險。相關成果可提供交通部中央氣象局、觀光局、各國家風景區管理處、鄰海縣市政府觀光旅遊局、港務分公司、經濟部水利署、海洋委員會海巡署等相關政府單位從事瘋狗浪預警及防災的應用參考。



## 第二章 臺灣環島近海之風浪與風速監測紀錄

### 2.1 海氣象監測及展示系統

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，以及國立成功大學近海水文中心、臺南水工試驗所、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(IHMT)，早自民國 75 年開始，即著手進行臺灣 5 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 30 年來並已獲致頗豐碩之研究調查成果(曾 等, 2015)。現況，IHMT 所建置之海氣象長期觀測與展示系統架構，如圖 2-1 所示。

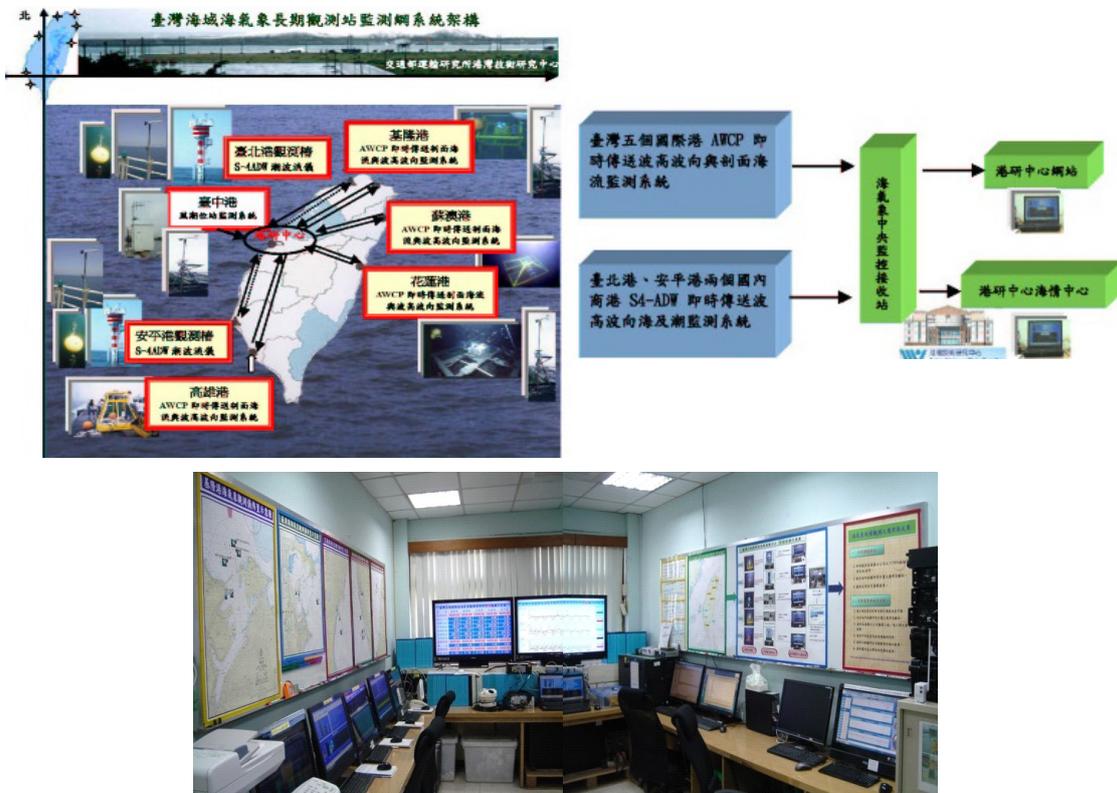


圖 2-1 現況 IHMT 建置之海氣象觀測與展示系統架構圖

目前，既有 5 個國際港海氣象觀測站之主要觀測項目包括：波浪、海流、潮位及風力。各測站之位置及儀器配置概況，分述如后。

## 1. 基隆港

基隆港海氣象觀測站，於 2001 年 6 月初始安裝在基隆港東防波堤頭外水深 44 公尺處，因基隆港務局決定東防波堤從 2006 年 5 月開始施工往北延長 200 公尺，工期約 3 年，因此，於 2006 年 8 月中旬，海氣象觀測站第二次更新，使用挪威 NORTEK 公司之超音波式波向波高與剖面海流儀(AWAC)，如圖 2-2 所示，建置即時傳送監測系統，並配合施工，改安裝在西防外海水深 36 公尺處。於 2010 年 11 月東防波堤往北延長 200 公尺工程完工後，IHMT 隨後於 2011 年 8 月下旬，即在新東防波堤堤頭外 200 公尺，水深 48 公尺處，第三次更新海氣象觀測站，使用之儀器，同樣為挪威 NORTEK 公司之 AWAC。至於潮位站與風速站，於 2011 年 10 月同時更新安裝在西防波堤光華燈塔附近之壓力式潮位儀及超音波式風速計，至今，全觀測系統都在正常運轉中，且資料完整。

## 2. 蘇澳港

蘇澳港海氣象觀測站，初始於 2002 年 7 月 19 日安裝在蘇澳港港口外 700 公尺附近，水深 25 尺處，觀測儀器採用一部挪威 NORTEK 公司之 AWAC；但在 2004 年 9 月 22 日，因船隻收錨時被拉扯，以致海底電纜遭受損，隨後，於 12 月 2 日重新鋪換一段長 200 公尺之海底電纜後，即恢復整套系統之即時監測功能；惟到 2007 年 10 月，因儀器與電纜漸老化，且故障頻繁，因此，辦理第 2 次更新，同樣亦使用挪威 NORTEK 公司之 AWAC，並安裝在原水深 25 公尺處；直至 2012 年 8 月，在同地點採用相同儀器辦理第 3 次更新，全觀測系統目前亦正常運轉中。至於潮位站與風速站，原於 2003 年 6 月在基隆港務局蘇澳港分局勘測隊測站安裝一具壓力式潮位儀及 Young 公司之風速計，隨後在 2008 年 8 月中旬進行測站儀器更新，採用日本 KAIJO 公司之三維超音波式風速計與壓力

式潮位儀；直到 2012 年 10 月，進行第三次儀器更新，並改採 Gill 之二維超音波式風速計與壓力式潮位儀，全觀測系統至今亦都正常運轉中，且資料完整。

### 3. 花蓮港

花蓮港海氣象觀測站，於 1989 年 12 月至 2000 年 8 月，初始在花蓮港口附近海域，水深 33 公尺，使用荷蘭 DATAWELL 之浮球式波浪儀(wave rider)；2001 年 8 月中旬，改採挪威 NORTEK 公司之 AWAC；惟在 2003 年 9 月 1 日，受杜鵑颱風波浪影響，以致海底電纜受損，歷經兩個月之復建維修後，在 2003 年 10 月 22 日即恢復測站功能；隨後，於 2008 年 8 月中旬及 2013 年 8 月中旬，分別辦理第二及第三次儀器更新，仍皆使用挪威 NORTEK 公司之 AWAC，現況，全觀測系統皆正常運轉中。至於潮位站與風速站，在 2001 年 6 月，初始在基隆港白燈塔附近安裝一具壓力式潮位儀，但在 2007 年 8 月 17 日，不幸受到大雷雨之閃電擊中，導致潮位儀嚴重受損；隨後，壓力式潮位儀即於 2007 年 11 月 30 日辦理第二次更新，同時，並在花蓮港務局大樓樓頂，安裝一組三維超音波式風速計，且在 2013 年 10 月辦理第三次儀器更新，觀測系統至今亦皆正常運轉中。

### 4. 高雄港

高雄港海氣象觀測站，在 2000 年 12 月中旬，經會勘後，初始選定在高雄一港口與二港口間之中洲污水處理廠附近海域，安裝一組 AWAC，海底電纜並沿著污水排放管鋪設；但在 2001 年 6 月 23 日，受奇比颱風波浪影響，以致海底電纜受損而暫時以自記方式量測；隨後，在 2002 年 6 月 20 日重新更換海底電纜，即恢復即時監測之功能，惟至 12 月中旬，電纜受到雙拖網漁船拉斷，觀測再度改採自記方式；為改善測站屢經受損之風險，於 2005 年 8 月經再次會勘後，重新選定在高雄二港口紅燈塔西南側海域外約 700 公尺安裝一組 AWAC，海底電纜改沿海床鋪設；直至 2010 年 8 月辦理第三次儀器及海底電纜更新，並自 2013 年 5 月 18 日起，在原測站位址

加置一組 AWAC，但在半個月後，海底電纜即因港口擴建施工而遭工作船挖斷，再次改用自記方式量測，全系統並於 2014 年 3 月中旬完成復建，目前正常運轉中。至於潮位站與風速站，於 2003 年 6 月初始在高雄港 10 號碼頭安裝一具壓力式潮位儀及風速計，至 2010 年 11 月，辦理儀器更新，並改採二維超音波式風速計，同時，在高雄港二港口南防波堤堤頭紅燈塔，加置安裝一組二維超音波式風速計，全系統至今狀況良好，皆正常運轉中。

## 5. 臺中港

臺中港海氣象觀測站，原波浪測站，因受北防波堤延長工程開展之影響，自 2000 年 8 月 18 日即暫停觀測；至 2003 年 5 月北防波堤延長工程完成後，隨即於 2003 年 7 月 5 日，在臺中港北防波堤堤頭西北西側約 150 公尺外，水深約 25 公尺海域，建置一組挪威 NORTEK 公司生產之 AWAC；惟至 2008 年 9 月 28 日，因受大甲溪溪口颱風輸沙之影響，電纜遭沖斷且儀器被掩埋；為重建測站，乃在 2009 年 6 月 20 日，重新在北防波堤堤頭西北西側約 570 公尺外、水深 23 公尺處佈設一組 AWAC；隨後，到 2013 年 11 月 30 日，測站之即時資料傳輸即因不明原因而突然中斷，量測被迫再暫時採用自記方式；直至 2014 年 8 月中旬辦理測站復建及 AWAC 儀器更新後，全系統目前正常運轉中。至於潮位站與風速站，早在 1979 年，臺中港務局即在南內堤堤頭建置潮位站進行潮位觀測；至 1981 年 2 月 1 日後，潮位站由原先的南內堤堤頭，遷移至現在的四號碼頭，且儀器由先前的史蒂芬 A-71 型浮筒自記儀，更換為美國 HANDAR 公司的無線傳送壓力式自動感應儀；至 1999 年 10 月 18 日，臺中港務局因 921 集集大地震而重修 1~4 號碼頭，且將原潮位站拆除，並於 2001 年 3 月 31 日碼頭整修完成後，重新建置壓力式潮位儀。且在 2009 年及 2014 年分別辦理儀器更新。而風速測站，初始於 1981 年 2 月 1 日建置在臺中港北防風林內；但在 2000 年 3 月，不幸受雷擊而嚴重損壞；2001 年 6 月乃重新安置一組風速計，並在 2009 年 7 月，辦理儀器更新；自 2005 年 9 月後，為減少風速站之地形影響，

復於北防波堤堤頭白燈塔頂安裝一具風速儀，但受大風浪之影響，儀器故障頻繁，因而常需進行維修；至 2009 年 9 月後，臺中港之風速站全改採二維超音波式風速計進行風力觀測，且皆使用無線電式與 GSM 數據傳送即時觀測紀錄，迄今，全系統正常運作中。



圖 2-2 挪威 NORTEK 公司出品同時掛載有壓力計(Press.)及聲波計(AST)之超音波式波向波高與剖面海流儀(AWAC)

## 2.2 風與波浪監測紀錄匯整

### 2.2.1 風

風，是空氣自氣壓較高處向氣壓較低處流動的氣動力現象。基於地理位置及海域環境因素，臺灣四季的風，明顯會受大陸及海洋氣候型態所影響。在冬季，有來自西伯利亞的大陸冷高壓，以東北季風為主；在夏季，則有來自太平洋的海洋性高氣壓，以西南季風為主，部分期間，尚由於熱帶海洋上會發生低氣壓的漩渦或熱帶氣旋，當其近海面最大風速到達或超過每小時 62 公里(17.2 m/s)時，即為「颱風」(氣象局，2017)。冬、夏季季風及颱風之相關天氣圖及風場，參見圖 2-3。

季風，主要係因海洋與陸地間季節性溫差所導致之大尺度空氣環流，並以亞洲的南部和東部最為顯著(氣象局，2017)。

臺灣位處東亞大陸與西太平洋間，概略自每年 12 月至次年 1、2 月之冬季期間，由於陸上通常較海洋寒冷，以致陸上空氣的密度較大，氣壓較高，大量寒冷而乾燥的空氣，於是因氣壓差而起風，並自陸上

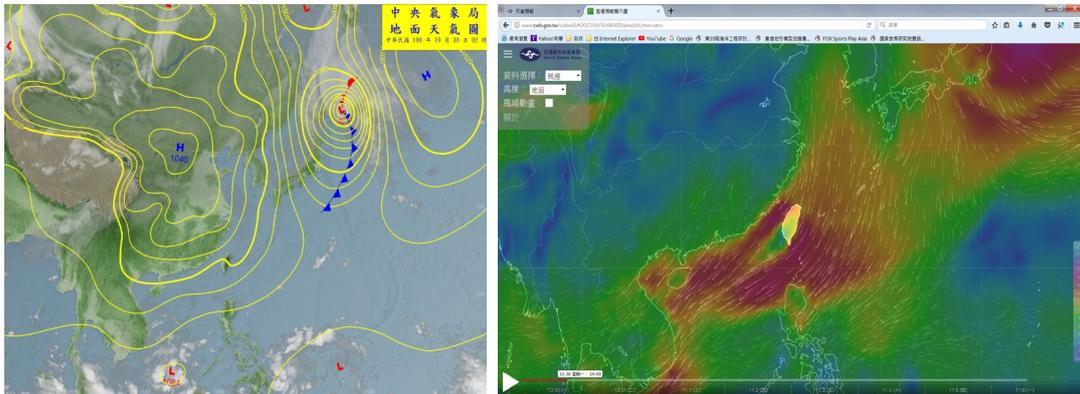
吹向海洋，外加科氏力(Coriolis force)之影響，因此，在東亞北緯 30 度以南地區，經常必需面對盛行的東北季風。相關冷高壓天氣系統圖，如圖 2-3 所示，由圖觀察可發現，受大陸冷高壓天氣系統之總體影響，當 1020 百帕等高壓線逐漸伸展至臺灣海峽北側，則臺灣海域之東北季風將逐漸盛行，風速(實測 10 分鐘平均)同時也將由弱轉趨強盛，一般風速可大於 5 級或 8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，在臺中港約可達 24.5~28.4 m/s，相當於 10 級之狂風(storm)，風力可謂十分強勁。

在夏季，概略自每年 5 月至 8 月期間，由於亞洲南部陸地溫度通常較印度洋高，風因而會從氣壓較高之海洋吹向氣壓較低之陸地，外加科氏力之偏轉效應，所以，在臺灣海峽南段海域之海氣象狀況，總體上經常會受梅雨鋒面、西南季風天氣系統，甚至颱風所影響。相關具體的天氣系統與對應之地面風場，參見圖 2-3 所示。至於西南季風之風速大小，因其主要源生於海陸間之溫差，故明確具有海陸風特性，以致平均風速普遍偏弱，通常不及 8.0 m/s，季風盛行期間，風速約可達 5 級或 8.0~10.7 m/s，但較強勁風速，鮮少會超越 10.8~13.8 m/s 或 6 級。

依據曾 等(2015)之研究報告指出：為充實海氣象資料之收集，IHMT 在臺灣 5 個國際港，皆建置有風力觀測站。對於風速、風向之觀測，早期大多採用 Young Brand 之風速計，直至 2007 年 12 月，從花蓮港開始，陸續皆更改為 Gill 三維超音波式風速計。

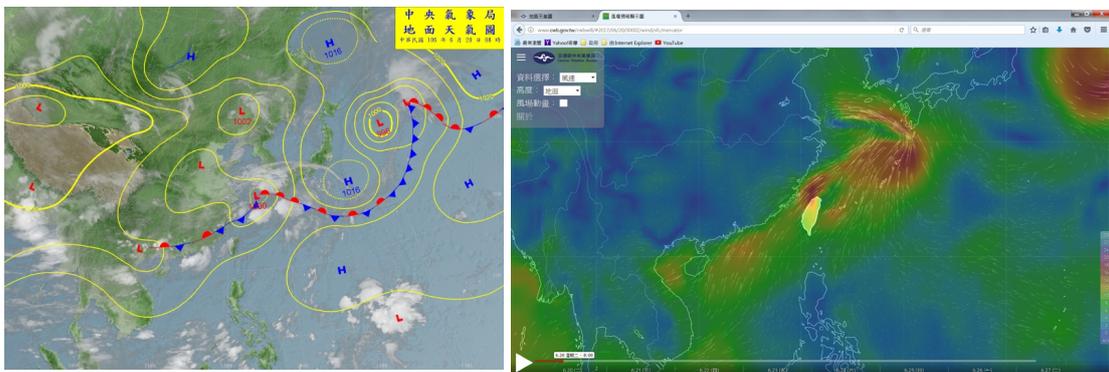
對於風速之量測，其係以 1Hz 取樣率，自每小時整點前 10 分鐘開始至整點止，取 10 分鐘紀錄之總平均為平均風速，而取 10 分鐘紀錄之最大值為最大風速。

針對臺中港北外堤風速測站，在 2015 年 12 月至 2016 年 3 月之冬季季風期間，實測之 10 分鐘平均風速與風向時序紀錄，如圖 2-4 所示。



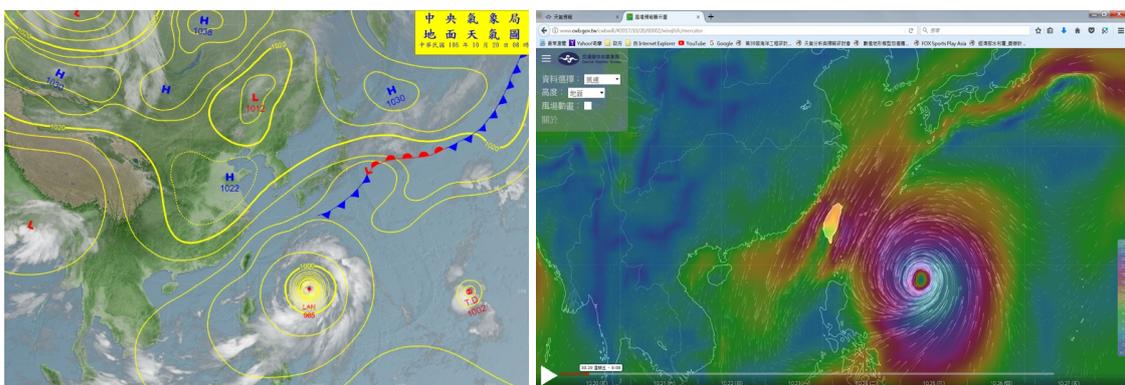
資料來源：中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>

圖 2-3 臺灣海域冬季 2017/10/30 02:00 之東北季風天氣系統(左)與地面風場(右)



資料來源：中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>

圖 2-3(續) 臺灣海域夏季 2017/06/20 08:00 之西南季風天氣系統(左)與地面風場(右)



資料來源：中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>

圖 2-3(續) 臺灣海域秋季 2017/10/20 08:00 蘭恩颱風之颱風天氣系統(左)與地面風場(右)

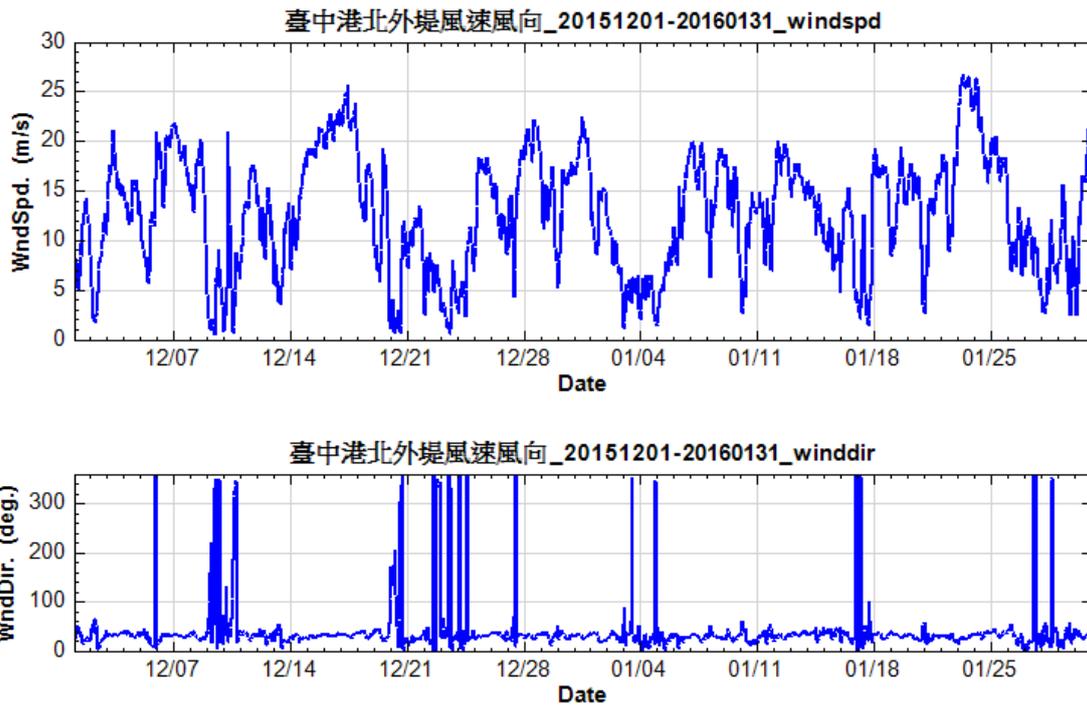


圖 2-4 臺中港北外堤風速測站在 2015 年 12 月至 2016 年 1 月冬季季風期實測之 10 分鐘平均風速(上)與風向(下)逐時序紀錄

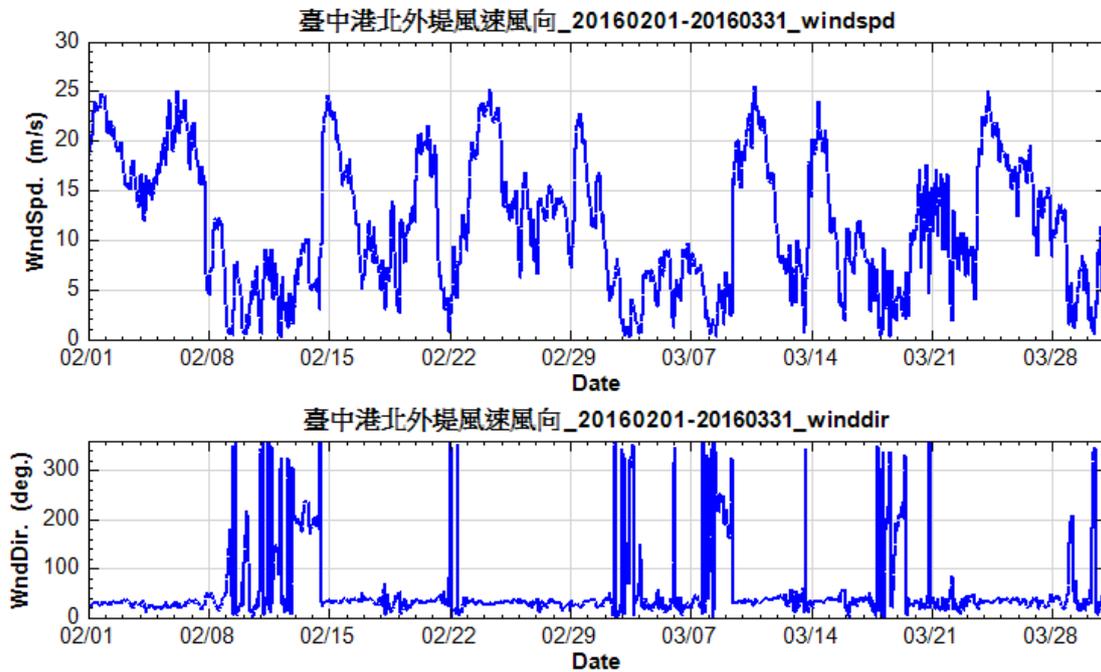


圖 2-4(續) 臺中港北外堤風速測站在 2016 年 2 月至 2016 年 3 月冬季季風期實測之 10 分鐘平均風速(上)與風向(下)逐時序紀錄

## 2.2.2 波浪

依據曾 等(2015)之研究報告指出：國內 5 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 公司出品同時掛載有聲波計(AST)與壓力計(Press.)之超音波式波向波高與剖面海流儀(AWAC)，如圖 2-2 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，從每小時第 10 分鐘開始，逐時施測 2048 筆紀錄。

由於 AWAC 同時掛載有聲波計(AST)與壓力計(Press.)，故波動紀錄因而有波壓(dBar)及海面水位高度(m)等二種類型。以蘇澳港為例，於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間，以 AWAC 壓力計及聲波計實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀錄，經整理可得如圖 2-5 所示；而在 8 月至 10 月含括颱風與季風期間，以 AWAC 壓力計及聲波計實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀錄，經統整可得如圖 2-6 所示。至於在花蓮港，於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風及天鵝颱風影響期間，以 AWAC 壓力計及聲波計實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀錄，經統整可得如圖 2-7 所示。

在 IHMT 既有建置之海氣象長期觀測與展示系統上，波浪逐時之監測紀錄，經儀器自身之分析及後處理功能，可直接陳現示性波高( $H_s$ )、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。其中，波浪之尖峰週期( $T_p$ )或尖峰頻率( $f_p$ )，因其係指波浪頻譜中，對應具有最大波能成分之週期或頻率，故可較準確地應用於辨識長浪之顯著性，所以，在 IHMT 既有之波浪監測與傳輸展示系統中，波浪係以示性波高( $H_s$ )及及尖峰週期( $T_p$ )陳現監測特性，如圖 2-8 所示。至於，同時間之風、浪監測特性陳現，則如圖 2-9 所示。

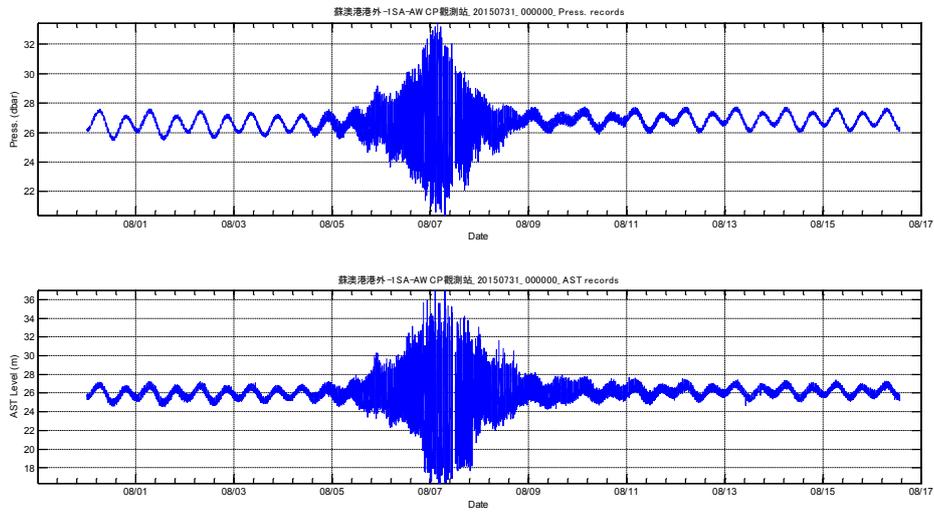


圖 2-5 蘇澳港在 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間以 AWAC 壓力計 (Press.\_上)及聲波計(AST\_下)實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀錄(上)

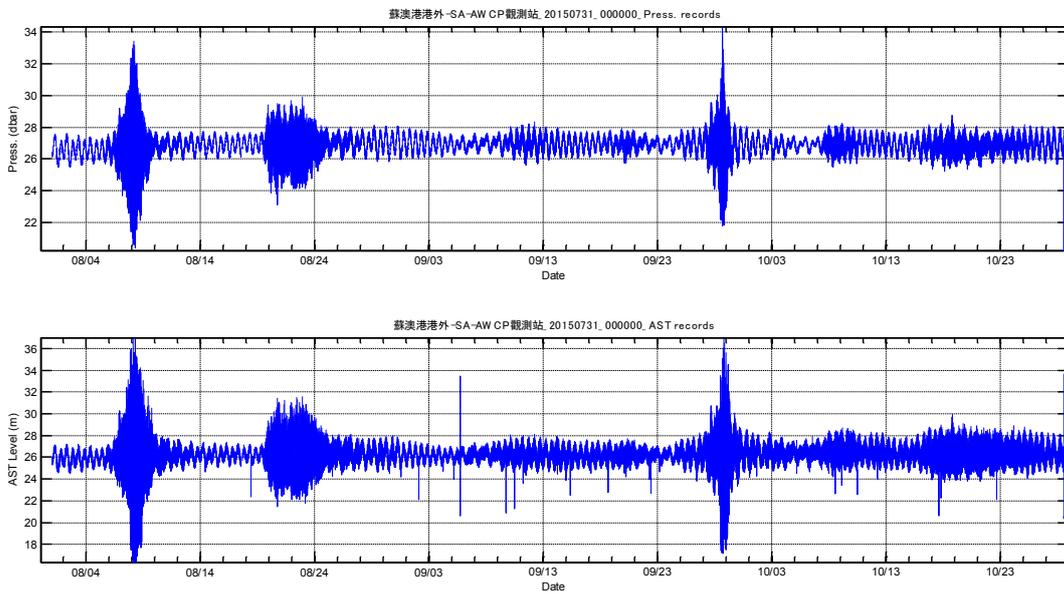


圖 2-6 蘇澳港在 2015 年 8 至 10 月包括颱風與季風期間以 AWAC 壓力計 (Press.\_上)及聲波計(AST\_下)實測波浪之原始 1 Hz 分時時序紀錄

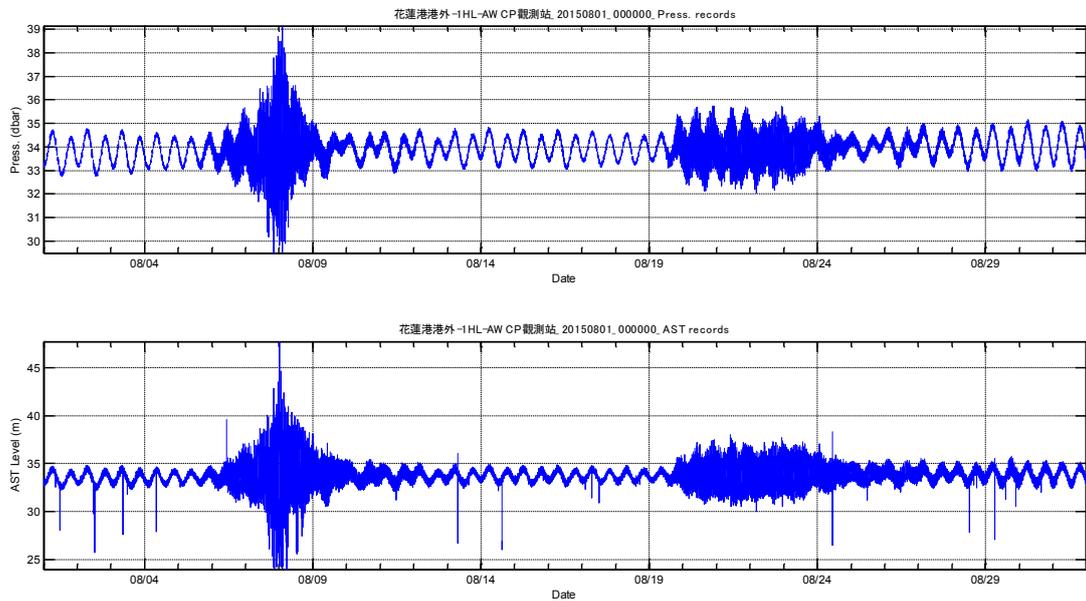


圖 2-7 花蓮港在 2015 年 8 月含括蘇迪勒颱風及天鵝颱風影響期間以 AWAC 壓力計(Press.\_上)及聲波計(AST\_下)實測波浪之原始 1 Hz 分時  
時序紀錄

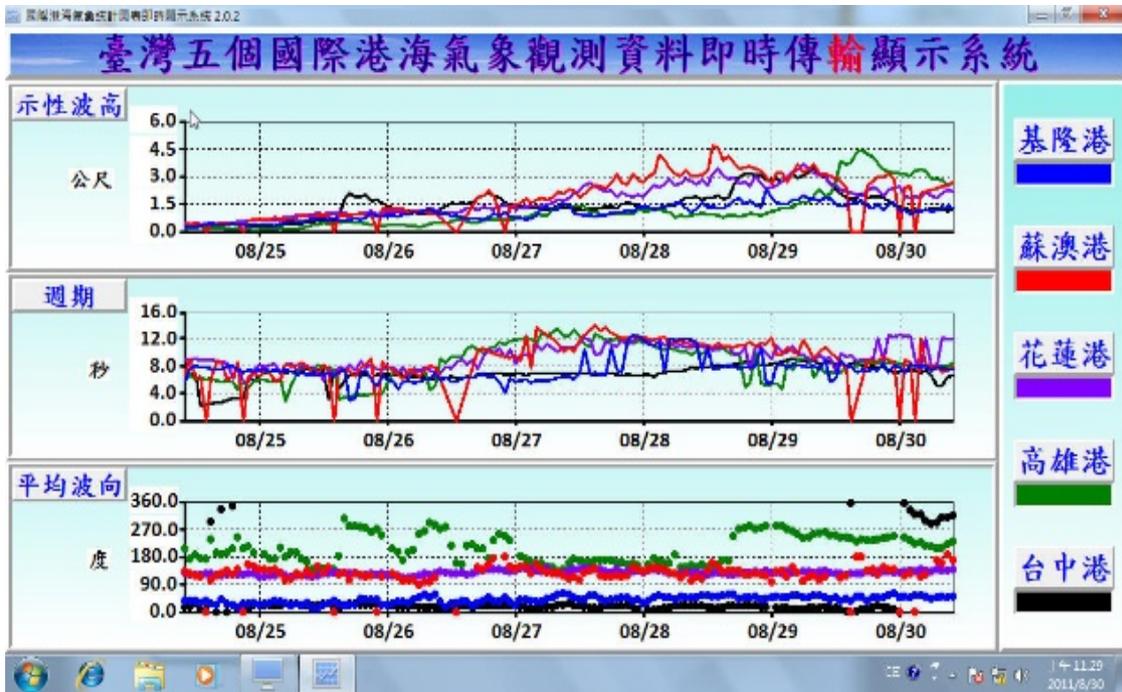


圖 2-8 以 示性波高( $H_s$ )及尖峰週期( $T_p$ )陳現 5 個國際港波浪監測特性之  
IHMT 既有海氣象展示系統

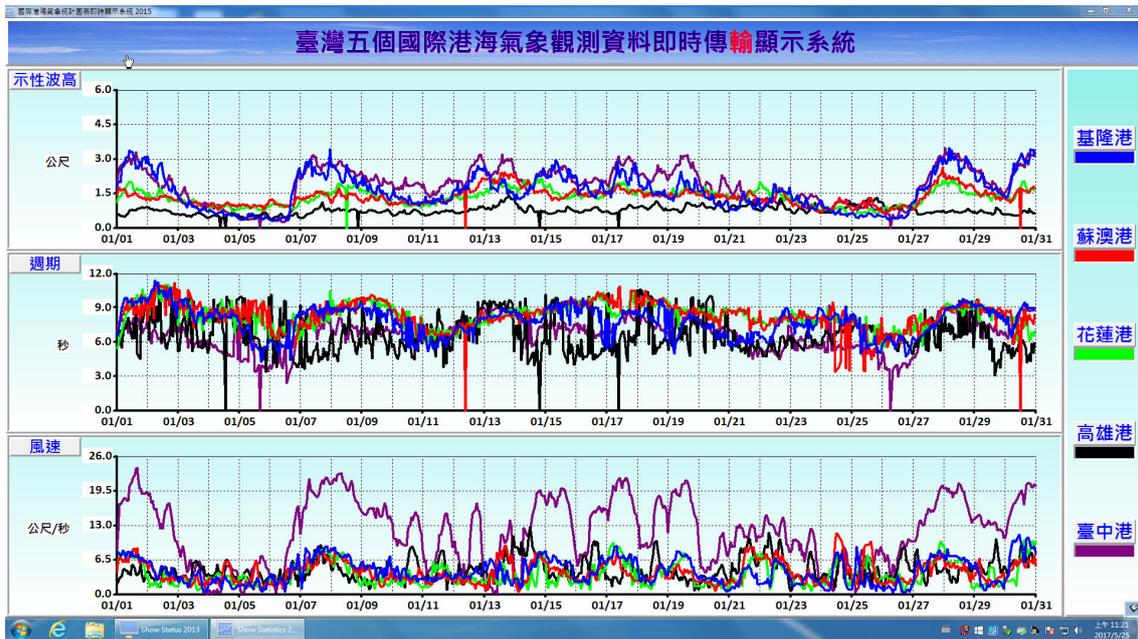


圖 2-9 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港冬季(2015 年 1 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統

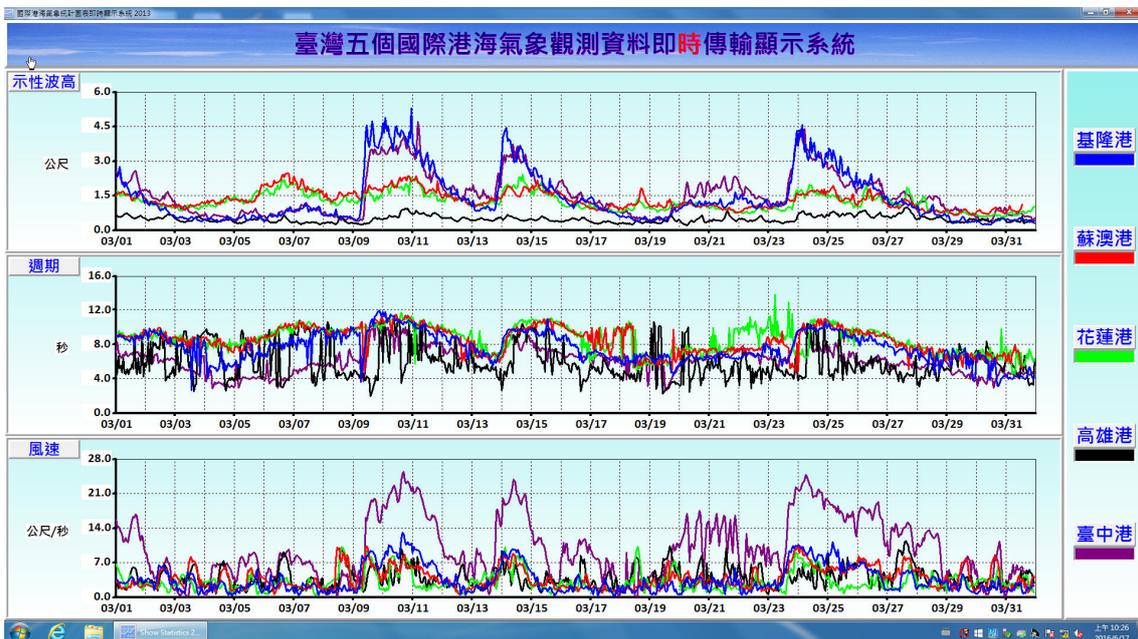


圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港冬季(2016 年 3 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統

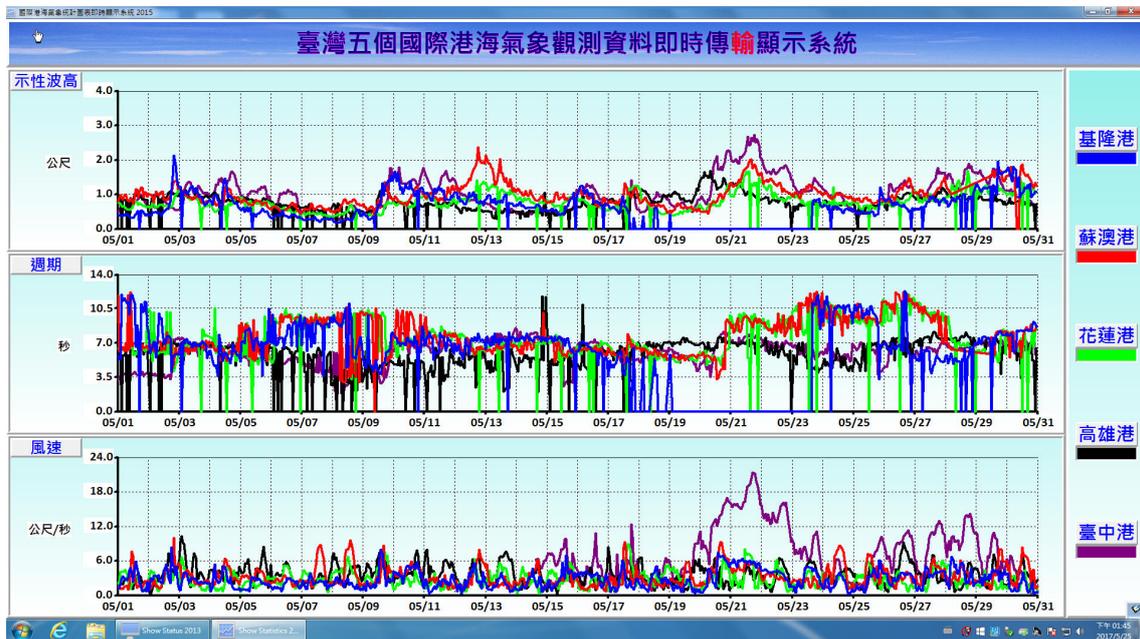


圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季(2012 年 5 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統

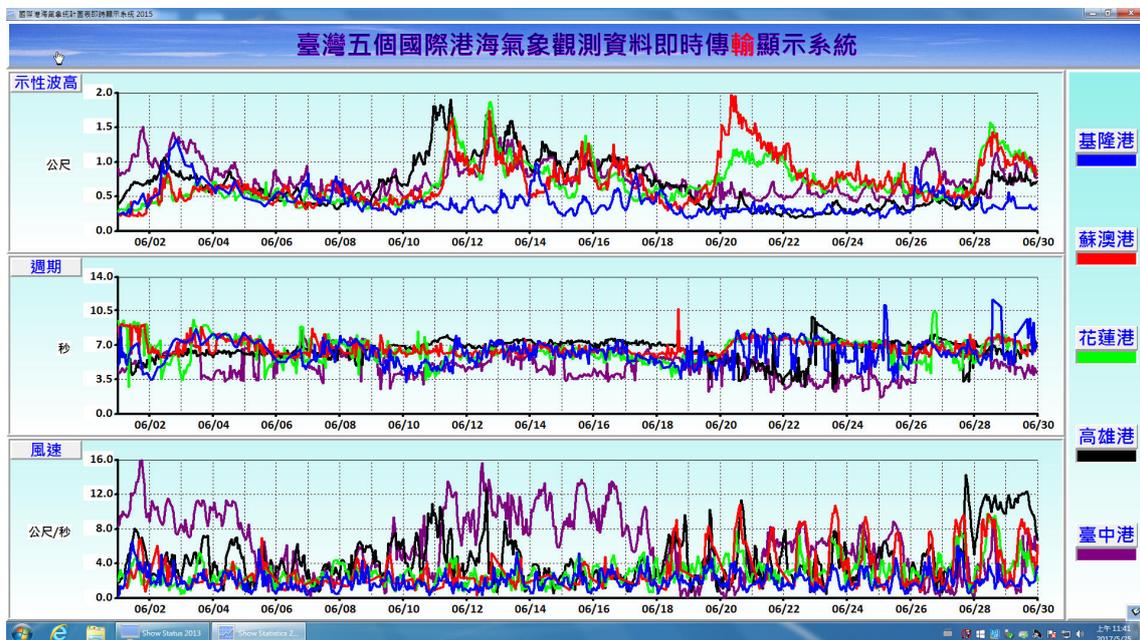


圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季(2016 年 6 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統

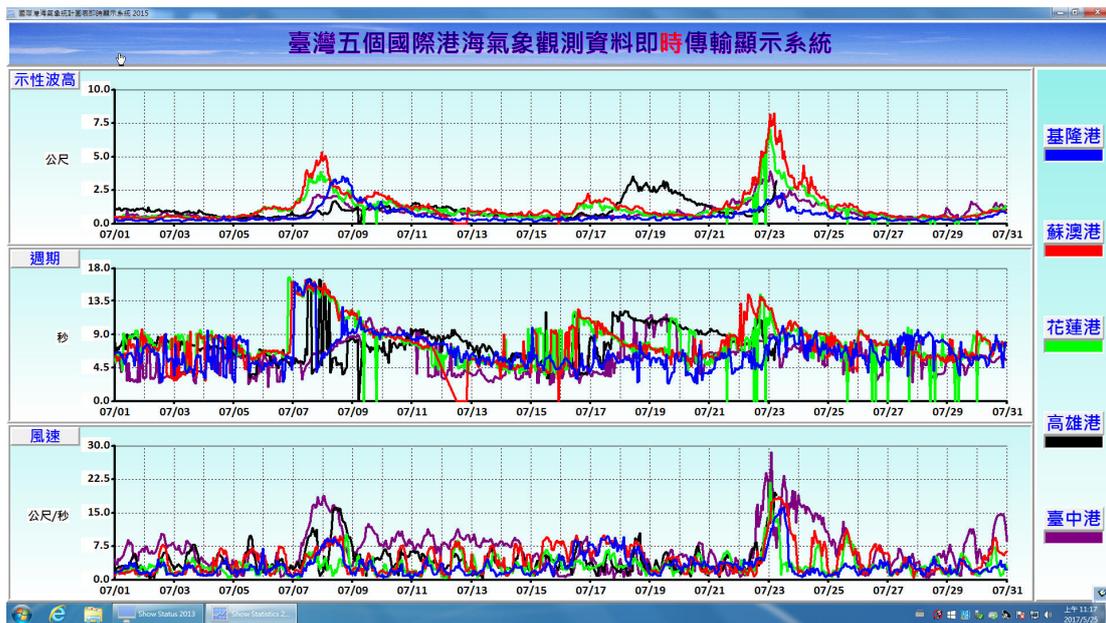


圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季颱風(2014 年 7 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統

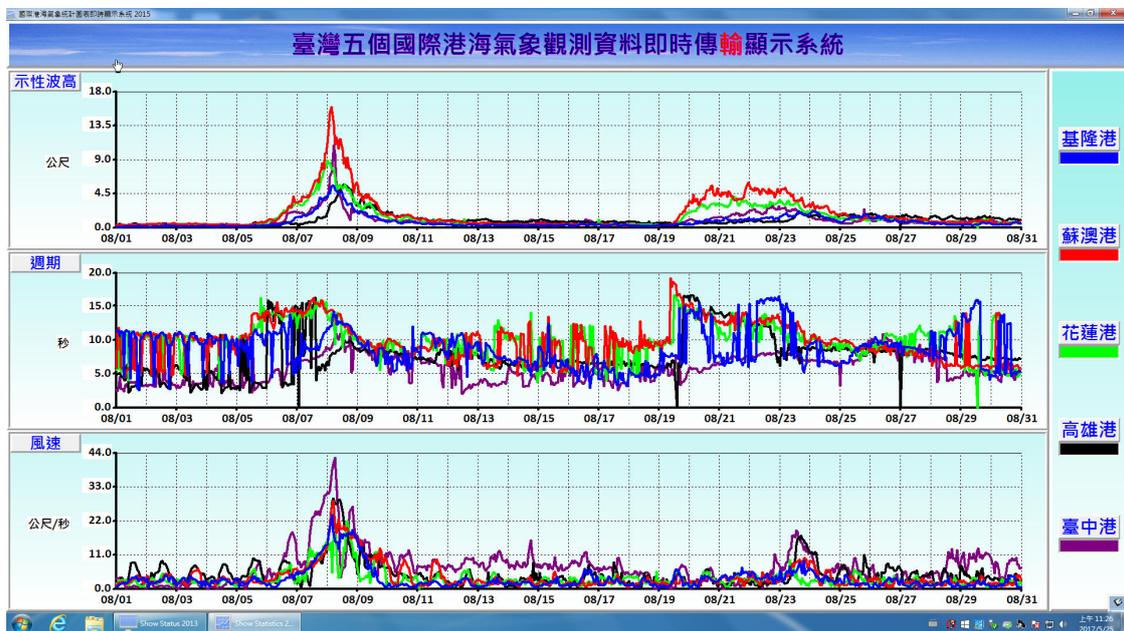


圖 2-9(續) 以示性波高(上)與尖峰週期(中)及 10 分鐘平均風速(下)同時陳現 5 個國際港夏季颱風(2016 年 8 月)風浪特性之 IHMT 海氣象展示系統

## 2.3 波壓紀錄之轉換處理

AWAC 掛載有聲波計(AST)與壓力計(Press.)，波動紀錄因而具有波壓(dBar)及水面高度(m)型式，而依據微小振幅波理論，對於安置在海床上，水深為 $h$ 之壓力計而言，其由海面週期為 $T$ 、波長為 $L$ 之海面微小振幅波動 $\eta$ 所造成之動壓 $P_D$ ，當 $h/L \leq 1/2$ ，或其水深\_波長比值不滿足深水波條件下，兩者間將具有線性關係(郭，2001)，並可藉轉換函數(transfer function)  $K_D$  表示為：

$$\frac{P_D}{\gamma} = K_D \cdot \eta \dots\dots\dots(1)$$

式中， $\gamma = \rho \cdot g$  為海水比重， $\rho$  為海水密度， $g$  為重力加速度； $K_D = \frac{1}{\cosh kh}$ ； $k = \frac{2\pi}{L}$  為表面波動之週波數；且 $kh$  滿足下列之波動分散關係式：

$$\frac{\sigma^2 h}{g} = kh \cdot \tanh kh \dots\dots\dots(2)$$

而若水深\_波長比值滿足深水波條件下，即當 $h/L \geq 1/2$ ，則理論上，海面波動 $\eta$ 將不會在底床上衍生波動壓 $P_D$ ，換言之，無論海面波動 $\eta$ 之大小，波動壓皆應甚微小，甚且 $P_D = 0$ ，亦即兩者間不復存在線性轉換關係，或可直接將式(1)中之波壓轉換函數 $K_D$ ，直接令其值為1。

綜合上述，當 AWAC 佈置於水深為 $h$ 之海床上，則週期為 $T$ 、波長為 $L$ 之海面微小振幅波動 $\eta$ ，其與衍生動壓 $P_D$ 之線性轉換關係，可統整並以式(1)表示，且兩者間之轉換函數 $K_D$ ，可依下式換算：

$$K_D = \begin{cases} 1/\cosh kh & \frac{h}{L} \leq \frac{1}{2} \\ 1 & \frac{h}{L} > \frac{1}{2} \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

又為波浪頻譜之有效頻段界定，也為波譜逆轉換之需要，令對應於週期  $T$  之波浪頻率  $f=1/T$ ，則在深水波條件下，因  $L = gT^2/2\pi$ ，以致有  $\frac{h}{L} = 2\pi h/gT^2$ ，所以，對應  $\frac{h}{L} \leq \frac{1}{2}$  之界定頻率  $f_c$ ，可進一步表示為

$$f_c^2 \left( = \frac{1}{T_c^2} \right) = \frac{g}{4\pi h} \dots\dots\dots (4)$$

或

$$f_c = \sqrt{\frac{0.78}{h}} \dots\dots\dots (5)$$

且式(4)可改寫為

$$K_D = \begin{cases} 1/\cosh kh & f \leq f_c (= \sqrt{\frac{0.78}{h}}) \\ 1 & \text{else} \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

從式(5)及式(6)觀察可見，波動壓力與海面水位頻譜(amplitude spectrum)間之轉換函數  $K_D$  及其界定頻率  $f_c$ ，明顯均與式(2)或底床水深  $h$  及波動頻率  $f$  (週期或波長)相關。因此，依據式(1)及式(6)，當  $h=25$  m (~蘇澳港海象測站水深)，可計算  $f_c = 0.1766$ ；而當  $h=33$  m (~花蓮港海象測站水深)，則  $f_c = 0.1537$ 。

為進一步校驗式(5)所示界定頻率( $f_c$ )之有效性，分別檢選蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 00 時及花蓮港 2015 年 8 月 7 日 12 時 AWAC 之原始 1Hz 分時壓力實測紀錄，並應用 20 分鐘窗寬(window width)之中央移動平均法(CMA)，先行去除潮汐效應，接著應用傅立葉轉換(Fourier Transform)計算壓力波譜，再使用式(6)之波動轉換函數，將其轉換為海面波動水位頻譜，然後，再與同樣經去潮處理後之 AWAC 原始 1Hz 分時聲波實測紀錄的海面波動水位頻譜作比對，因而可得壓力計及聲波計波動水位頻譜之相關係數( $r$ )，在蘇澳港可達 0.936；而在花蓮港可達 0.941，如圖 2-10 所示。

進一步以圖 2-10 所示之壓力及聲波水位頻譜為基礎，配合界定頻率( $f_c$ )，再透過逆傅立葉轉換(Inverse Fourier Transform)，因而可將水位頻譜再逆轉換為分時海面波動水位之時序紀錄，然後，即可再與聲波計原始 1 Hz 之分時海面實測波動水位紀錄作分時比對，並作相關係數( $r$ )之檢核(張 等，2018)，結果分別如圖 2-11 及圖 2-12 所示。

觀察圖 2-11 所示之分時波動水位時序紀錄比對及圖 2-12 所示之相關係數檢核結果可發現，只要聲波計原始分時海面實測波動水位紀錄不具有太大變異，則其相關係數普遍甚高，故分時比對結果亦甚佳。此外，若用理論之非深水波限界條件( $h/L \leq 1/2$ )，則因  $f_c = 0.1537$ ，其轉換後之訊號吻合度，明顯不如應用  $f_c = 0.18$ 。為此，經檢討非深水波限界條件，並較寬鬆地將其設定為  $h/L \leq 1/1.5$ ，則仿照式(4)或式(5)之估算，可得  $f_c = \sqrt{1/h} \sim 0.1741$ ，這與測試花蓮之較佳  $f_c \leq 0.18$  甚相近似。因此，式(6)所示之線性轉換係數，在實務上，似乎可直接採用  $f_c = \sqrt{1/h}$  作為非深水波限界條件之界定頻率，且週期為  $T$ 、波長為  $L$  之海面微小振幅波動  $\eta$  與動壓  $P_D$  間之線性轉換函數，可更簡潔地修訂為

$$K_D = \begin{cases} 1/\cosh kh & f \leq f_c (= \sqrt{1/h}) \\ 1 & \text{else} \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

應用式(8)之界定頻率及波壓與海面波動水位間之轉換函數，則蘇澳港及花蓮港於 2015 年 8 至 10 月含括颱風與季風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)，可經壓力轉換與經去除潮汐影響而統整其海面波動水位時序，如圖 2-13 所示。

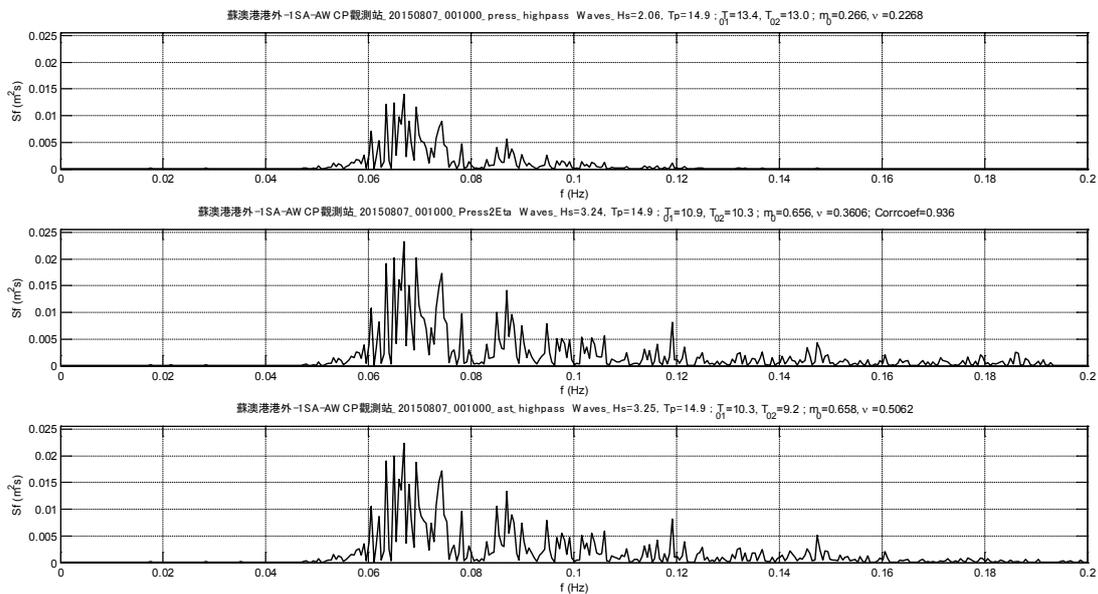


圖 2-10 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 00 時以 AWAC 壓力計原始 1 Hz 分時實測紀錄作傅立葉轉換後之壓力頻譜(上)及其應用界定頻率並經波動轉換函數後之轉換水位頻譜(中)與聲波計水位頻譜(下)之對照比較

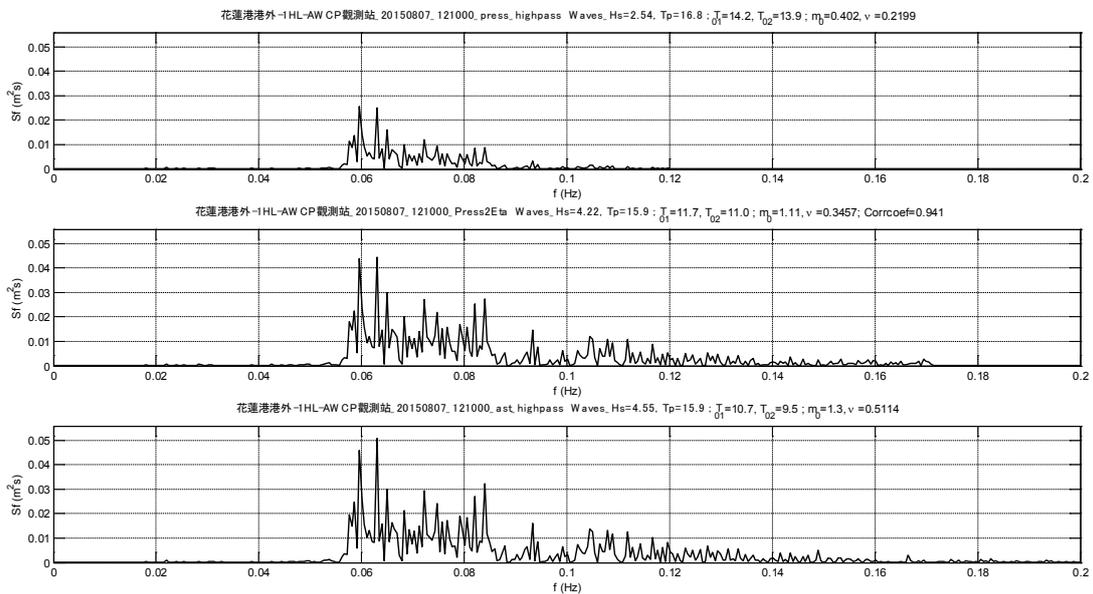


圖 2-10(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 12 時以 AWAC 壓力計原始 1 Hz 分時實測紀錄作傅立葉轉換後之壓力頻譜(上)及其應用界定頻率並經波動轉換函數後之轉換水位頻譜(中)與聲波計水位頻譜(下)之對照比較

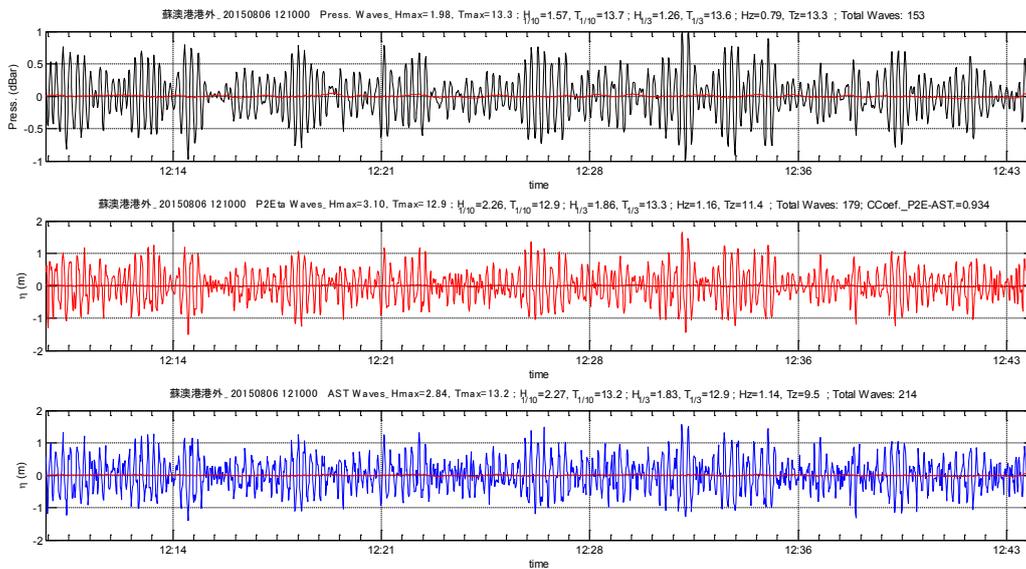


圖 2-11 蘇澳港 2015 年 8 月 6 日 12 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.934)

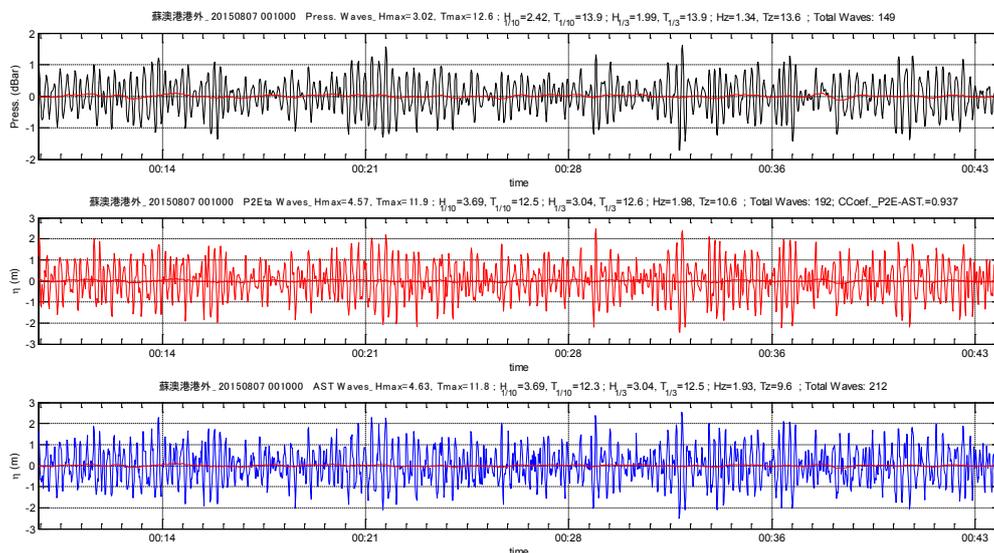


圖 2-11(續) 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 00 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.937)

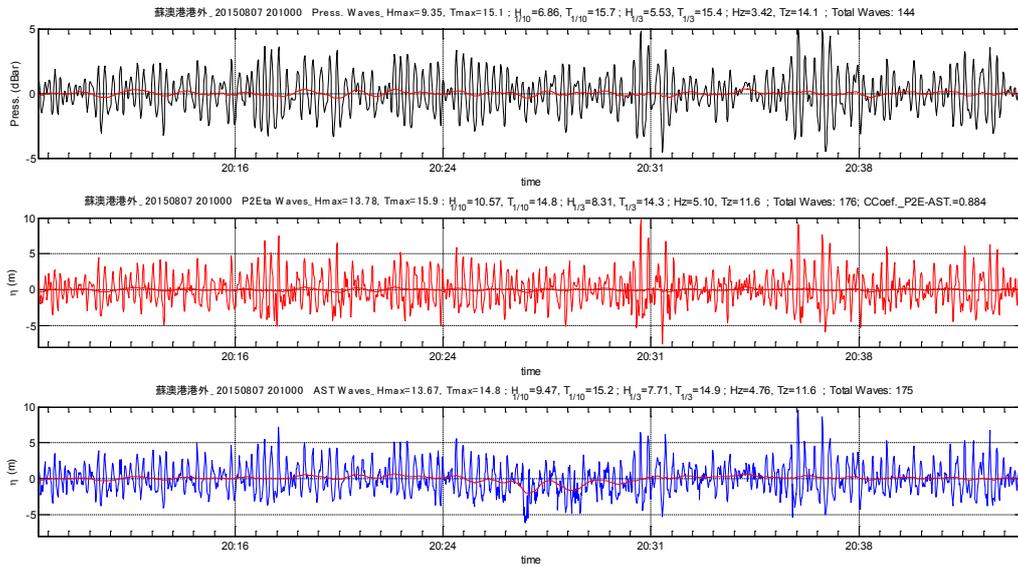


圖 2-11(續) 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 20 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.884)

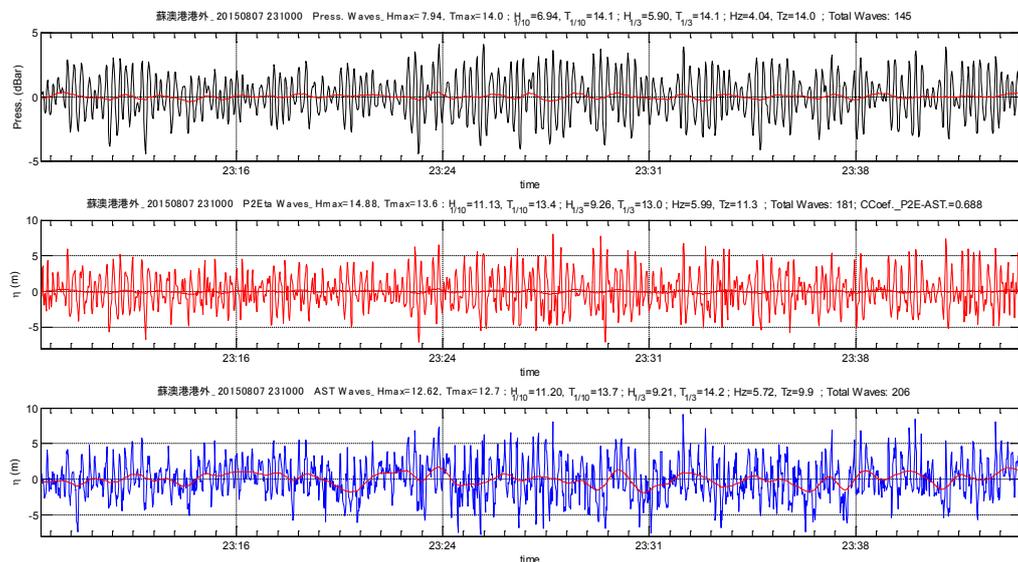


圖 2-11(續) 蘇澳港 2015 年 8 月 7 日 23 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.688)

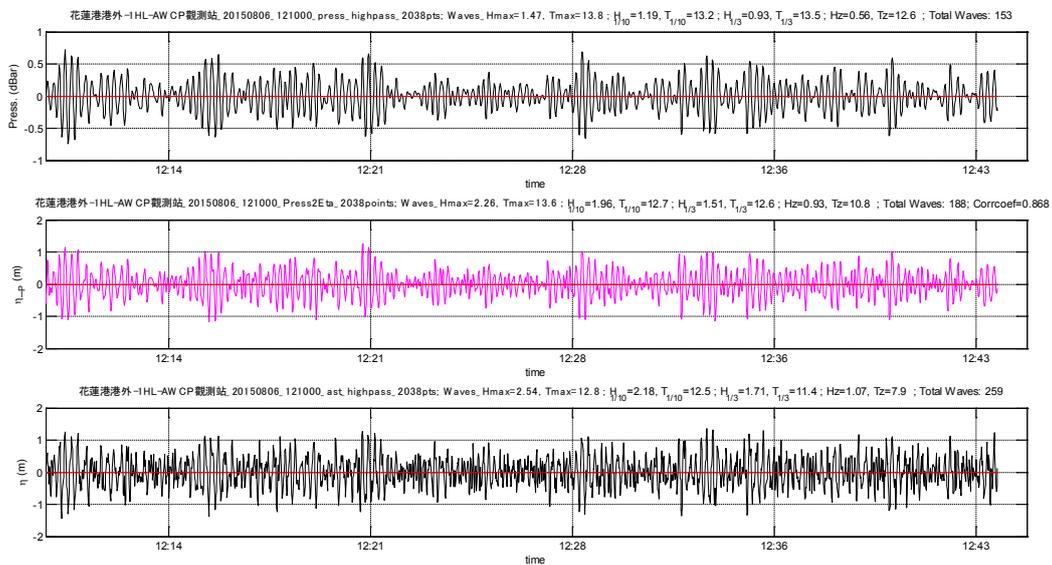


圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 6 日 12 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.868)

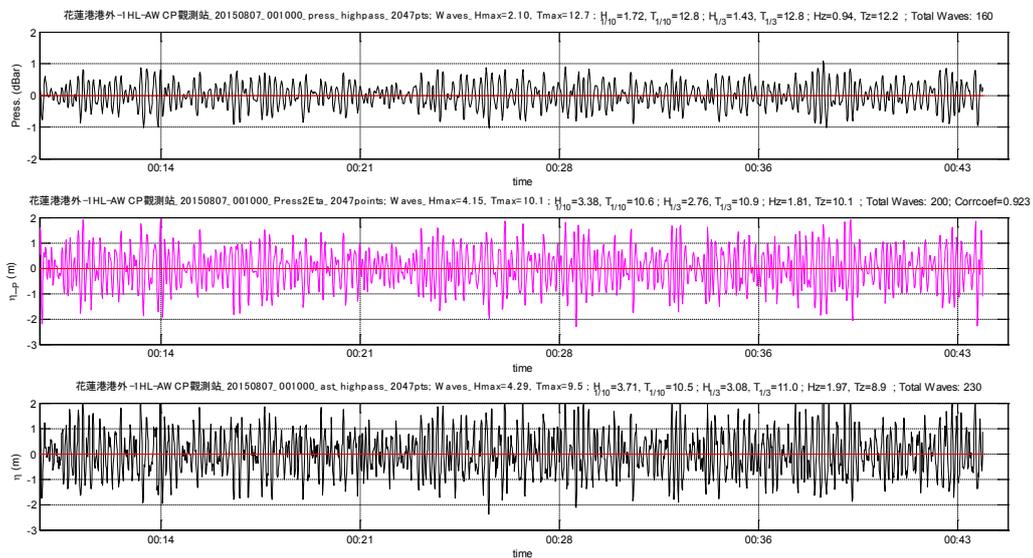


圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 00 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.923)

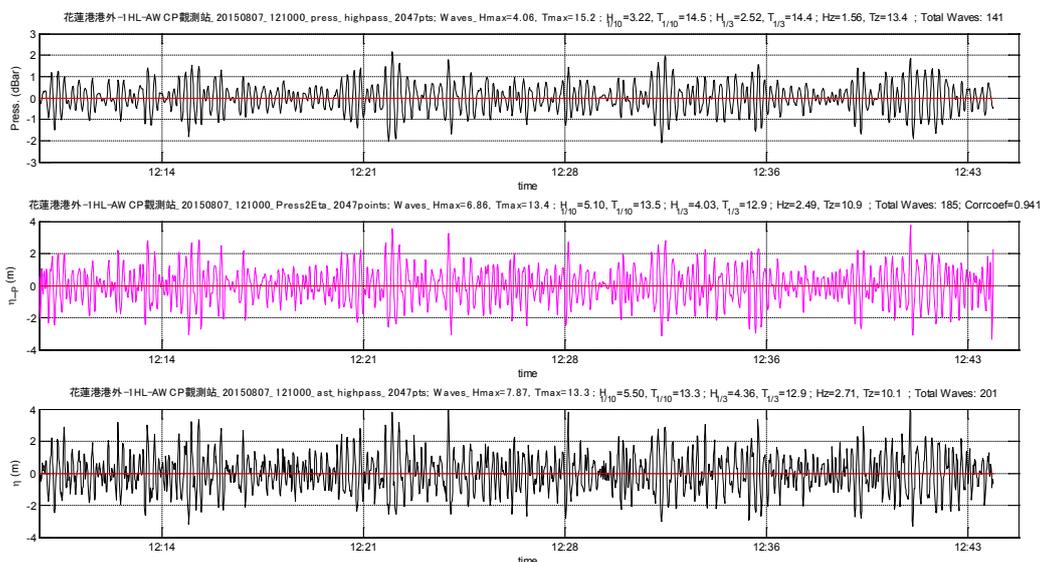


圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 12 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.941)

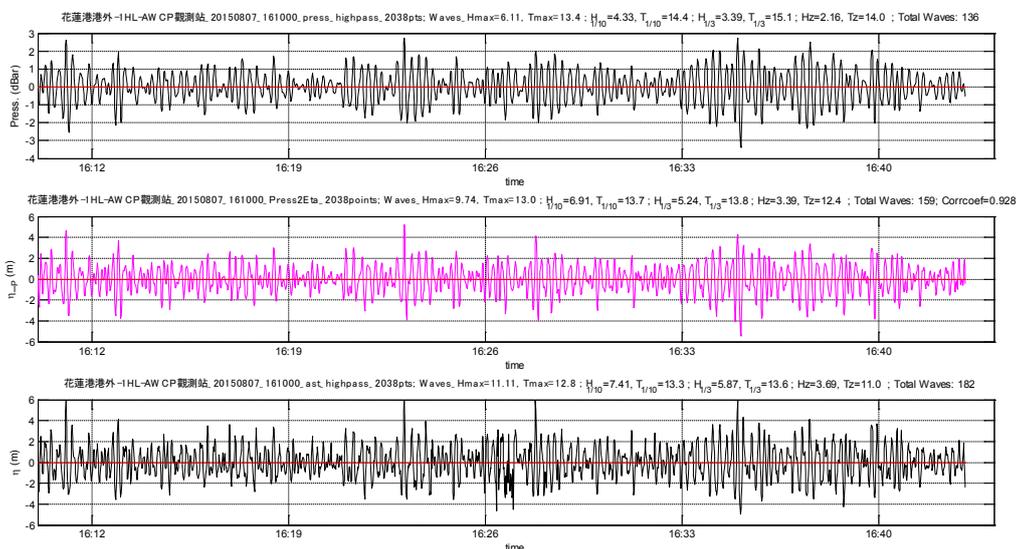


圖 2-11(續) 花蓮港 2015 年 8 月 7 日 16 時以 AWAC 監測波浪之原始 1Hz 壓力時序紀錄(上)及其經轉換後之水位時序紀錄(中)與原始聲波水位時序紀錄(下)之對照比較(相關係數達 0.928)

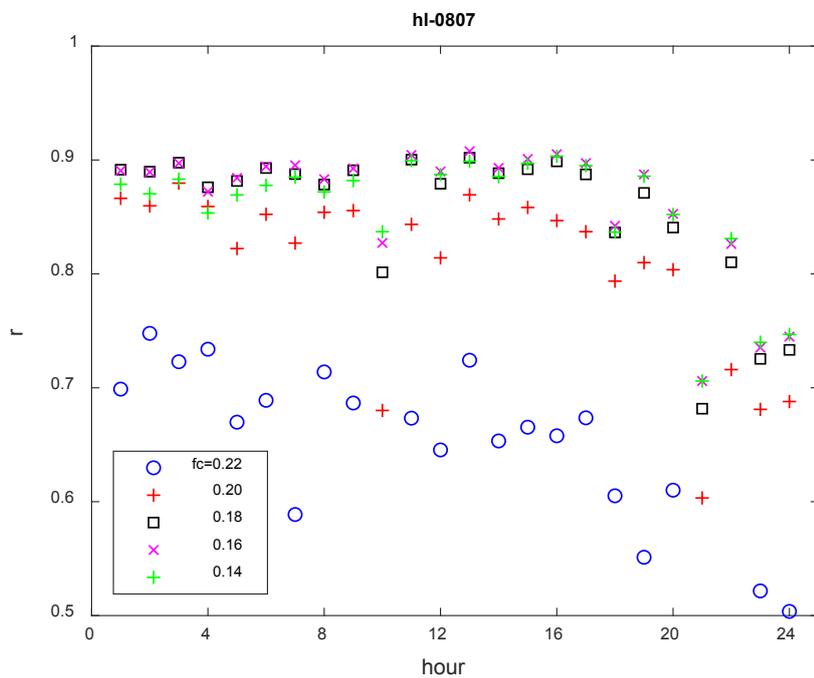
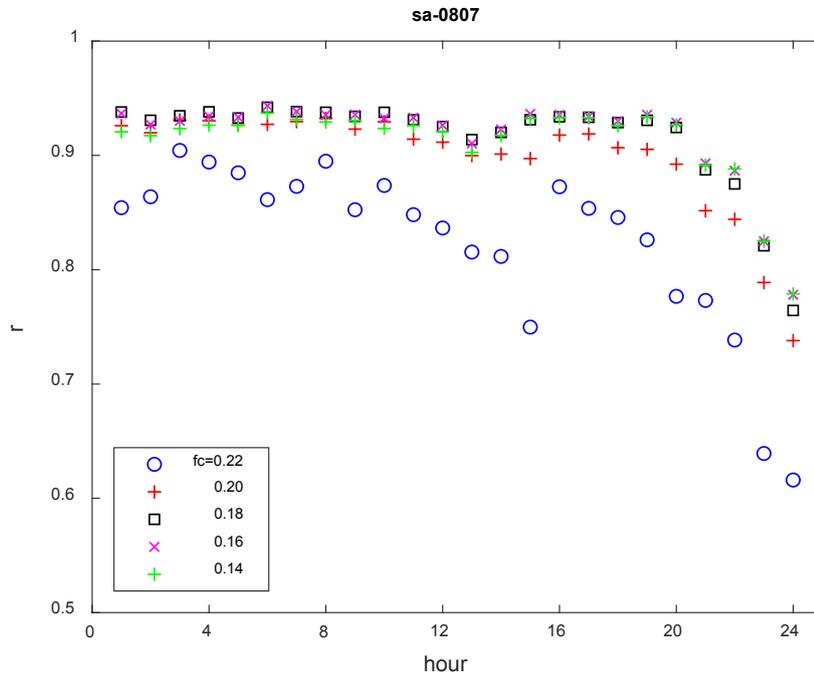


圖 2-12 將 2015 年 8 月 7 日 AWAC 聲波計原始分時實測紀錄與蘇澳港(上)及花蓮港(下)經應用不同界定頻率與逆傅立葉轉換壓力計紀錄為海面水位時序之相關係數檢核比對

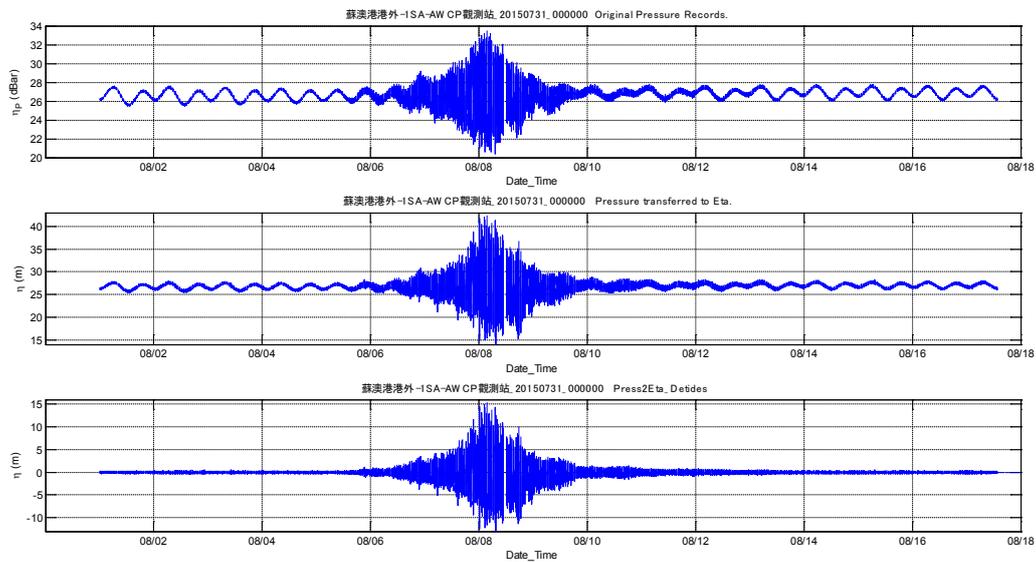


圖 2-13 蘇澳港於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整

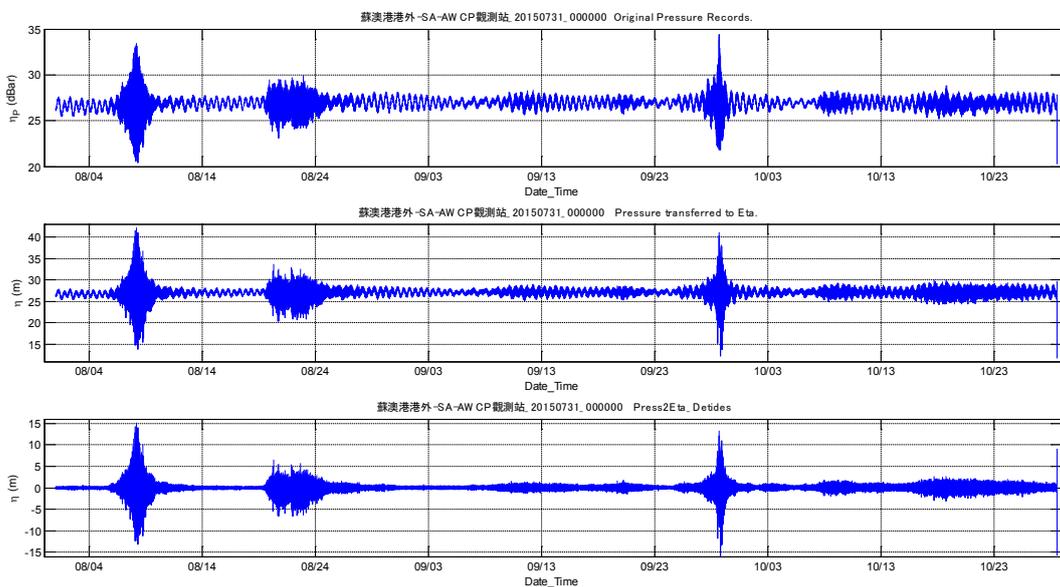


圖 2-13(續) 蘇澳港於 2015 年 8 至 10 月含括颱風與季風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整

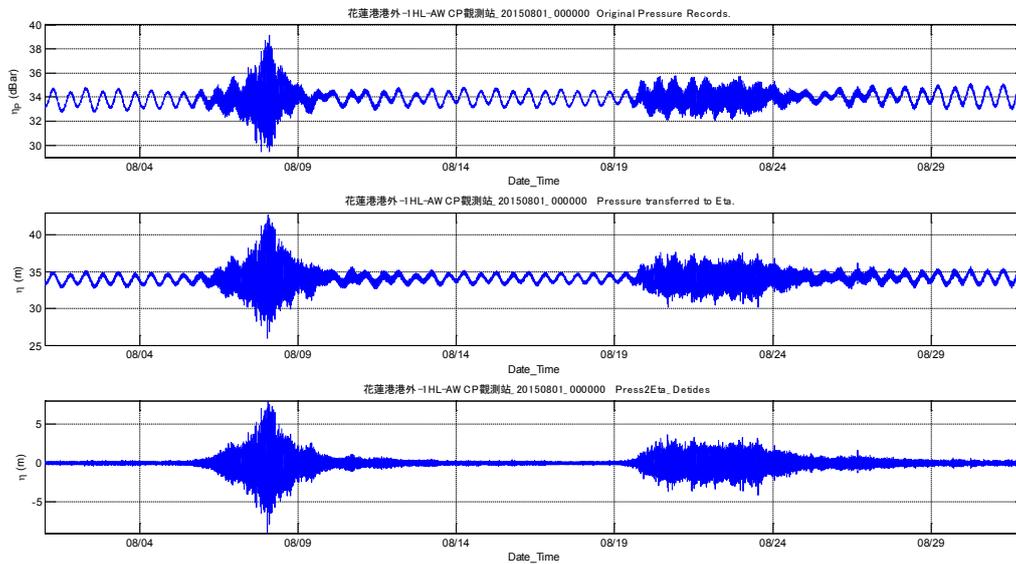


圖 2-13(續) 花蓮港於 2015 年 8 月含括蘇迪勒颱風與天鵝颱風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整

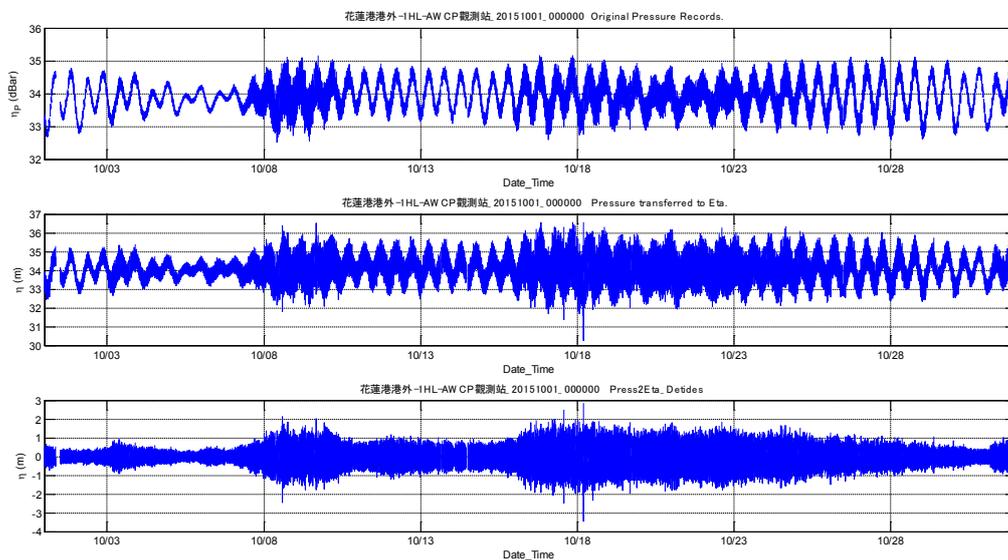


圖 2-13(續) 花蓮港於 2015 年 10 月含括颱風與季風期間以 AWAC 壓力計實測波動之原始 1Hz 分時紀錄(上)及其經壓力轉換(中)與經去除潮汐影響(下)之海面水位時序統整

## 2.4 風浪監測與分析資料之檢選

以 AWAC 之聲波計及壓力計監測波浪，由於聲波紀錄不僅常會有不可預期之訊號突衝(spike)發生，參見圖 2-6，且在較惡劣海氣象條件下，尚會受強風及大波高衍生之紊亂氣泡與儀器分層深度(cell size)參數設定之影響而產生紀錄截底情形，如圖 2-14 所示。因此，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，參見圖 2-11 及圖 2-12，又考量壓力紀錄對陳現長波之先天優越性與訊號之穩定性後，關於風浪之各項監測與分析資料之應用，實際皆可檢選壓力計經轉換後之水位時序紀錄或其分時之波譜與個別波統計分析結果為依據。

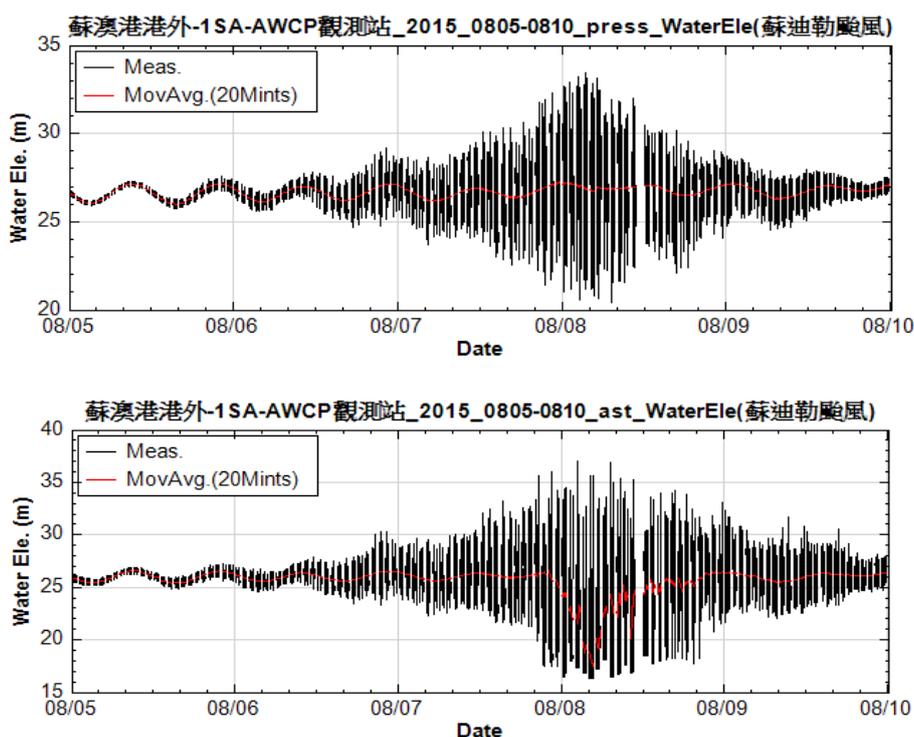


圖 2-14 蘇澳港外於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間以壓力計(上)及聲波計(下)監測波浪之原始 1Hz 逐時波動紀錄與聲波紀錄在大波高期間發生之截底情形

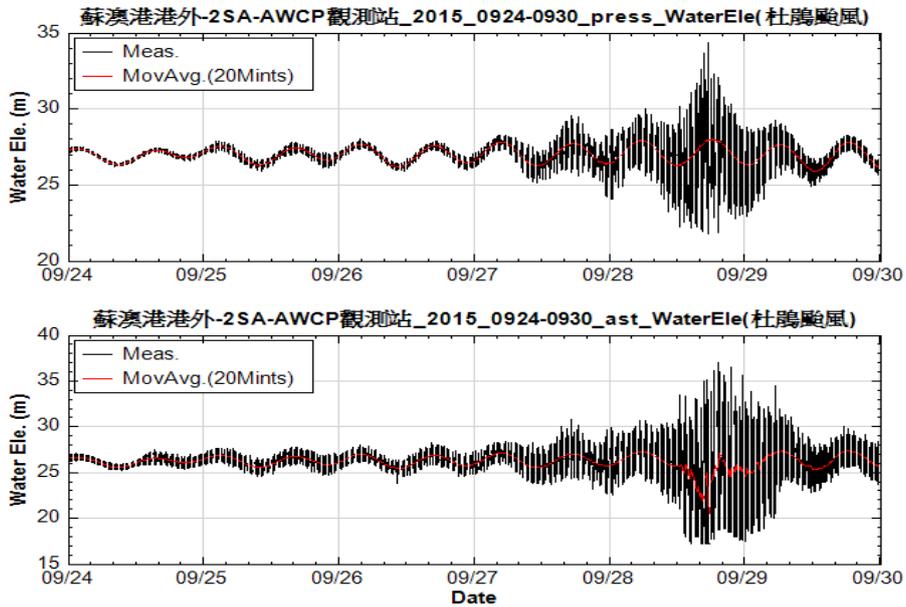


圖 2-14(續) 蘇澳港外於 2015 年 9 月杜鵑颱風影響期間以壓力計(上)及聲波計(下)監測波浪之原始 1Hz 逐時波動紀錄與聲波紀錄在大波高期間發生之截底情形

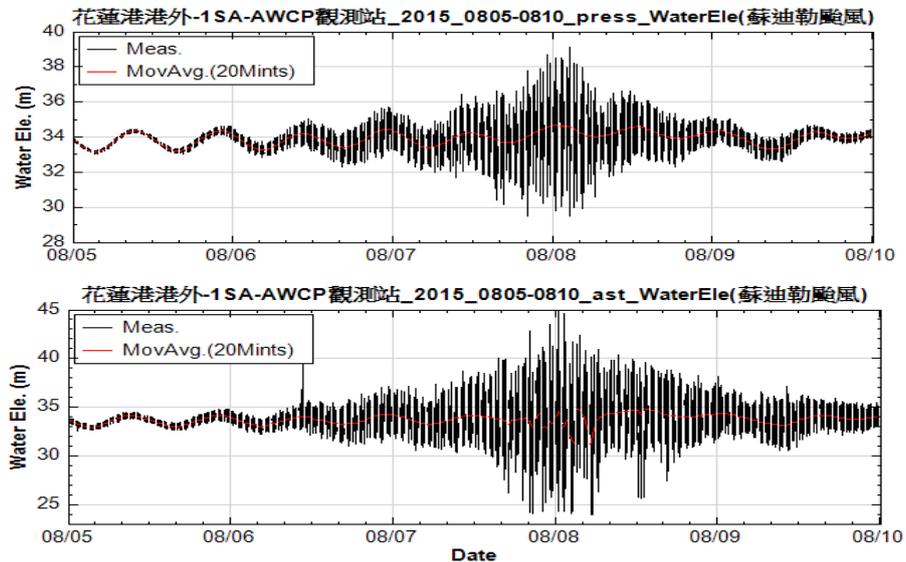


圖 2-14(續) 花蓮港外於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風影響期間以壓力計(上)及聲波計(下)監測波浪之原始 1Hz 逐時波動紀錄與聲波紀錄在大波高期間發生之截底情形



## 第三章 颱風波浪特性分析

### 3.1 臺灣近海之颱風長浪監測

臺灣近海之波浪監測，在交通部運輸研究所港灣技術研究中心(IHMT)統合建置之國內五大商港海氣象即時監測與傳輸顯示系統中，近年皆採用挪威 NORTEK 公司出品之之超音波式波向波高與剖面海流儀(AWAC)，同時掛載壓力計，長期連續地進行監測(曾 等，2015)。

目前，波浪監測係從每小時第十分鐘開始，以 1 Hz 之取樣率，逐序施測 2048 筆紀錄。監測所得之原始 1 Hz 分時紀錄，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( $H_{max}$ )、有義波高或 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。其中，波浪之尖峰週期( $T_p$ )或尖峰頻率( $f_p$ )，因其係指波浪頻譜中，具有最大波能成分所對應之週期或頻率，故可較準確地應用於辨識長浪之顯著性，所以，在 IHMT 既有之波浪監測與傳輸顯示系統中(曾 等，2015)，係以示性波高( $H_s$ )及及尖峰週期( $T_p$ )，陳現監測波浪之特性。颱風盛行期間，相關分月逐時之風、浪監測特性，如圖 3-1 所示。

配合中央氣象局颱風資料庫(<http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/typhoon>)之歷史颱風資訊，並自 IHMT 國內五大商港海氣象即時監測與傳輸顯示系統中，檢選 2013 年 7 月發布海陸颱風警報之第 7 號強烈颱風\_蘇力(SOULIK)、2013 年 11 月無颱風警報之第 30 號颱風\_海燕(HAIYAN)、2014 年 7 月無颱風警報之第 8 號颱風\_浣熊(NEOGURI)、2015 年 3 月無颱風警報之第 4 號颱風\_梅沙(MAYSAK)、2015 年 5 月發布海上颱風警報之第 6 號強烈颱風\_紅霞(NOUL)及未發布海上颱風警報之第 7 號輕度颱風\_白海豚(DOLPHIN)，進而可彙整各颱風期間監測波浪之示性波高與尖峰週期及十分鐘平均風速之逐時變化或演化歷程，分別如圖 3-2 至圖 3-7 所示。

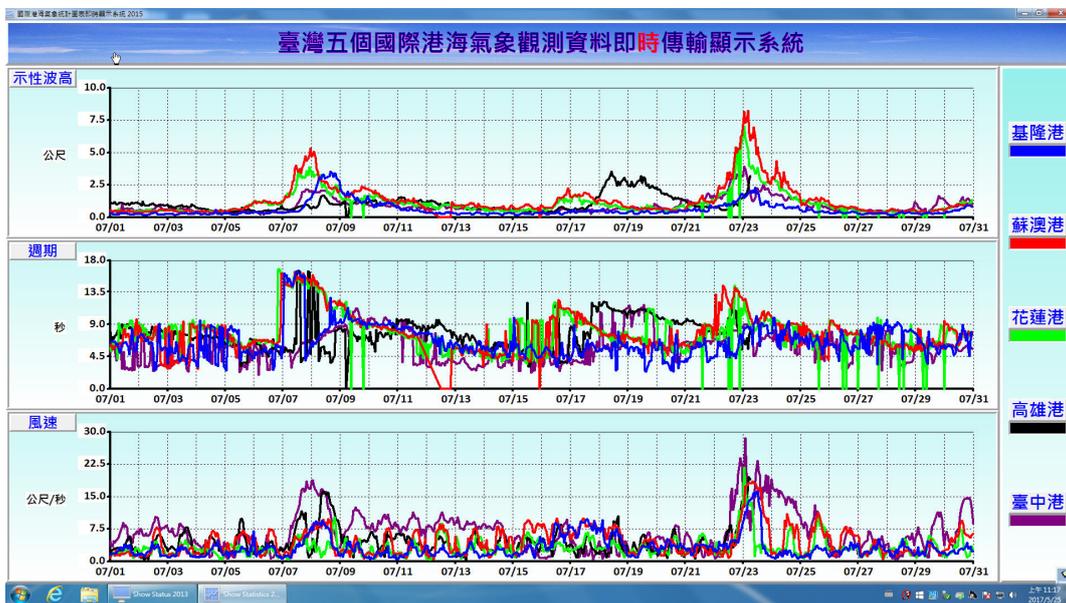


圖 3-1 國內 5 個國際港在 2014 年 7 月夏季颱風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)之逐時演化歷程比對

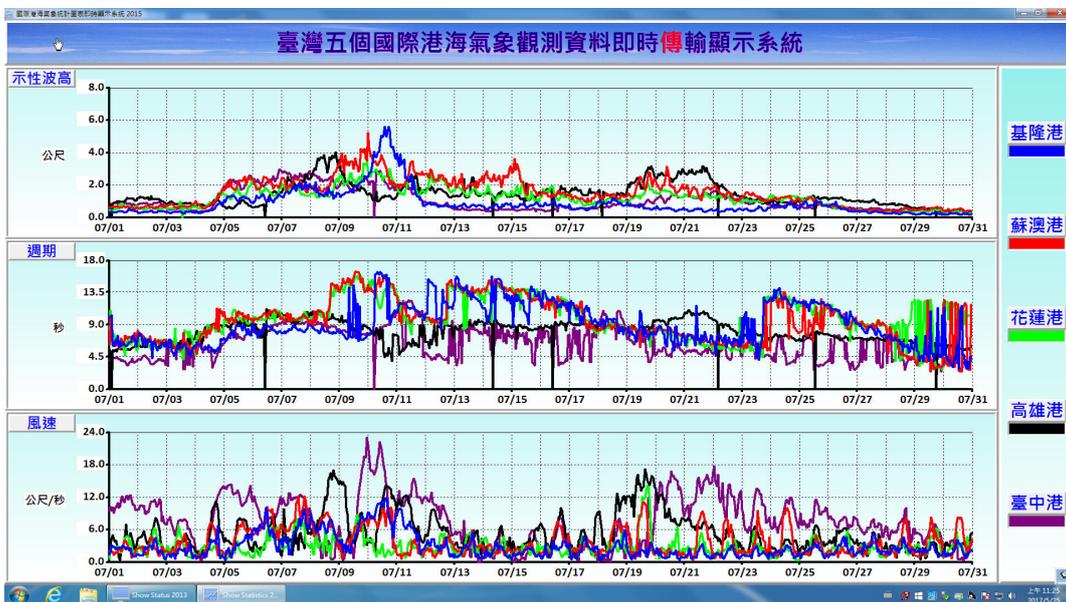


圖 3-1(續) 國內 5 個國際港在 2015 年 7 月夏季颱風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時演化歷程比對

201307 蘇力(SOULIK)

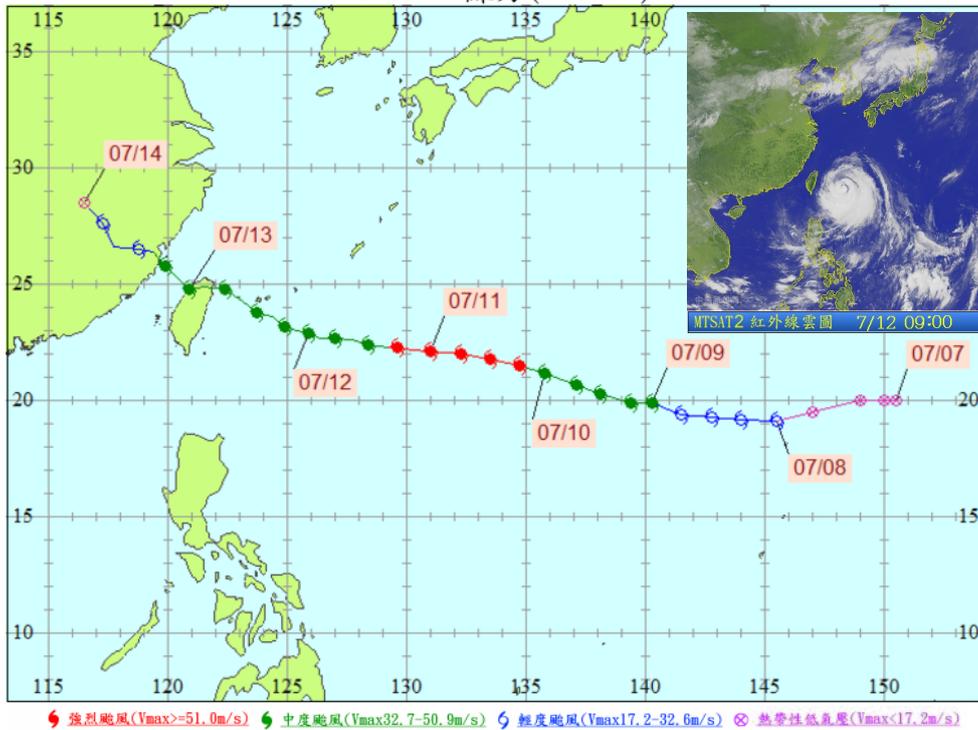


圖 3-2 蘇力颱風(2013/07)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上\_示性波高；中\_尖峰週期；下\_風速)

201330 海燕(HAIYAN)

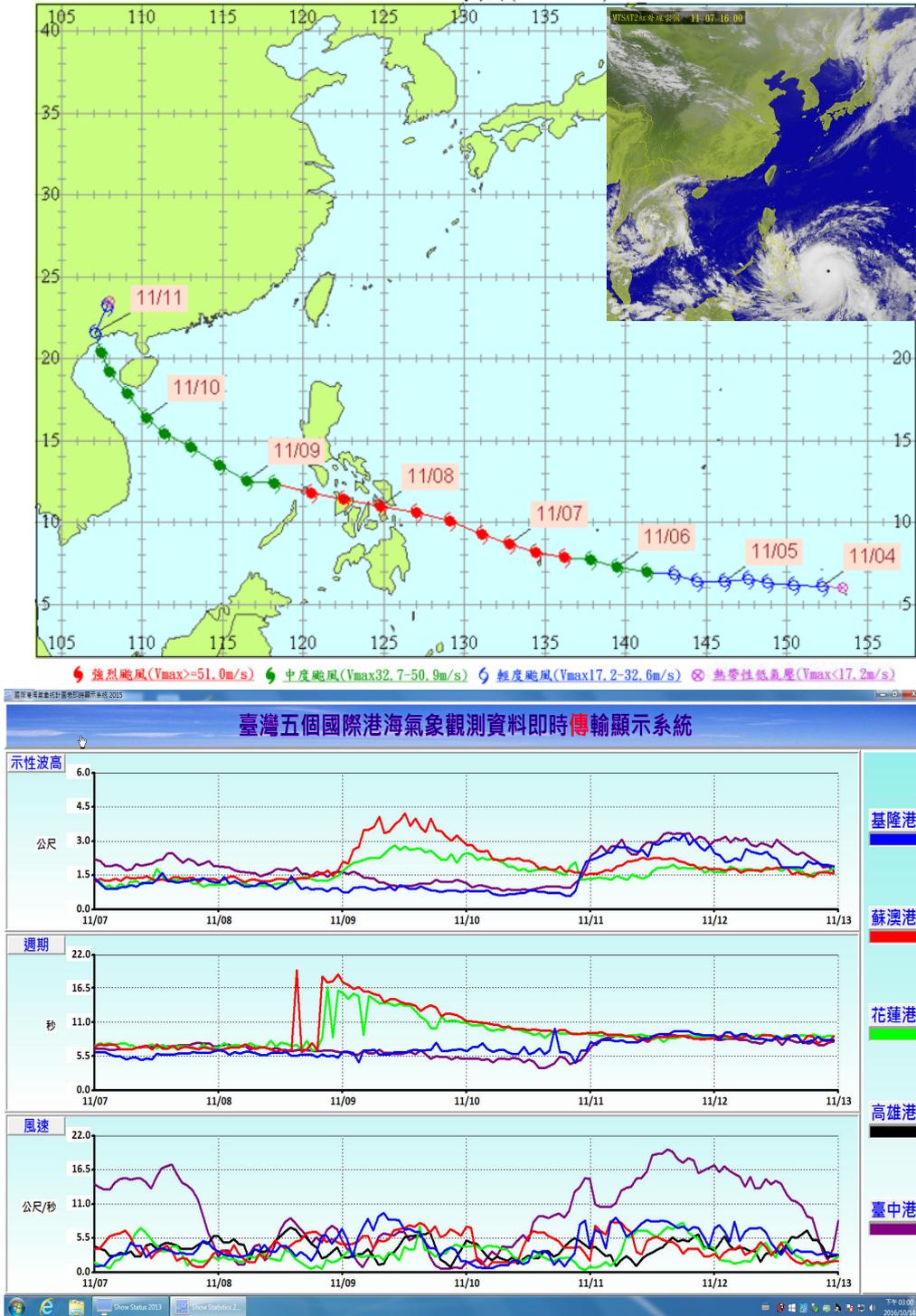


圖 3-3 海燕颱風(2013/11)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上\_示性波高；中\_尖峰週期；下\_風速)

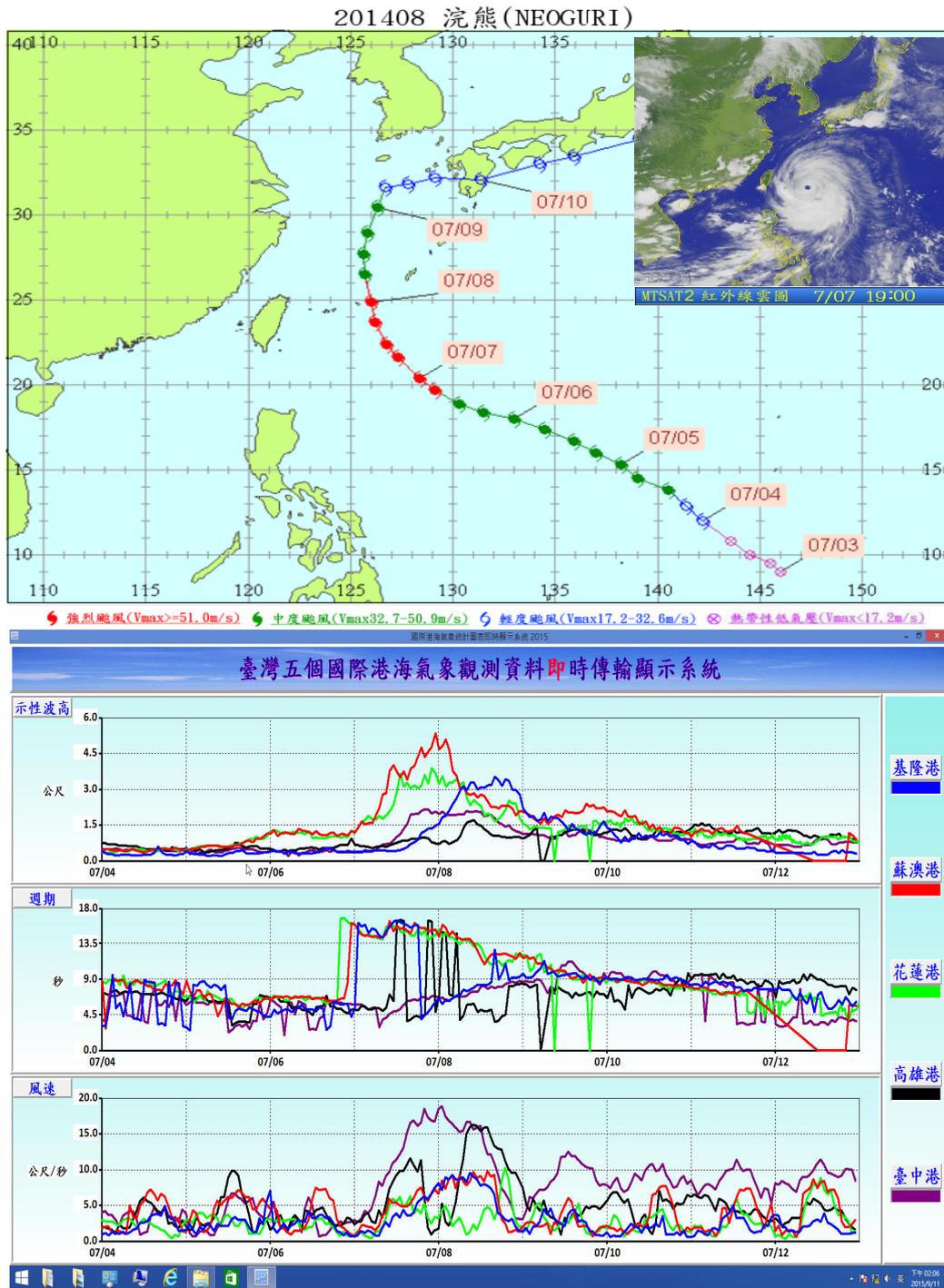


圖 3-4 浣熊颱風(2014/07)之移動路徑(上) 與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上\_示性波高；中\_尖峰週期；下\_風速)

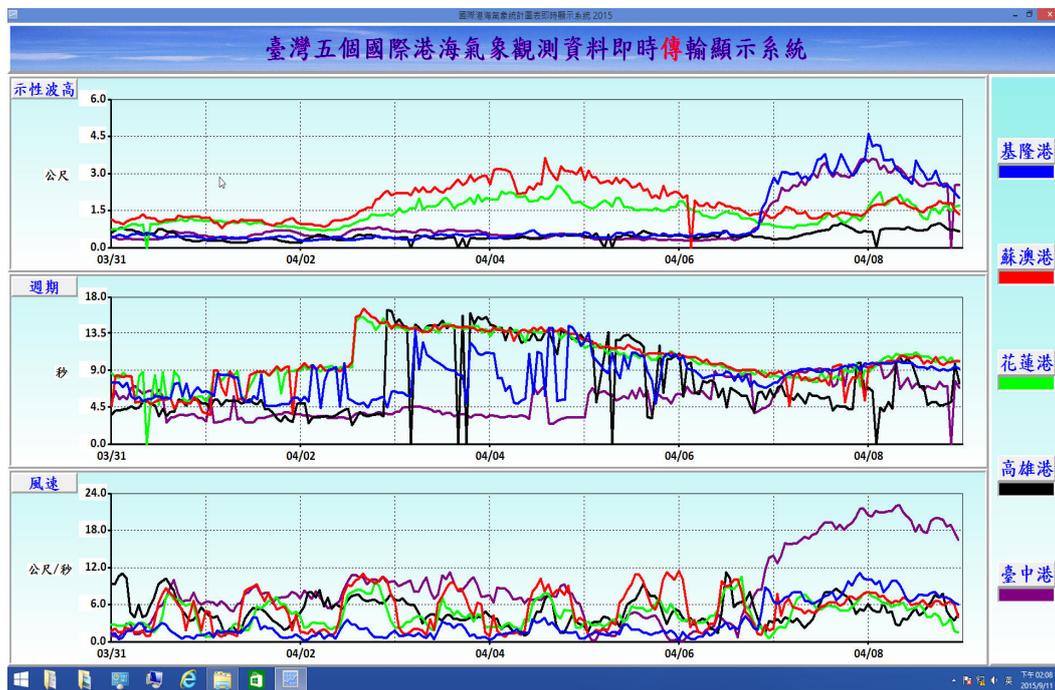
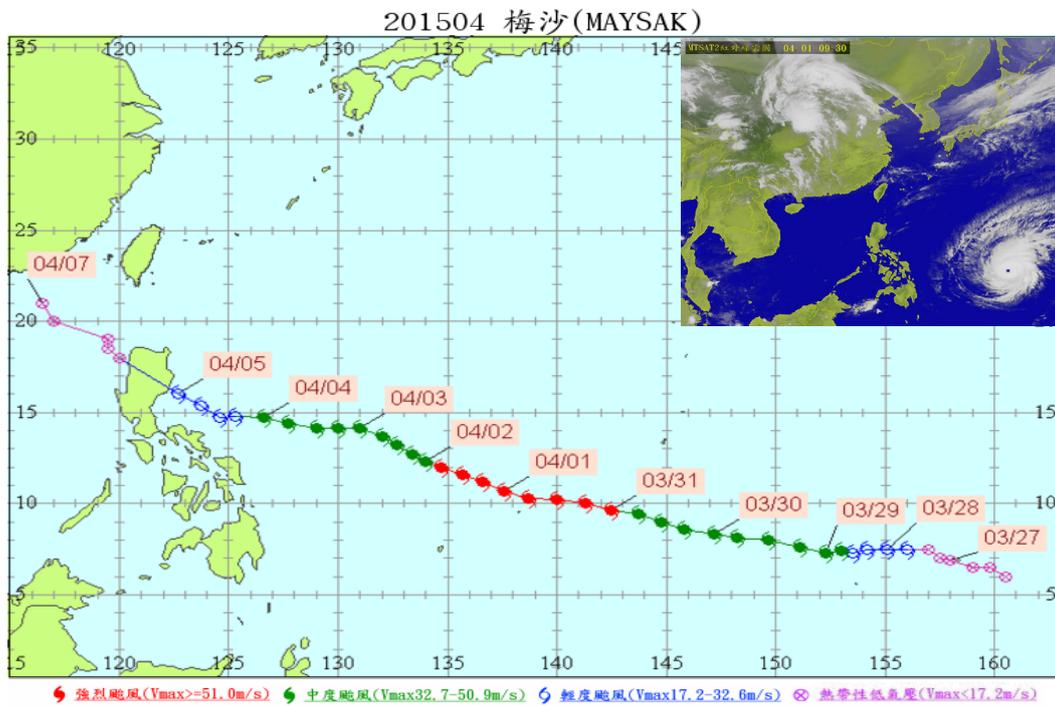


圖 3-5 梅沙颱風(2015/03)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上\_示性波高；中\_尖峰週期；下\_風速)

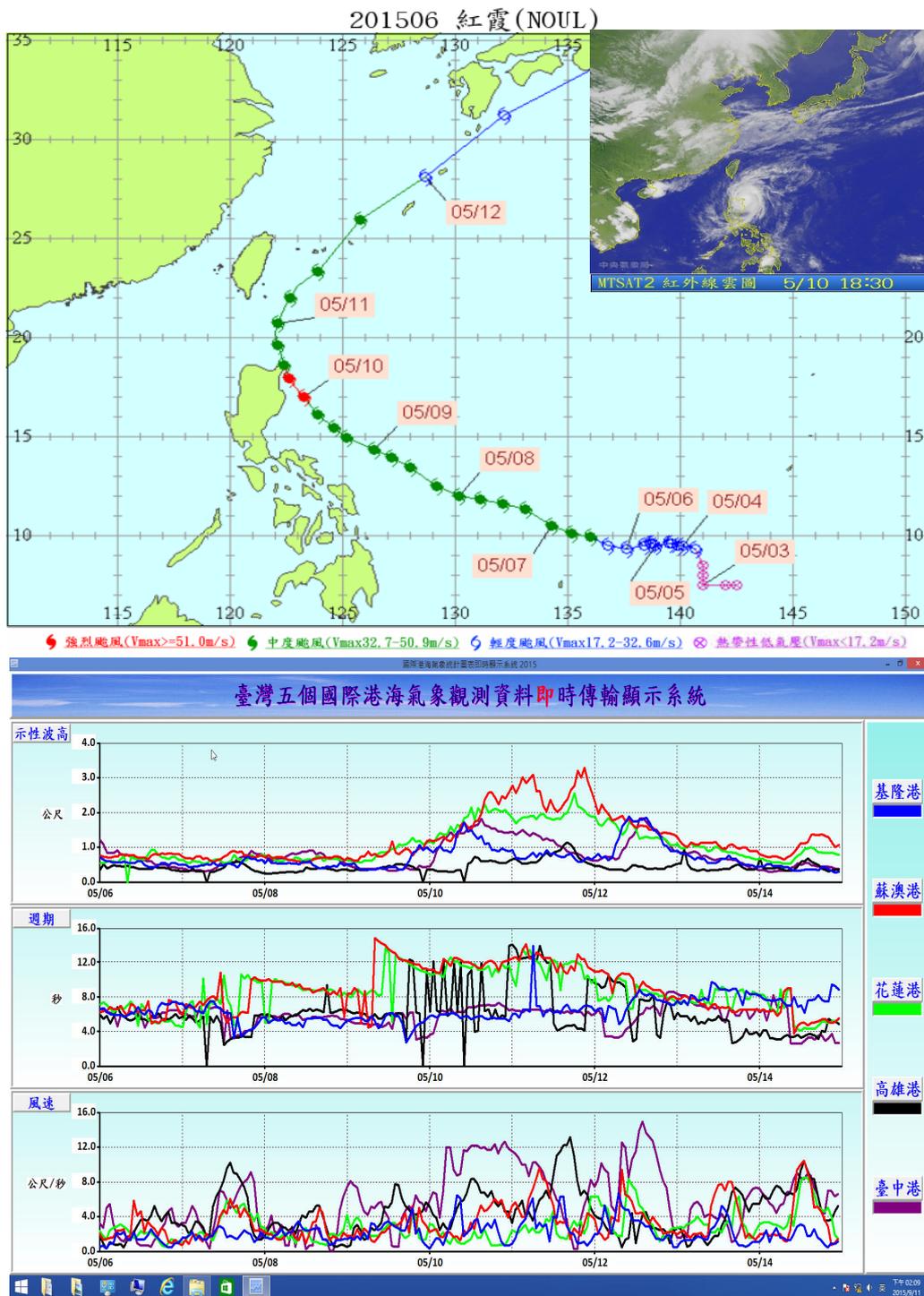


圖 3-6 紅霞颱風(2015/05)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上\_示性波高；中\_尖峰週期；下\_風速)

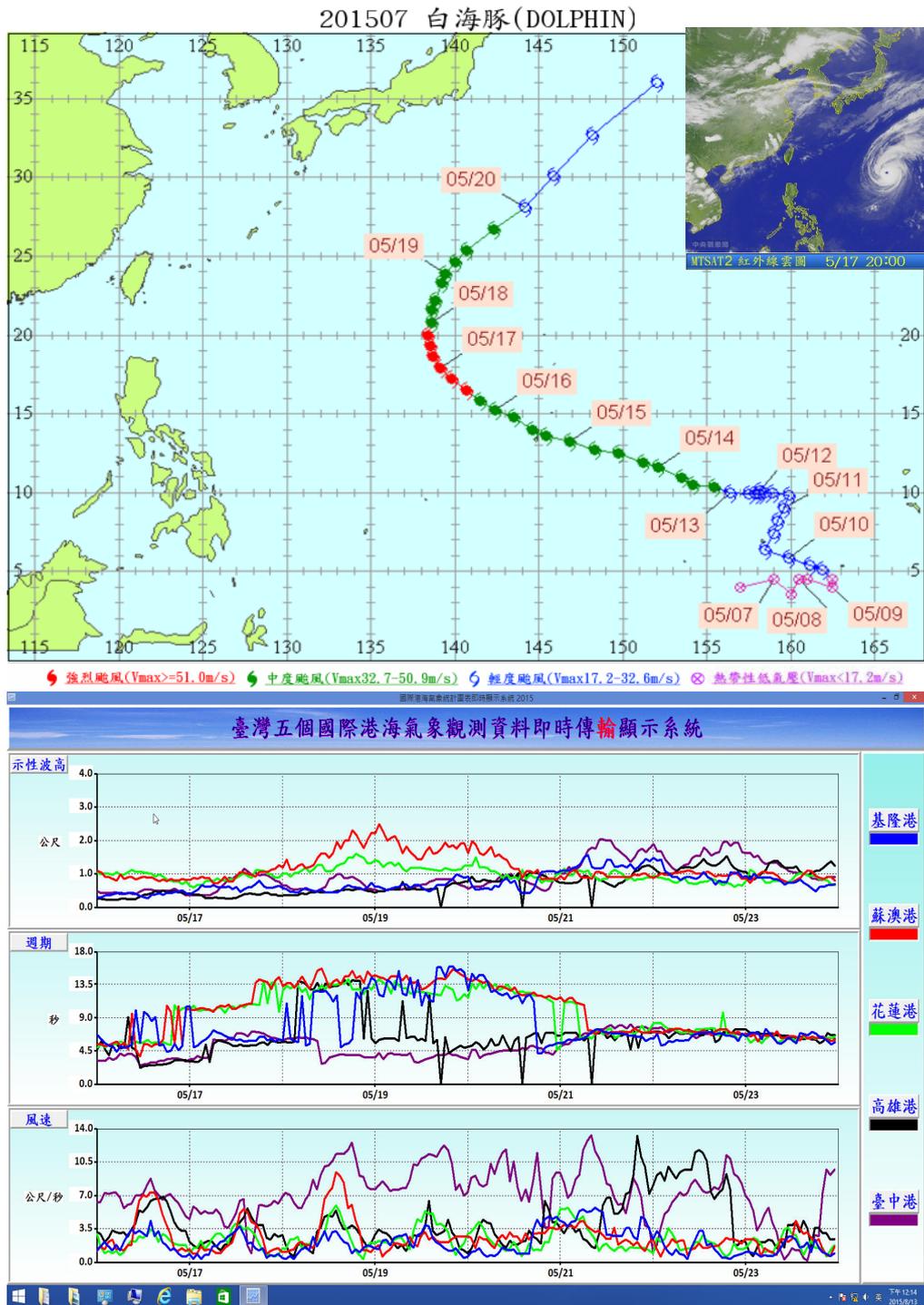


圖 3-7 白海豚颱風(2015/05)之移動路徑(上)與國內五個國際港近海監測風浪之逐時紀錄分析(下：上\_示性波高；中\_尖峰週期；下\_風速)

針對基隆、臺中、高雄、蘇澳、花蓮等國內五大商港近岸海域，先就風力，綜合觀察圖 3-2 至圖 3-7 可見，在颱風形成前，除了季風期之外，各港之風力，大多皆以具有日週期變動性之海陸風為主要，且隨天氣晴朗程度之變化，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。這意謂，在颱風影響前，天氣大多是風和日麗，晴空萬里。

再就波浪而論，在颱風初生時期，由於長浪之影響尚未能及於臺灣近岸海域，故各港域之經常波浪，僅單純由海陸風支配，風浪較微弱，以致示性波高偏小，普遍不及 1 公尺，尖峰週期亦偏短，大多小於 10 秒，海況可謂風平浪靜。

在颱風形成後，配合颱風移動路徑，對照颱風之位置、強度變化及距東部海岸之距離，再綜合檢視圖 3-2 至圖 3-7 可見，不論是否為發佈警報之颱風或僅是過境之颱風，更無論天氣之陰晴與風力之強弱，因颱風所衍生之長浪，隨著颱風逐漸向臺灣海岸靠進，將促使各港近海波浪之示性波高及尖峰週期，同時開始演化。其中，位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港，由於未受臺灣海岸及陸地岬頭地形遮蔽之影響，颱風波浪一般皆會大於位處西部海域之基隆港、臺中港及高雄港，又因臺灣東部海域直接面對深邃的西太平洋，加以海灘坡度陡峭，以致同處在東部海域之蘇澳港及花蓮港，無論颱風路徑之影響，颱風波浪之波高與週期，均約略具有近似相同之逐時演化特性，如圖 3-8 及圖 3-9 所示，而且隨著颱風波浪波高達到相對較大之時間前約 10 小時，尖峰週期均會明確發生突昇，且約略同時會自低於 10 秒超越至 12 秒以上，隨後，示性波高即會漸漸增大，並超越 1.5 公尺，終至波濤洶湧。僅存之微小差別是，蘇澳港之颱風波浪波高，通常會比花蓮港大，這意謂，在臺灣環島海域進行颱風波浪監測，波高與週期之演化歷程，均可以蘇澳港作指標，並且可以其為代表(莊、曾，2015，莊 等，2016)。

綜合而論，檢視 2013~2015 年部分颱風期間國內五大商港近岸之逐時波浪監測紀錄可發現(參見圖 3-1 至圖 3-5)，當西太平洋海域有颱

風形成並向臺灣鄰近海域行進時，則無論中央氣象局是否對其可能之侵襲威脅發布海上或陸上颱風警報，颱風所衍生之長浪(湧浪)，均會優先傳達臺灣東部近海，且甚特別地皆可於蘇澳港及花蓮港近岸之逐時波浪監測紀錄中，透過示性波高( $H_s$ )與尖峰週期( $T_p$ )，清晰陳示其時變性。因此，針對颱風波浪之共同影響，只要颱風之行進路徑係由太平洋海域接近臺灣東部海域，則颱風波浪週期與波高之逐時演化特性，將可以蘇澳港或花蓮港作為代表與指標。惟兩者相較，蘇澳港更優於花蓮港。至於，近岸波浪之共通特性，於無颱風生成之平常期間，示性波高一般不及 1 公尺、且尖峰週期約介在 4~10 秒間；而在有颱風生成期間，颱風長浪之成長，將促使示性波高漸次增大、尖峰週期更會提昇至 10 秒以上。

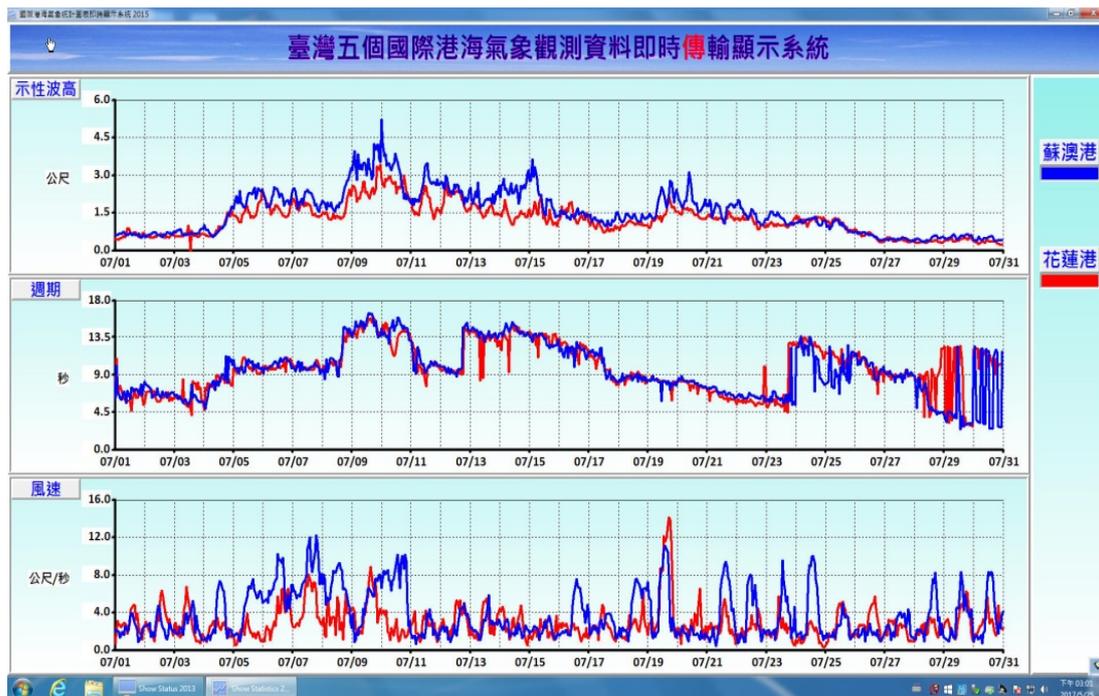


圖 3-8 位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港於 2015 年 7 月夏季颱風影響期間示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)所陳示近似相同之逐時演化歷程

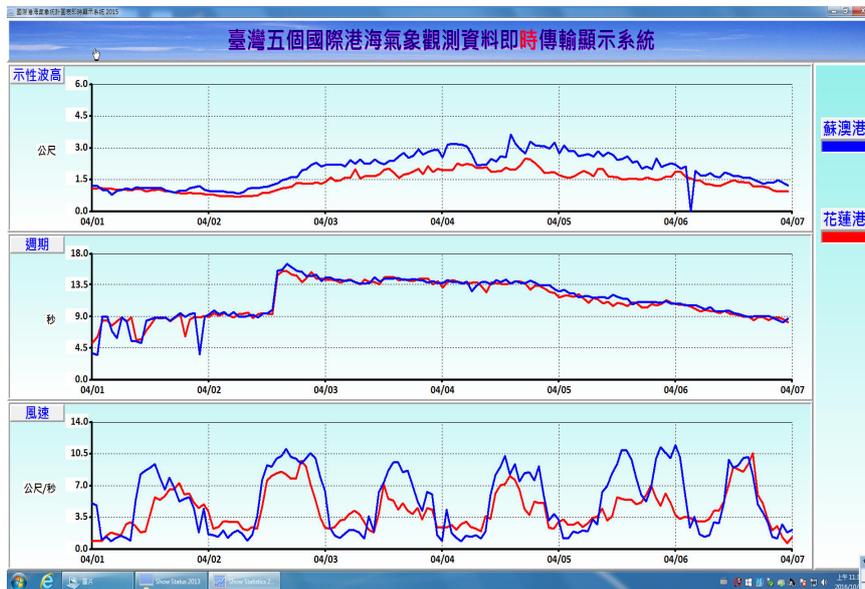


圖 3-9 位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港於 2015 年 4 月梅沙颱風影響期間颱風波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示近似相同之逐時演化歷程



圖 3-9(續) 位處臺灣東部海域之蘇澳港及花蓮港於 2015 年 5 月紅霞颱風影響期間颱風波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示近似相同之逐時演化歷程

### 3.2 臺灣東部海域颱風波浪之關聯特性

臺灣東部海域，直接面對深邃的西太平洋，海域地形水深環境甚相類似，加以近岸海灘坡度陡峭，故而自原生海域傳達近海之颱風波浪，受海岸及陸地岬頭地形遮蔽影響所衍生之淺海效應甚為有限，以致同處在東部海域之蘇澳港及花蓮港，無論颱風行進路徑、強度變化之影響，颱風波浪之波高與週期，均約略具有近似相同之逐時演化特性(莊、曾，2015；2017)。因此，為更詳實地揭示臺灣東部海域夏季(6月~8月)颱風期近似相同之波浪監測特性，再次應用 IHMT 之海氣象即時監測與傳輸顯示系統，並廣泛綜整蘇澳港與花蓮港在 2013 年 8 月、2014 年與 2015 年 7 月、8 月之波浪與風速分月逐時變化歷程，分別如圖 3-10 至圖 3-15 所示。圖中，蘇澳港與花蓮港，分別以藍色及紅色實線表示；波浪之波高與週期，係指示性波高與尖峰週期；而風速，係為 10 分鐘平均風速。

觀察 3-10 至圖 3-15，首先，對照比較波高與週期時變歷程可見，在夏季颱風期中，儘管蘇澳港與花蓮港之地理區位不同，近海地形水深具差異，但在相同之天氣系統與風域影響下，波浪彼此確實仍具有極為一致之時變特性。其中，特別值得注意的是，夏季波浪之週期，普遍均低於 10 秒，而波高大多小於 1.5 公尺；但有颱風侵襲或僅有颱風長浪影響期間，例如：2013 年 8 月 9 日至 15 日無警報颱風尤特(UTOR)與 8 月 18 日至 22 日發佈警報颱風潭美(TRAMI)、2014 年 7 月 4 日至 11 日無警報颱風浣熊(NEOGURI)及 7 月 17 日至 25 日發佈警報颱風麥德姆(MATMO)、2014 年 7 月 29 日至 8 月 3 日無警報颱風娜克莉(NAKRI)與 8 月 7 日至 12 日無警報颱風金娜薇(GENEVIEVE)、2015 年 6 月 30 日至 7 月 13 日發佈警報颱風昌鴻(CHAN-HOM)及蓮花(LINFA)與 7 月 3 日至 26 日無警報颱風南卡(NANGKA)及哈洛拉(HALOLA)、2015 年 7 月 30 日至 8 月 9 日發佈警報颱風蘇迪勒(SOUDELOR)及 2015 年 8 月 14 日至 8 月 26 日發佈警報颱風天鵝(GONI)等等，颱風長浪之週期一般均有突昇變動現象，且會自低於 10 秒躍昇至高於 12 秒，波高亦

可能會超過 1.5 公尺。因此，莊、曾(2014；2015)曾依據此一颱風波浪波高與週期所特殊具有之週期突昇變動特性，將其應用以辨識颱風長浪的侵襲影響期間，同時，並將颱風波浪之演化歷程，依據波高與週期之逐時變動特性，詳細區分為(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)發達成熟；及(5)減衰消退等五個重要階段，進而研提瘋狗浪之預警基準。

其次，就風速時變性而論，蘇澳港與花蓮港風速，雖然彼此存在有強弱之差異，但在夏季，由於天氣經常晴朗、陽光普照，故陳現日週期變動性之海陸風會特別明顯，其風速之大小，一般均會低於 5 級或 8.0~10.7 m/s；因此，在夏季期間，若風速大小超過 5 級或 11 m/s 時，通常意謂臺灣東部海岸在該期間正面對異常風暴或在颱風侵襲之警報期間。

接著，為檢視夏季颱風影響期間蘇澳港與花蓮港波浪之關聯性，進一步可將蘇澳港與花蓮港各分月逐時之示性波高、尖峰週期與二階譜週期分別綜整，可得如圖 3-16，而對應之相關係數，統整如表 3-1 所示。

表 3-1 蘇澳港與花蓮港 2013 至 2015 年颱風影響期間分月監測波浪示性波高( $H_s$ )、尖峰週期( $T_p$ )及二階譜週期( $T_{m02}$ )之相關係數

項目 年/月	$H_s$	$T_p$	$T_{m02}$
	相關係數	相關係數	相關係數
2013/07	0.872	0.802	0.759
2013/08	0.926	0.483	0.647
2014/07	0.962	0.758	0.901
2014/08	0.928	0.838	0.881
2015/07	0.891	0.618	0.670
2015/08	0.963	0.681	0.768

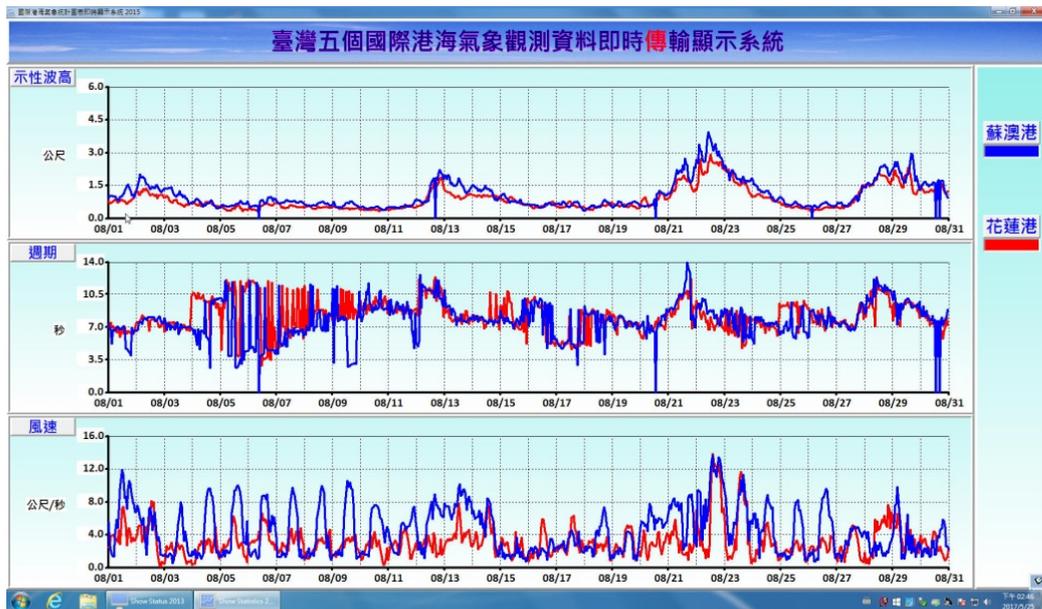


圖 3-10 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2013 年 8 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程

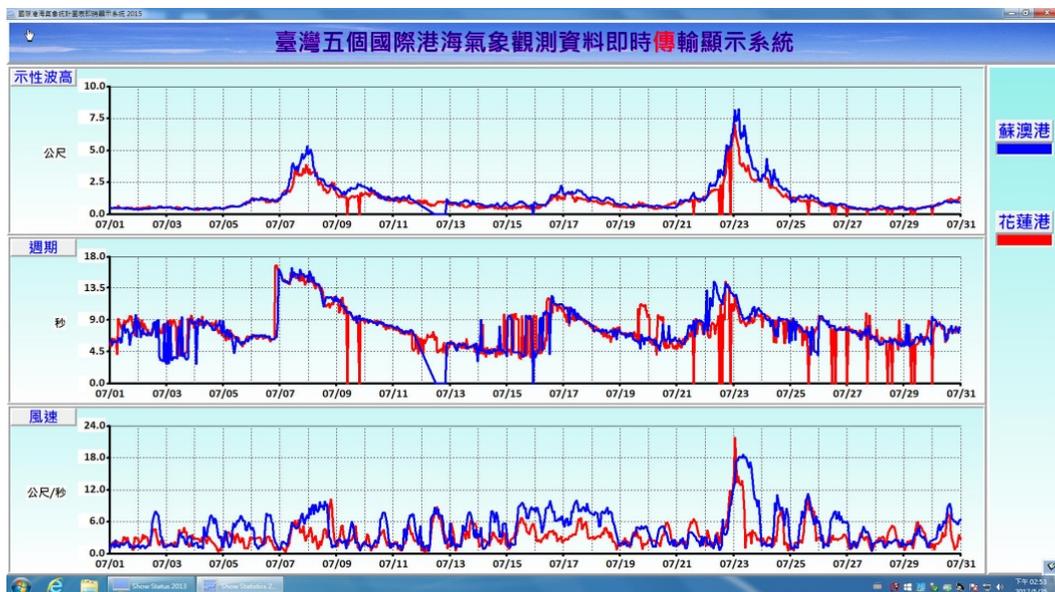


圖 3-11 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2014 年 7 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程

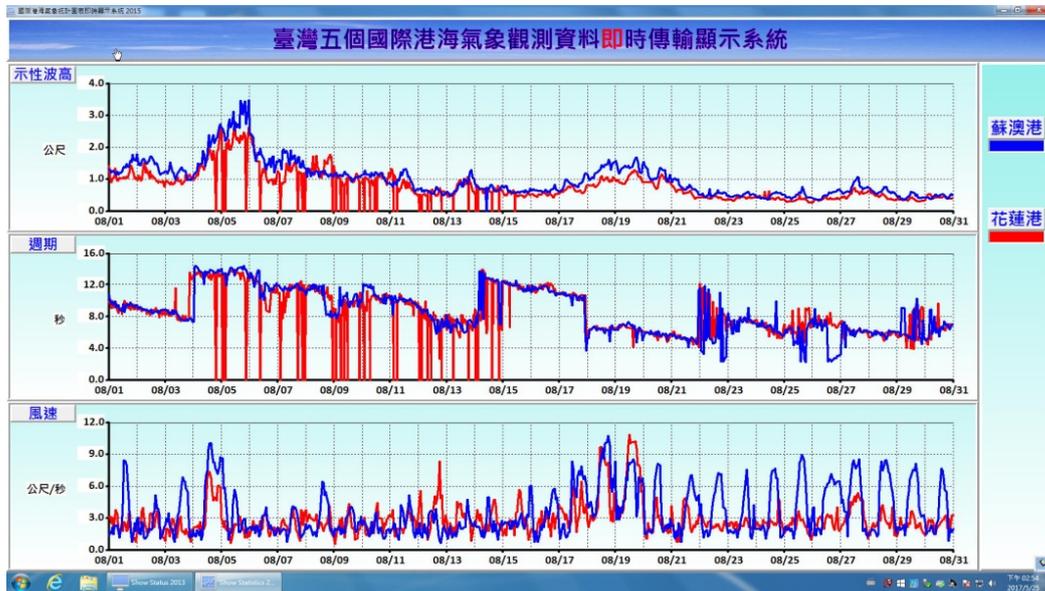


圖 3-12 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2014 年 8 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程

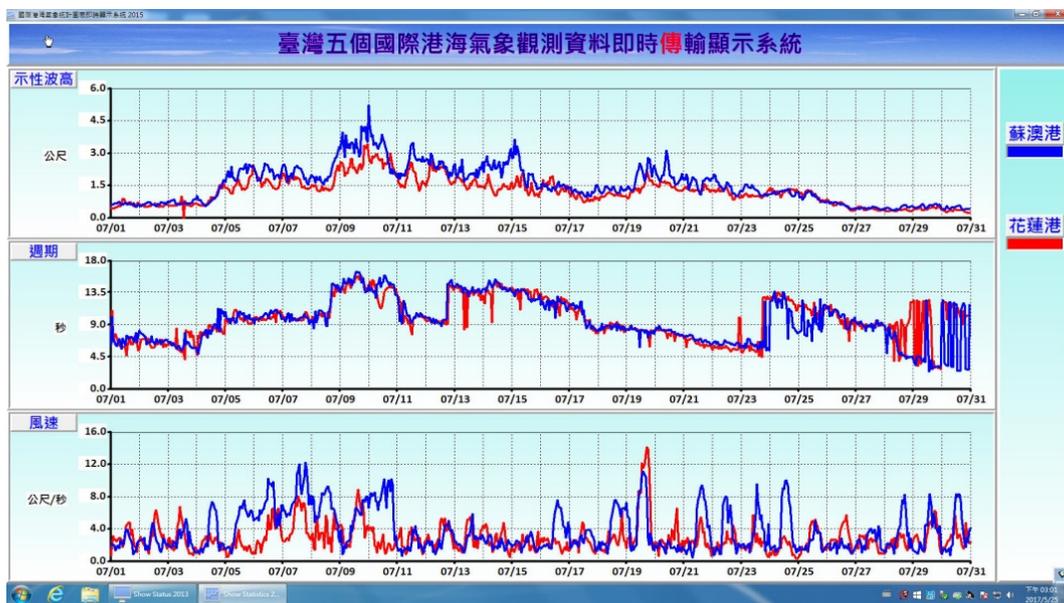


圖 3-13 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 7 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程

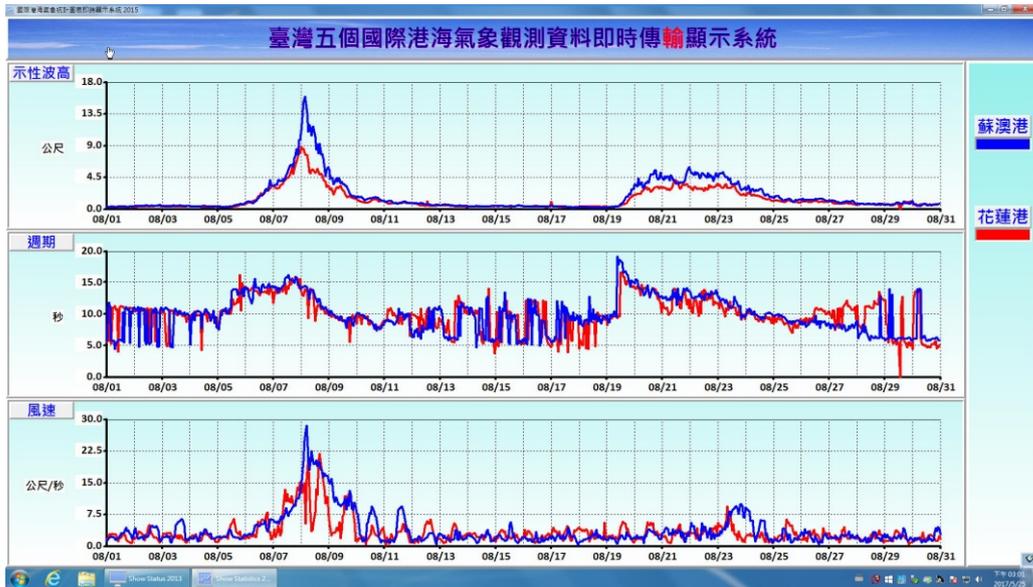


圖 3-14 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 8 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程

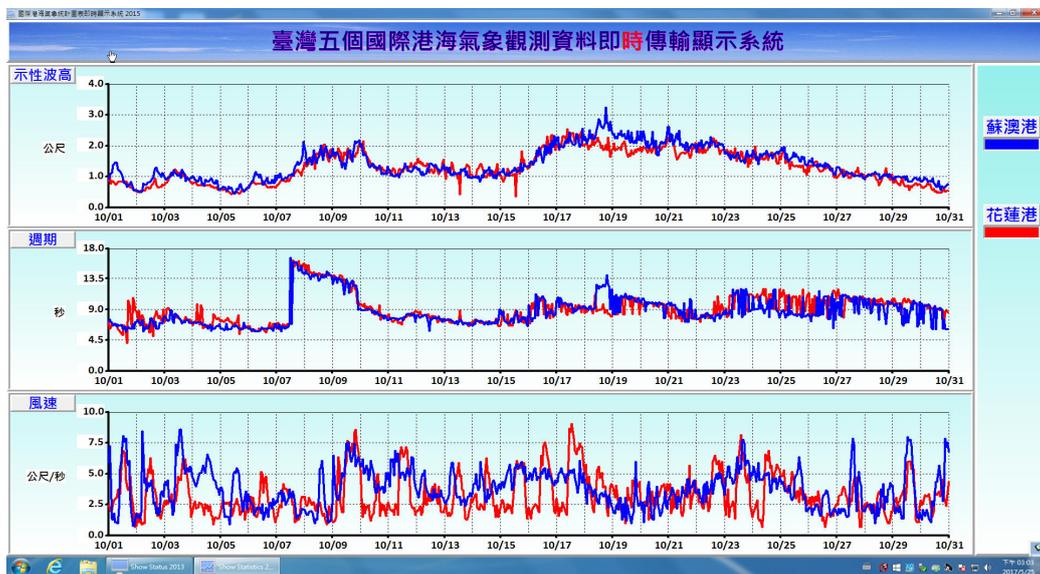


圖 3-15 蘇澳港(藍)與花蓮港(紅)在 2015 年 10 月夏季颱風期間監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)所陳示之近似時變歷程

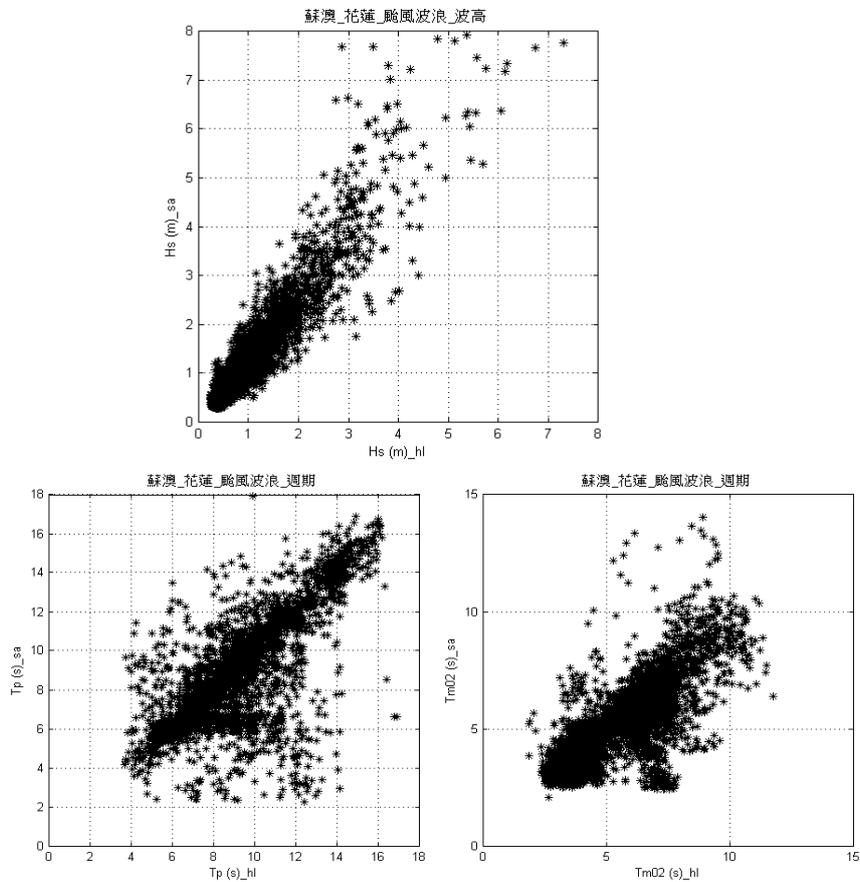


圖 3-16 蘇澳港與花蓮港自 2013 年至 2015 年 7 月與 8 月夏季颱風期監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下左)及二階譜週期(下右)之關聯性

綜合觀察圖 3-15 及表 3-1 可見，在夏季颱風影響期間，蘇澳港與花蓮港之波浪，示性波高的相關係數普遍均甚高，約介在 0.872~0.963 間；尖峰週期與二階譜週期的相關係數亦甚良好，最高分別可達 0.838 與 0.901，最低仍有 0.483 與 0.647。因此可據以確認，蘇澳港與花蓮港之波浪，彼此確實皆具有極高之關聯性，且可進一步應用以作為不同海象測站間颱風波浪監測紀錄之品管，特別是作為交互檢校及補遺之參考依據。有所差別的，僅是蘇澳港觀測的示性波高，一般略大於花蓮港而已。

### 3.3 颱風長浪之傳播速度

颱風是夏季和秋季影響臺灣氣候的最重要因素。我國對颱風強度所作之分級，是依據颱風近中心附近 10 分鐘平均最大風速，劃分為輕度颱風、中度颱風及強烈颱風等 3 級，詳細的風速值範圍，如表 3-2 所示(氣象局，2014)。由表觀察可見，颱風形成時，皆屬輕度颱風等級，近中心附近，10 分鐘平均之最大風速，應達 17.2~32.6 m/s。至於初始移動行進速度，通常每小時約 10 至 15 公里，爾後逐漸加速到每小時 15 至 25 公里(氣象局，2014)。

表 3-2 颱風強度分級表

資料來源：[https://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate\\_info/taiwan\\_climate/taiwan\\_5/taiwan\\_5\\_2.html](https://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/taiwan_climate/taiwan_5/taiwan_5_2.html)

颱風強度	颱風近中心附近最大風速			
	時公里(km/hr)	秒公尺(m/s)	時海里(kts)	相當蒲福風級
輕度颱風	62 ~ 117	17.2 ~ 32.6	34 ~ 63	8 ~ 11
中度颱風	118 ~ 183	32.7 ~ 50.9	64 ~ 99	12 ~ 15
強烈颱風	184 以上	51.0 以上	100 以上	16 以上

因風而起之風浪，其主要週期大多小於 30 秒(Munk, 1951)，參見圖 1-1。而為瞭解颱風長浪在傳達臺灣東部近岸海域之完整演化歷程，因此，有必要先行對其傳播速度進行估算。

假設颱風在遼闊海洋中具無限吹送距離，則依據 Tucker (1991)之研究，可得發展成熟之颱風波浪，其尖峰週期及示性波高與海面上 19.5 公尺處風速 $U_{19.5}$ 之關係，分別可表示為

$$T_p = 0.729U_{19.5} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$H_s = 0.0213U_{19.5}^2 \dots\dots\dots(3-2)$$

取輕度颱風 $U_{19.5}$ 之風速為 17 m/s，則可得颱風波浪在原生海域之尖峰週期最小約是 12 秒、示性波高約為 6.2 公尺。因此，在太平洋中，若颱風波浪在原生海域之尖峰週期平均可以 12 秒代表，則颱風波浪特性將判屬深水波，且其波動傳播速度，將可以深海之群波速度( $C_g$ )表示為：

$$C_g = \frac{1}{2} \cdot C \dots\dots\dots(3-3)$$

式中， $C = \frac{L}{T}$  為週期 $T$ 、波長 $L (\approx 1.56 \cdot T^2)$ 之波速。所以， $C_g$ 可進一步簡化為

$$\begin{aligned} C_g &= \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{T} \\ &= 0.78 \cdot T \dots\dots\dots(3-4) \end{aligned}$$

因而，深海中，尖峰週期平均 12 秒之颱風長浪，依據上式計算，可得其波動傳播速度如下：

$$\begin{aligned} C_g &= 0.78 \cdot 12 \text{ m/s} \\ &= 9.36 \text{ m/s} \dots\dots\dots(3-5) \end{aligned}$$

將其換算時速，約相當於每小時 33.7 公里；而若換算為每日之傳播行進距離，則估計日行最少約可達 809 公里。可見，深海中之颱風波浪傳播速度，明顯會大於一般颱風之移動行進速度，因而颱風波浪可順利脫離原生之移動行進風域而成為颱風長浪。

掌握上列每小時約 35 公里或每日約 800 公里之波動傳播速，再配合實際颱風之行進路徑、位置與距岸距離，進而即可估計颱風長浪自原生海域形成後，其前導波群可對特定近海波浪測站產生衝擊影響之啟始到達時間。

### 3.4 近岸颱風長浪之演化歷程

波高與週期，兩者共同是描述波浪特性之重要參數，故而欲清楚陳現及檢視近岸颱風長浪之演化歷程，應將兩者綜合聯結。此外，在太平洋海域，自颱風形成後，由於其所衍生之長浪或前導波群，約可以每日 800 公里之傳播速度，優先傳播抵達臺灣東部海域，因此，對於臺灣近海颱風長浪之逐時變化特性或演化歷程，參見圖 3-10 至圖 3-15，將可以位處在臺灣東部海域蘇澳港或花蓮港之監測波浪作為最主要的觀察代表及指標。

掌握颱風長浪之波動傳播速度，針對生成於 2015 年 3 月無颱風警報之梅沙颱風、同樣生成於 2015 年 5 月曾發佈海上颱風警報之紅霞颱風及無颱風警報之白海豚颱風，再檢選蘇澳港近海波浪監測之逐時分析結果作代表，進而可彙整各颱風影響期間監測波浪之示性波高與尖峰週期及十分鐘平均風速之逐時變化或演化歷程，分別如圖 3-17 至 3-19 所示。

在圖 3-17 至圖 3-19 中，首先，觀察近海平均風速之逐時變化特性可見，蘇澳港近海風速之強弱，大多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，蘇澳港天氣，很明顯是非常晴朗而炎熱地。

至於風浪，配合圖 3-5 所示之颱風移動路徑圖，再觀察圖 3-17 可見，梅沙颱風衍生之風浪，其在 2015/03/28 形成後，由於當時距臺灣東海岸之距離約 3500 公里，若以每日約 800 公里之颱風長浪傳播速度估算，則長浪應約於 4 日後，或在 04/01 前後，前導波群方會傳達蘇澳港近海，在此之前，日間海陸風明顯，最大風速可達 10 m/s，天氣應是艷陽高照，但近海波浪仍屬於經常性風浪，故示性波高較小，低於 1

公尺、尖峰週期較短，介在 4 至 8 秒間；自 04/01 00:00 以後至 04/02 12:00 間，雖然當時之颱風位置距離東部海岸仍約有 2000 公里，但隨著颱風接近與強度之變化，長浪開始群聚成長，只是示性波高仍維持小於 1 公尺，但尖峰週期已逐漸增長至 8~10 秒；04/02 12:00 以後，颱風距離東部海岸約 1500 公里，此時由於先行後進長浪之堆疊擁積，尖峰週期因而自 10 秒突然躍昇至約 16 秒，示性波高亦隨即逐漸增大，並於 04/02 15:00 超越 1.5 公尺；自此後約 10 小時，即約於 04/03 01:00 後，由於長浪之持續堆疊擁積，終致使長浪發達成熟，尖峰週期穩定維持在約 14 秒，而示性波高，大幅增長至 2.5 公尺以上，且最大可達 3.5 公尺，在此期間內，海面應是波濤洶湧；持續維持至 04/05 12:00 之後，示性波高逐漸降低、尖峰週期亦自 12 秒持續減小，長浪已明顯在減衰消退；終至 04/07 12:00 後，海面再次回復至波高小於 1 公尺、週期小於 9 秒之經常性風浪。

同樣地，配合圖 3-6 所示之颱風移動路徑圖，再觀察圖 3-18 可見，生成於 2015 年 5 月曾發布海上颱風警報之強烈颱風\_紅霞，其在 05/04 形成後，距臺灣東海岸之距離約 2000 公里，若以每日約 800 公里之颱風長浪傳播速度估算，則長浪應約於 3 日後，或在 05/07 前後，前導波群即會傳達蘇澳港近海，在此之前，海陸風最大風速約僅達 6 m/s，天氣尚算晴朗，故近海波浪係屬經常性風浪，示性波高低於 1 公尺、尖峰週期介在 4 至 8 秒間；自 05/07 20:00 以後至 05/09 04:00 間，雖然當時之颱風位置距離東部海岸仍約有 1000~1500 公里，但隨著颱風接近，長浪已開始群聚成長，只是示性波高仍維持小於 1 公尺，但尖峰週期已逐漸增長至 8~10 秒；05/09 08:00 以後，颱風距離東部海岸約 700 公里，此時由於先行後進長浪之堆疊擁積，尖峰週期因而自 9 秒突然躍昇至約 15 秒，示性波高亦隨即逐漸增大，並於 05/10 09:00 超越 1.5 公尺；自此後約 10 小時，即約於 05/10 18:00 後，由於長浪之持續堆疊擁積，終致使長浪發達成熟，尖峰週期穩定維持在約 12 秒，而示性波高，大幅增長至 2.5 公尺以上，且最大可達 3.5 公尺，在此期間內，海面應是波濤洶湧，惟其日間海陸風明顯，最大風速可達 10 m/s，天氣

仍應是艷陽高照；持續維持至 05/11 20:00 之後，颱風過境東部海域並逐漸遠離，示性波高隨即逐漸降低、尖峰週期亦自 12 秒持續減小，長浪已明顯在減衰消退；終至 05/13 12:00 後，海面再次回復至波高小於 1 公尺、週期小於 8 秒之經常性風浪。

再配合圖 3-7 示之颱風移動路徑圖，觀察圖 3-19 可見，生成於 2015 年 5 月無颱風警報之白海豚颱風，其在 05/10 形成後，距臺灣東海岸之距離約 4000 公里，若以每日約 800 公里之颱風長浪傳播速度估算，則長浪應約於 5 日後，或在 05/15 前後，前導波群即會傳達蘇澳港近海。在此之前，蘇澳港近海波高甚小，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，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，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。

此外，在 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 3-20 所示。以群波傳播速度概約是 800 km/day 計算，颱風長浪大約會於 8 月 5 日初始傳達臺灣東部近海。自 IHMT 之港灣環境資訊網截取對應期間之逐時風浪監測資訊，可得示性波高與尖峰週期之逐時變動歷程，統整於圖 3-20 所示。

觀察圖 3-20 可見，蘇迪勒颱風波浪，在 8 月 5 日 00 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；到 6 日 16 時許，宜蘭縣南方澳之颱風長浪即高達 2.5 公尺，當時，新北市兩對母女共六人，恰在南方澳內埤海灘踏浪戲水，不料 4 人被長浪捲入海裡，造成 2 死 1 失蹤不幸；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。

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 3-21 所示；對應特定時間之分時波譜變化，則統整如圖 3-22 所示。

配合圖 3-20 所示之颱風移動路徑，綜合觀察圖 3-21 與圖 3-22 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 3~10 cpm (cycles per minute)間，這意謂在颱風長浪影響初期，頻率介在 3~6 cpm 的長浪波高，普遍尚未比既存於近岸且頻率介在 6~10 cpm 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 3~6 cpm 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 6 cpm 處陳現突降至 5 cpm 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 0.2~2 cpm 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 6~10 cpm 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 3-23 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 800 km/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 IHMT 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，統整於圖 3-23 所示。

觀察圖 3-23 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，波浪特性仍屬於一般之風浪，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 日杜鵑颱風之侵襲期間，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 3-24 所示；對應特定時間之分時波譜變化，則統整如圖 3-25 所示。

配合圖 3-23 所示之颱風移動路徑，綜合觀察圖 3-24 與圖 3-25 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 3~10 cpm 間，這同樣說明在颱風長浪影響初期，頻率介在 3~6 cpm 的長浪波高，普遍尚未比既存於近岸且頻率介在 6~10 cpm 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 3~6 cpm 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 6 cpm 處陳現突降至 5 cpm 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 0.2~2 cpm 之亞重力波(infragravity waves)。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 6~10 cpm 的一般風浪。

綜合上列各颱風長浪在近岸監測之全程演化歷程可具體瞭解到，臺灣東部近海之颱風波浪，通常與當地之天氣及風力或「海陸風」無關，但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長浪之興衰相關，致使主要波動之尖峰頻率集中在 3~6 cpm 間，最特別的是在長浪堆疊擁積之極盛期與發達成熟期，尚會伴生有頻率介在 0.2~2 cpm 之亞重力波。因此，依據臺灣東部近岸監測颱風長浪所陳示波高與週期之時變共通特性，可將主要之演化歷程，區分為(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)發達成熟；及(5)減衰消退等五個重要階段(莊、曾，2015；2016)，各階段對應之波高與週期時變共通特性，詳述如下：

1、啟始到達：自颱風最初形成之位置及與蘇澳港之距離，應用尖峰週期約 12 秒之深水群波傳播速度(~809 km/day)，可估算前導波群之

啟始影響時間。在本階段前，海況一般較平靜，示性波高較小，普遍低於 1 公尺、尖峰週期較短，大多介在 4 至 8 秒間。

- 2、群聚成長：自啟始到達時間起，近岸長浪會開始群聚成長，惟海況仍舊平靜，示性波高仍維持小於 1 公尺，但尖峰週期已逐漸增長至 8~10 秒間。
- 3、堆疊擁積：隨著颱風趨近之影響，先行後進之長浪會逐漸積疊，並促使尖峰週期，自小於 10 秒突然躍昇至大於 12 秒，示性波高更會逐漸增大，並於隨後超越 1.5 公尺。
- 4、發達成熟：自堆疊擁積階段尖峰週期突然躍昇後約 10 小時，長浪尖峰週期會持續穩定維持在約 12 秒以上，而示性波高，將大幅增長至 2.0 公尺以上，甚至輕易會超越 3.5 公尺。在此期間內，不論是否為發布警報或僅是過境之颱風，颱風位置通常將最靠近臺灣東部海域，以致即使在風和日麗天氣下，海面仍應是波濤洶湧。
- 5、減衰消退：示性波高自相對較大值逐漸降低，且尖峰週期會自 12 秒以上持續減小。當尖峰週期回降至 10 秒以下，或示性波高低於 1.5 公尺時，則海況將漸次回復為經常性風浪，並趨向於風平浪靜。

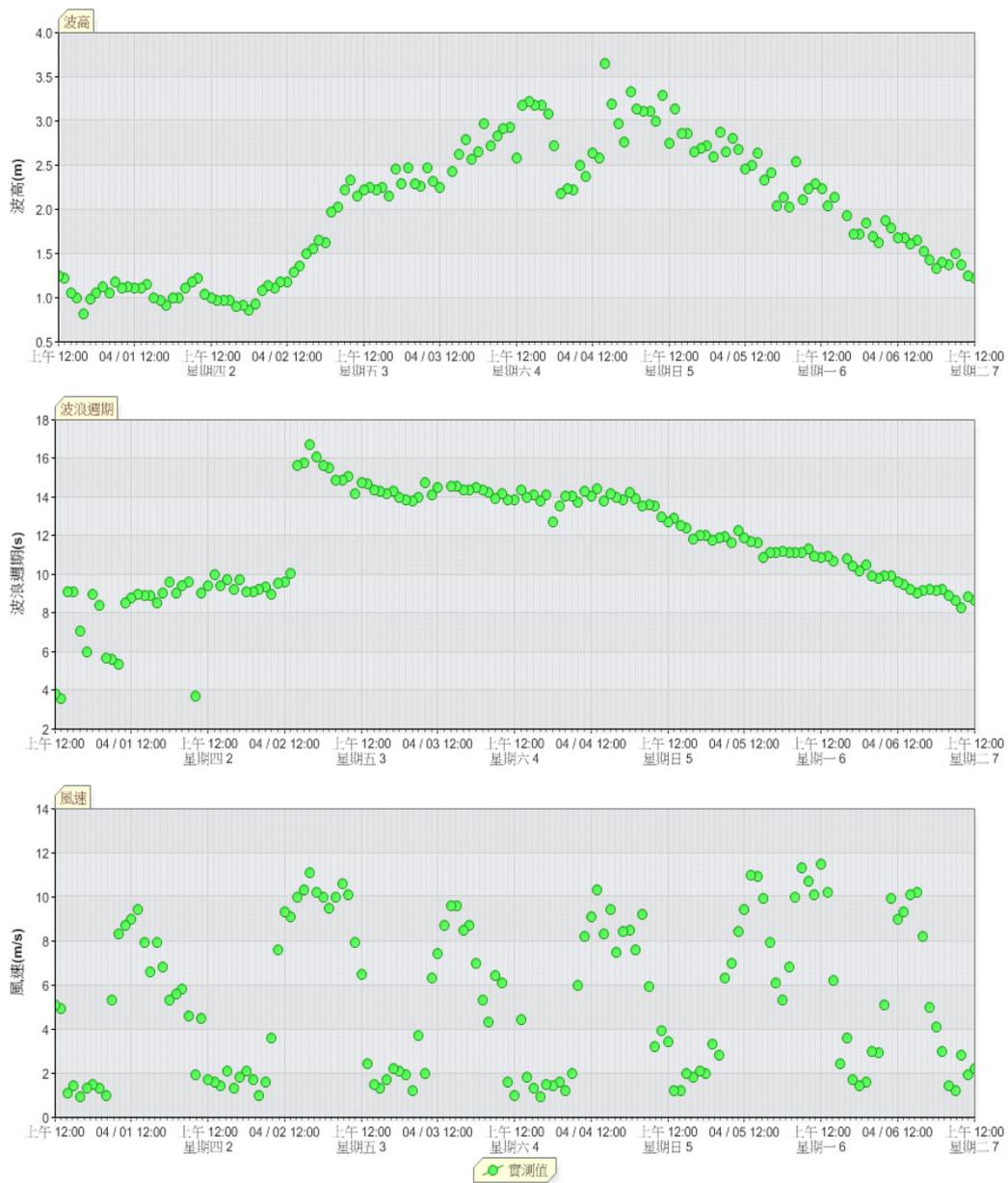


圖 3-17 在蘇澳港監測梅沙颱風(2015/03)之長浪示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程

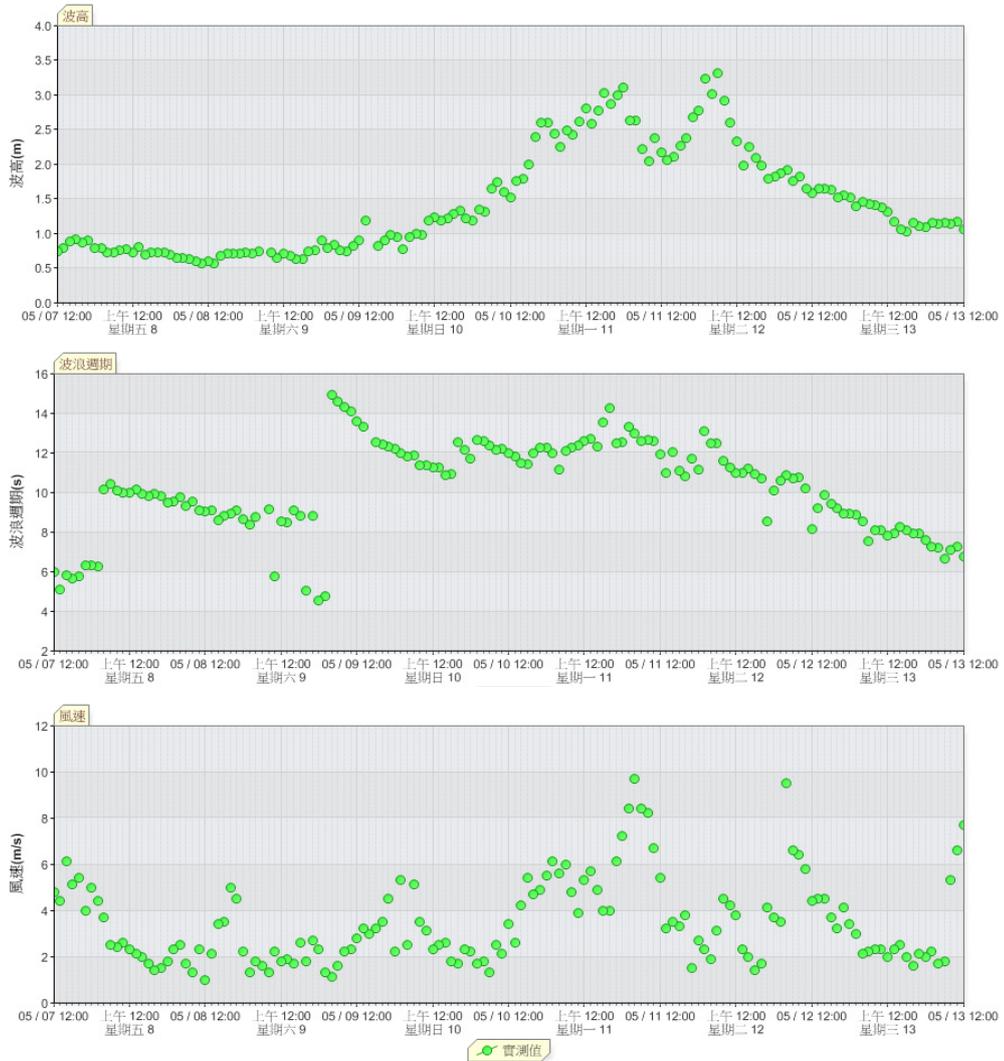


圖 3-18 在蘇澳港監測紅霞颱風(2015/05)之長浪示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程

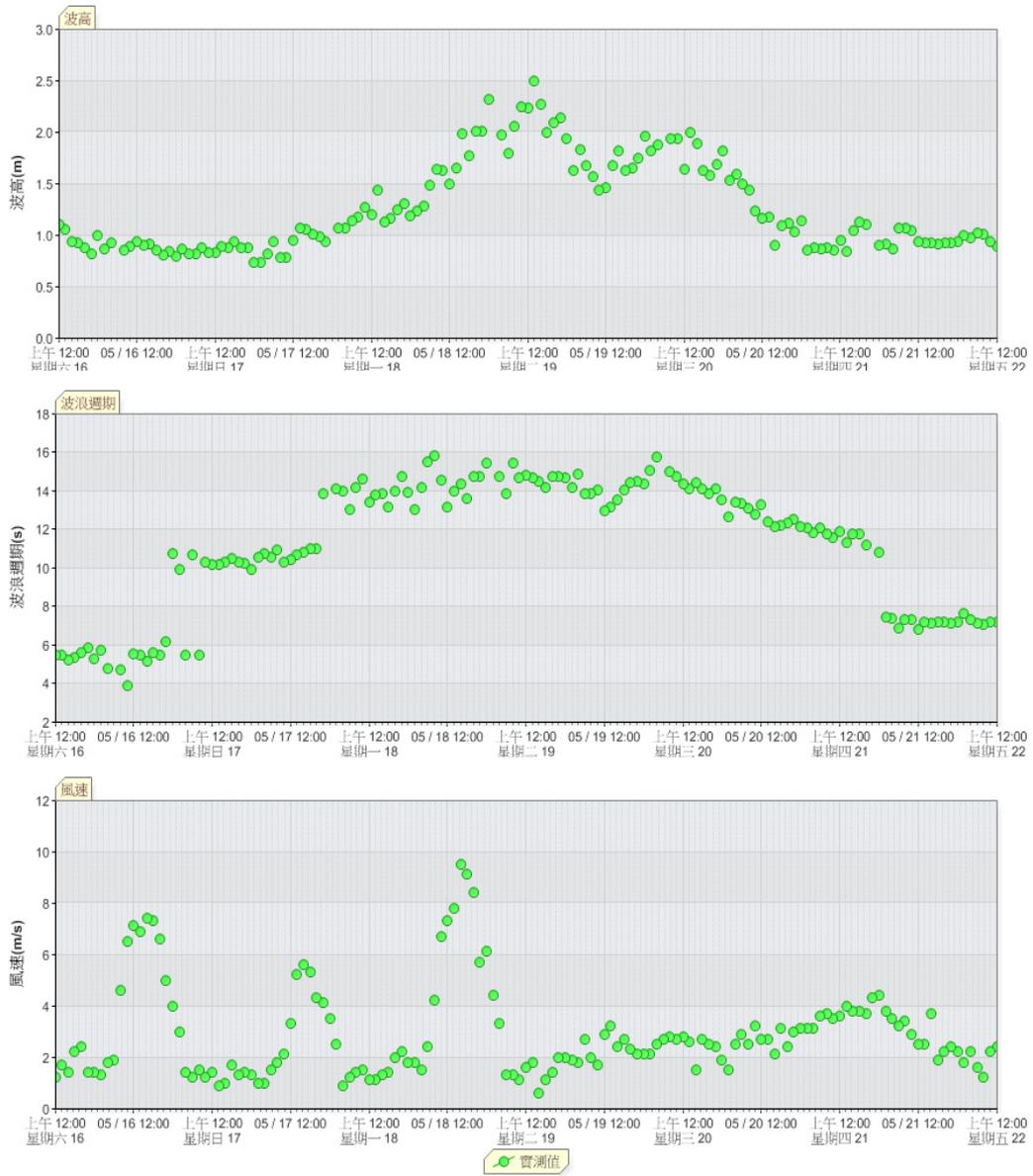


圖 3-19 在蘇澳港監測白海豚颱風(2015/05)之長浪示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程

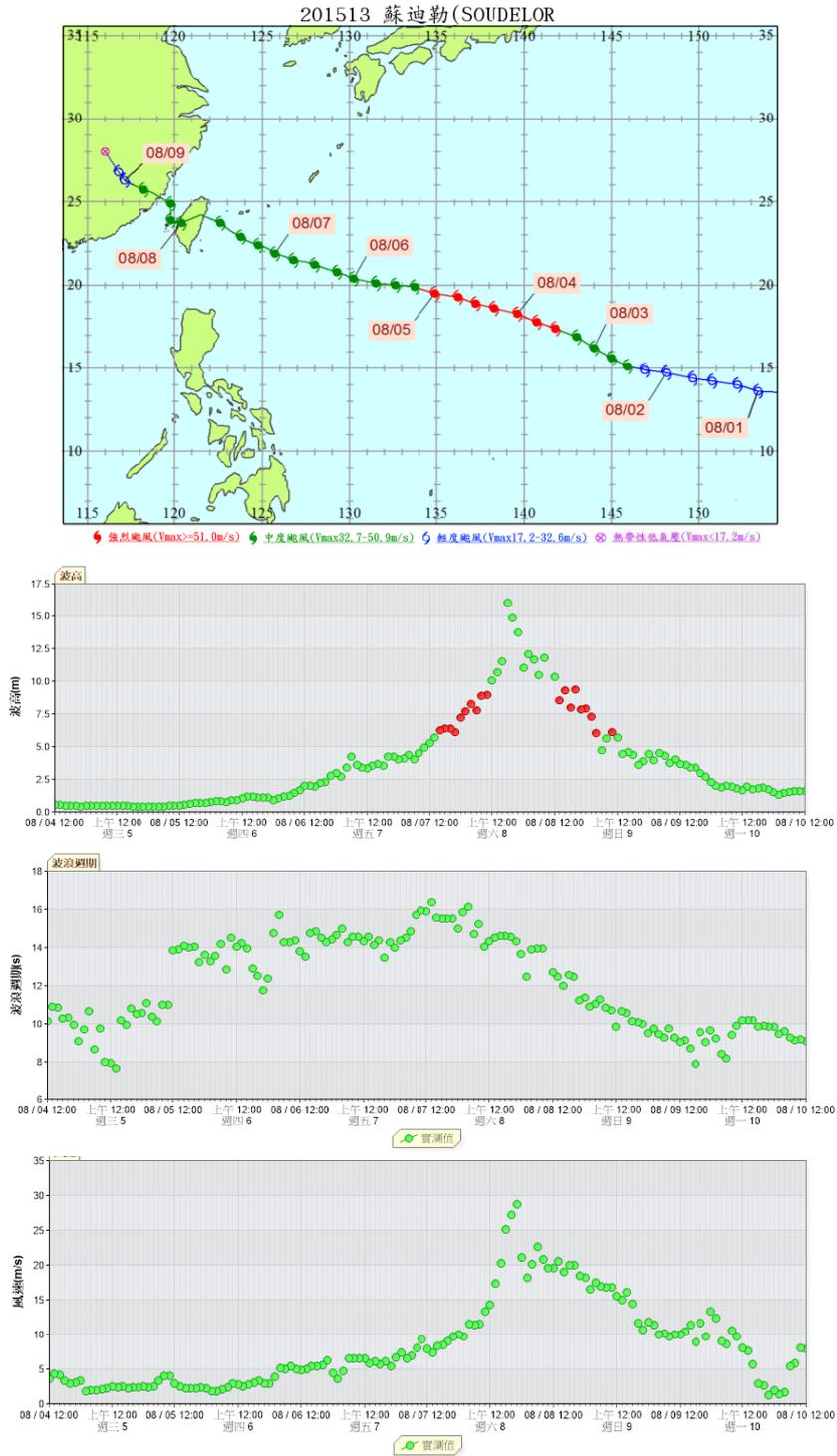


圖 3-20 蘇迪勒颱風(2015/08)之移動路徑(上)及在蘇澳港監測颱風長浪(下)之示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程

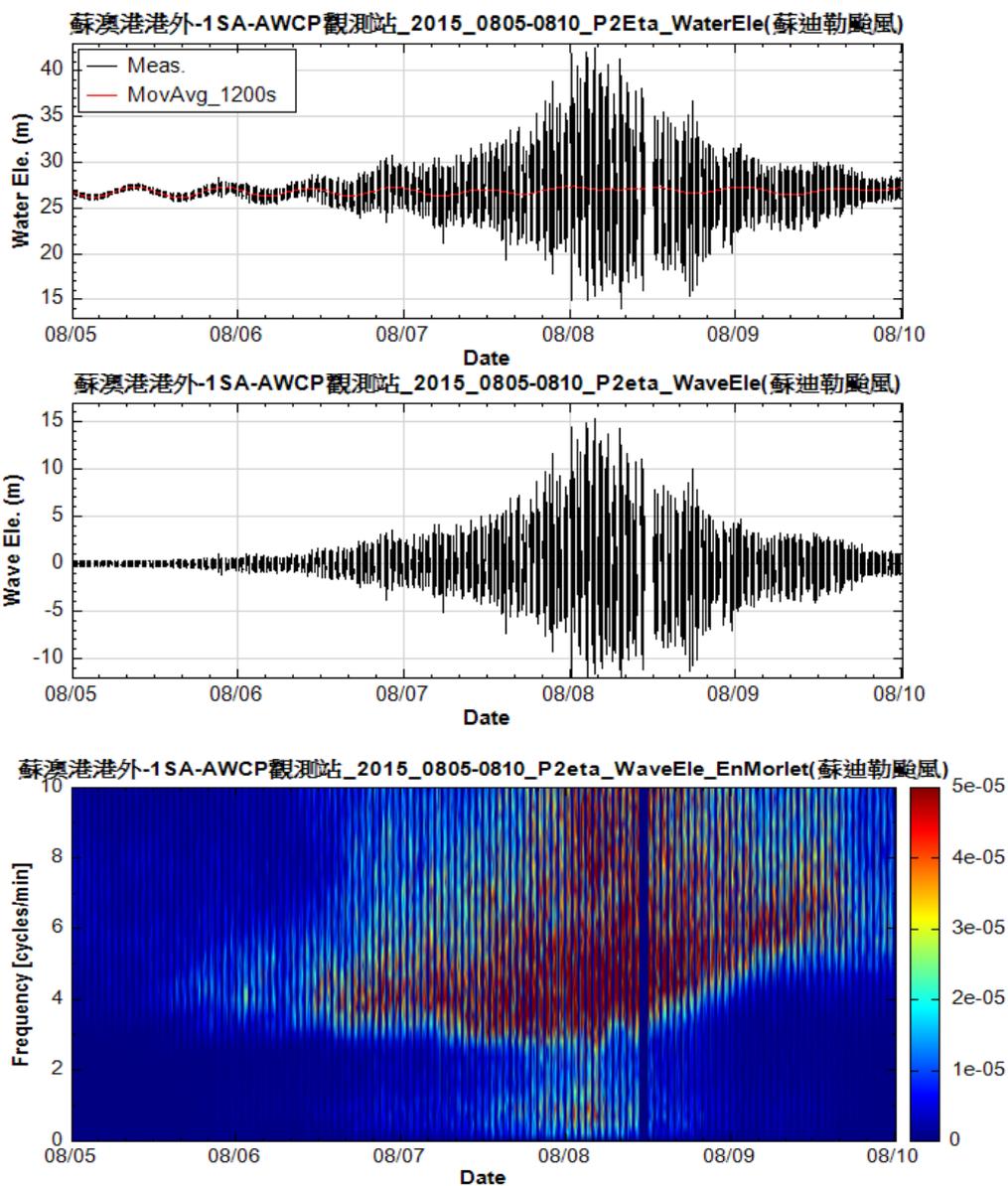


圖 3-21 於蘇迪勒颱風侵襲期間(2015/08)在蘇澳港近海監測波浪所得轉換壓力紀錄後之原始 1Hz 水位時序訊號(上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中)與其時頻分析圖(下)

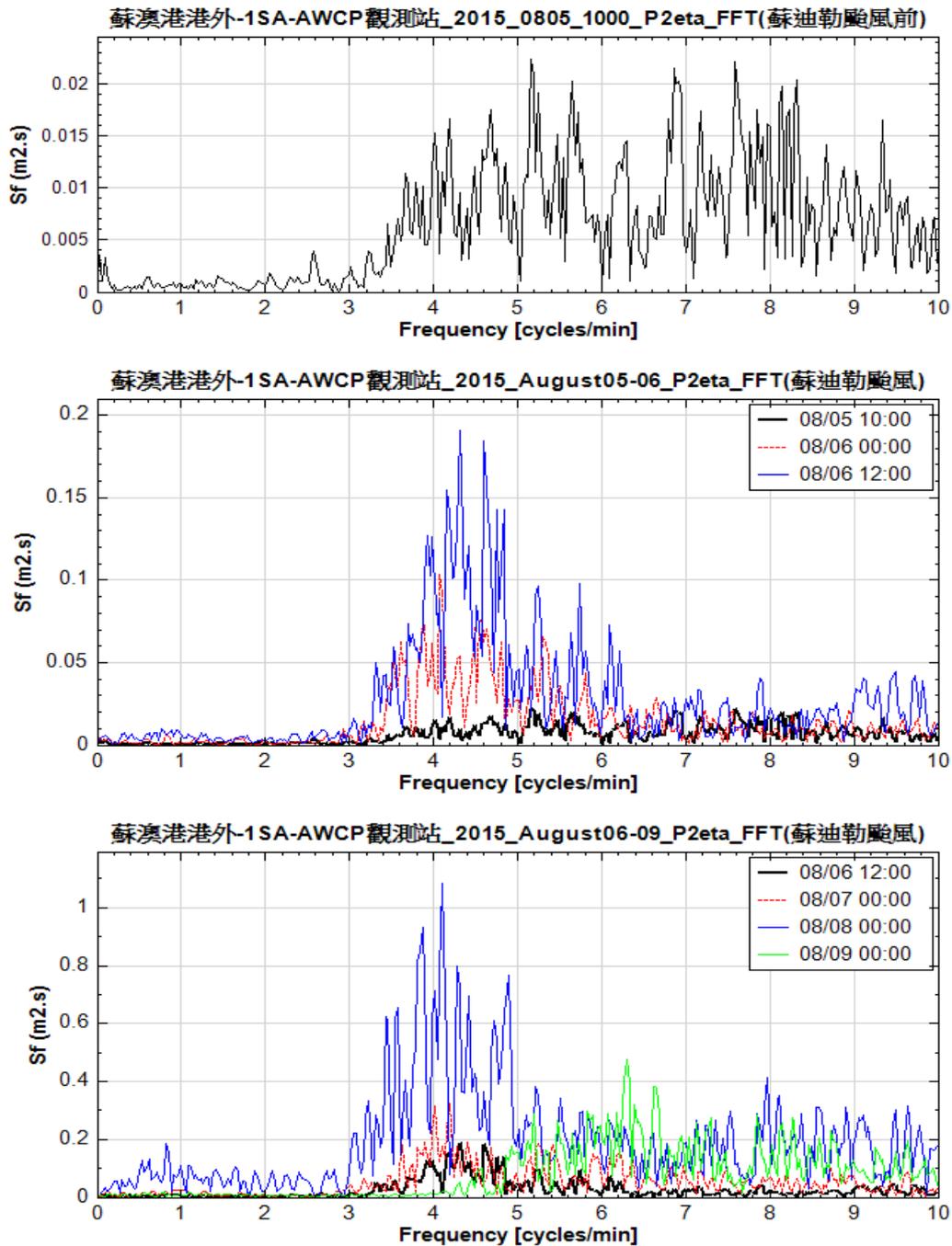


圖 3-22 在蘇澳港近海於蘇迪勒颱風侵襲期間(2015/08)颱風長浪在不同時間階段之分時波譜變化

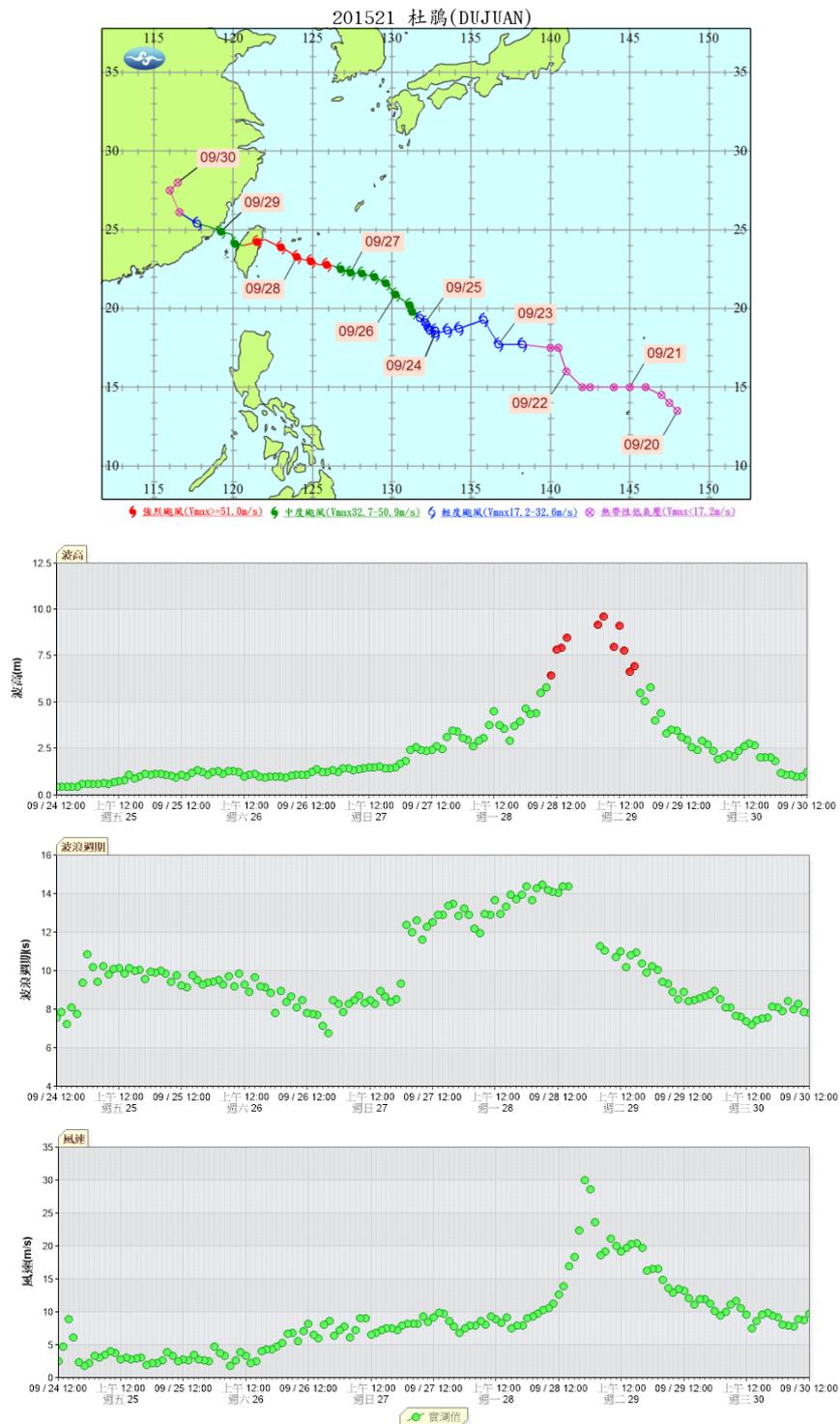


圖 3-23 杜鵑颱風(2015/09)之移動路徑(上)及在蘇澳港監測颱風長浪(下)之示性波高(上)、尖峰週期(中)與平均風速(下)之逐時演化歷程

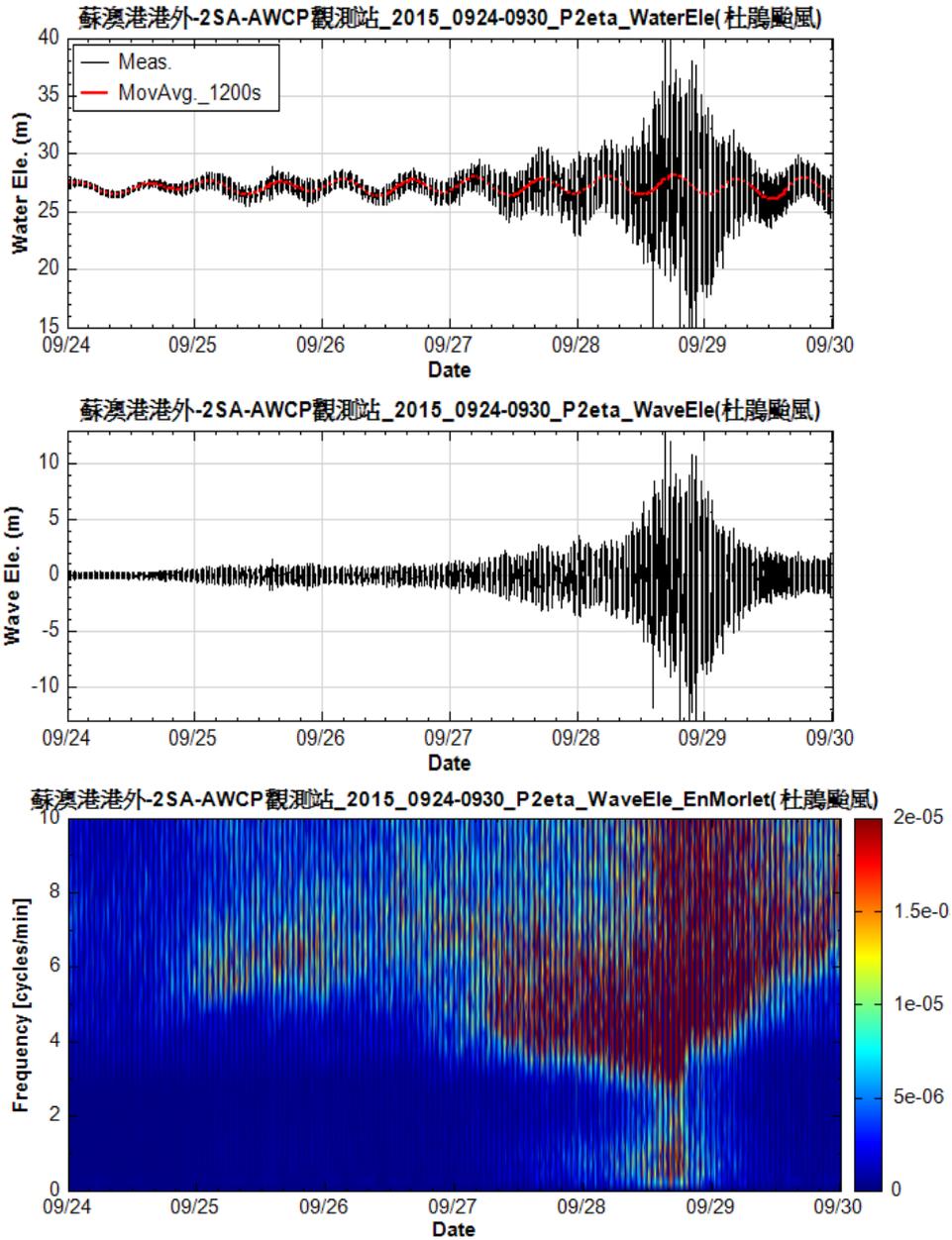


圖 3-24 於杜鵑颱風侵襲期間(2015/09)在蘇澳港近海監測波浪所得轉換壓力紀錄後之原始 1Hz 水位時序訊號(上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中)與其時頻分析圖(下)

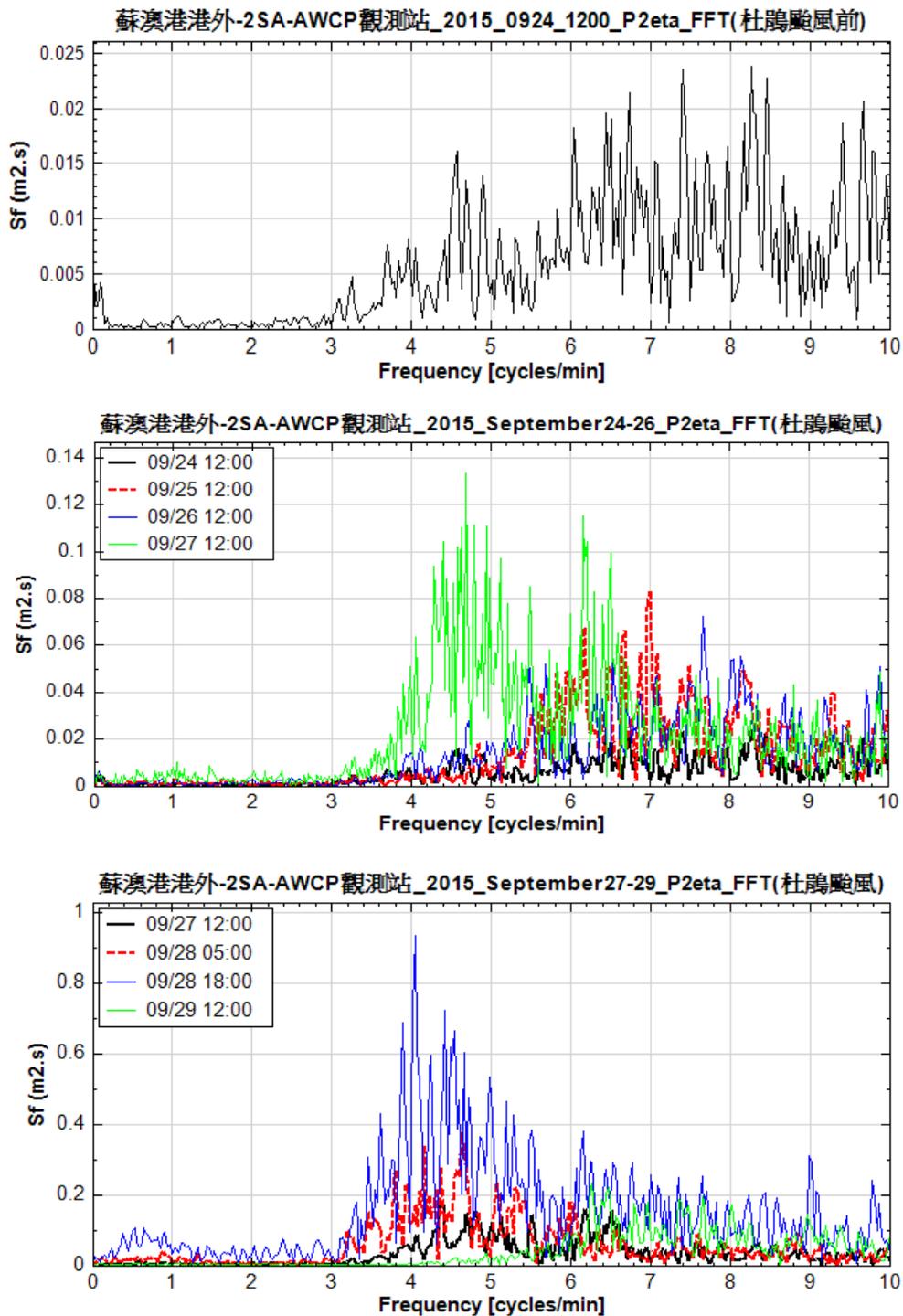


圖 3-25 在蘇澳港近海於杜鵑颱風侵襲期間(2015/09)颱風長浪在不同時間階段之分時波譜變化

### 3.5 颱風長浪之判識

對於西太平洋中生成的任何颱風，無論行進路徑、移動速度及強度變化，更無論其後來是否發展為發布警報颱風，只要氣象上預測它的行徑係由東往西趨近於臺灣東部海岸，則自該颱風由熱帶低氣壓發展、生成為輕度颱風開始，長浪群波之傳播速度，平均皆可以每日 800 公里行進。因此，對於颱風長浪之判識，從颱風氣象預報資訊中，掌握颱風生成時，其與臺灣東部海岸間之距離，即可簡易估計颱風長浪之初始影響時間。隨後，配合蘇澳港或花蓮港近海之海象即時監測資訊(颱風與季風浪演化歷程特性甚相似，擇一即可!)，當監測波浪之尖峰週期  $T_p$ ，自低於經常性風浪之 10 秒而突昇至 12 秒以上，即可判定颱風長浪之能量，已超越既有一般風浪或季風浪之能量。在此情況下，僅管當時海況一般，示性波高尚小，通常不及 1.5 公尺，但仍意謂傳達臺灣近海之長浪，已在持續群聚成長。此後，若颱風長浪之尖峰週期始終維持在 12 秒以上，但示性波高始終無法超越 1.5 公尺，則意謂該颱風所生成長浪之影響及衝擊性有限，對臺灣近海尚不致造成危害；惟若示性波高超越 1.5 公尺，這即表示該颱風前、後期衍生之長浪，在近岸海域將因消散不易而致堆疊擁積，並將促使長浪示性波高快速疊加增高且變大(通常，在此階段後 10 小時內，示性波高將可達最大值!)，進而在近海導致較惡劣之海況，同時也促使波浪在近岸灘區之溯升，更不穩定且難以預測，因而，常會引發“瘋狗浪”事件。

此外，就近期對臺灣近海颱風長浪演化歷程之研究觀察，概略可判別：一般經常性風浪之尖峰週期，不及 10 秒；受熱帶性低氣壓影響下，尖峰週期約可達 10 秒；而當颱風長浪之能量較一般經常性風浪優勢時，則輕度颱風所衍生之尖峰週期可達約 12 秒；中度颱風約 14 秒；強烈颱風則約可高達 16 秒以上!

當颱風長浪影響優於一般經常性風浪時，關於颱風長浪尖峰週期  $T_p$  會清楚陳現突昇(jump)之跳動現象，就多次應用蘇澳港及花蓮港波浪監測之分析結果做校驗，並與季風波浪及經常風浪做比較、對照，可

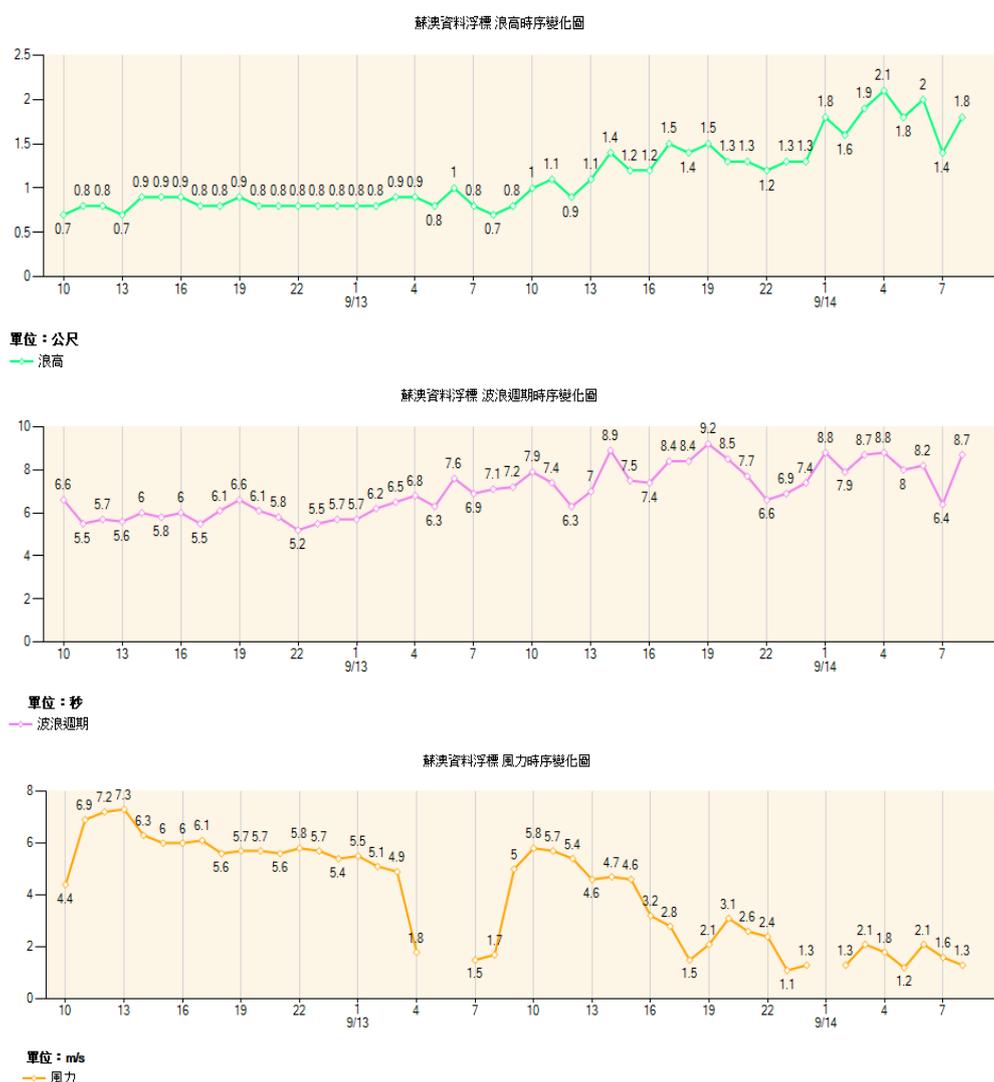
發現其係颱風長浪週期所獨特具有的特性。主要之成因，分析、判識如下：

針對近岸海域量測之波動，若就波高或波動能量之變動特性而論，波高的增減或波浪能量之高低變化，必然要連續且不應有突變之現象，而且針對週期之變動特性，若就 $T_{\frac{1}{3}}$ 、 $T_{\frac{1}{10}}$ 、 $T_Z$ 或是 $T_{01}$ 、 $T_{02}$ 、 $T_S$ 而論，由於其在個別波統計及波譜分析上皆具平均特性，因此，這些週期長短之增減變化，仍必然會連續且不會發生突變，參見2018年9月山竹颱風影響期間蘇澳港資料浮標之波高與週期逐時演化歷程，如圖3-26所示。

只有尖峰週期 $T_p$ ，因其在波譜分析上，特別用以指示波動監測紀錄期間，具有最優勢或最高能量之波動成分。而很巧妙的是，由於平常期間及強季風期間，在近岸海域量測風浪之尖峰週期，一般大多僅會在小於4~10秒之高頻段間，且會陳現“連續”變動現象；但颱風長浪或湧浪，因其係皆由強度在輕度颱風以上之強風速(>17 m/s)所造成之波浪，故其本質之尖峰週期，經過長距離之波動傳遞演化，通常即會達10秒以上，且主要分布在12~20秒間，參見圖3-22及圖3-25所示，也因此，在近岸海域量測波浪，若其成分綜合包括風浪與湧浪成分，則其尖峰週期之陳現，必然應隨風浪與湧浪中，具有較高或具優勢能量之波動成分而變動。換言之，當尖峰週期低於10秒，這意謂經常性風浪成分之主要能量仍優於湧浪；而當尖峰週期躍昇至12秒以上，則意謂湧浪成分之主要能量，已明確優於風浪。

綜合而對於颱風長浪之判識或對其波高與週期之全程演化歷程，若有調校妥適的颱風波浪數值推算模式，則配合預測準確的颱風移動路徑、移動速度、颱風強度等颱風參數，將可有效、全面、充分且精準的加以掌握(Liang, 2014)! 僅管如此，在西太平洋海域，每年颱風發生頻繁，平均有高達26.32個(氣象局，2017)，且並非每個颱風均可受到政府權責單位或社會媒體重視(一般僅重視及關注發布海陸警報之颱風)。因此，針對必定會衍生長浪並衝擊臺灣東部近海之颱風而言，無論颱風移動路徑、移動速度、強度等之變化，更不論是否發佈颱風警

報，在目前尚缺乏經常性颱風長浪成長演化資訊之情況下，替代性地依據漸趨準確之氣象預報資訊，配合可靠地海象即時監測資訊，則結合颱風長浪在臺灣東部近海所陳示(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)發達成熟；及(5)減衰消退等 5 個主要之波高與週期時變共通特性(莊、曾，2015；2016)，將可簡易、有效、全面、充分且準確的完成判識!



資料來源：即時海況，中央氣象局。

**圖 3-26 山竹颱風影響期間(2018/09)蘇澳港資料浮標之波高與週期及風速之逐時演化特性**

## 第四章 季風波浪特性分析

### 4.1 臺灣近海之季風波浪監測

季風，主要係因海洋與陸地間季節性溫差所導致之大尺度空氣環流，並以亞洲的南部和東部最為顯著(氣象局，2014)。基於地理位置及海域環境因素，臺灣四季的風，明顯會受大陸及海洋氣候型態所影響。

在每年 12 月至次年 2 月間之冬季，由於東亞大陸通常較海洋寒冷，以致陸上空氣的密度較大，氣壓較高，大量寒冷而乾燥的空氣，於是因氣壓差而起風，並自陸上吹向海洋，外加科氏力(Coriolis force)之影響，因此，在東亞北緯 30 度以南地區，經常必需面對盛行的東北季風(氣象局，2014)。相關來自西伯利亞的大陸冷高壓天氣系統圖，如圖 4-1 與圖 4-2 所示，而相關之天氣圖與對應之風場，參見圖 2-3 所示。

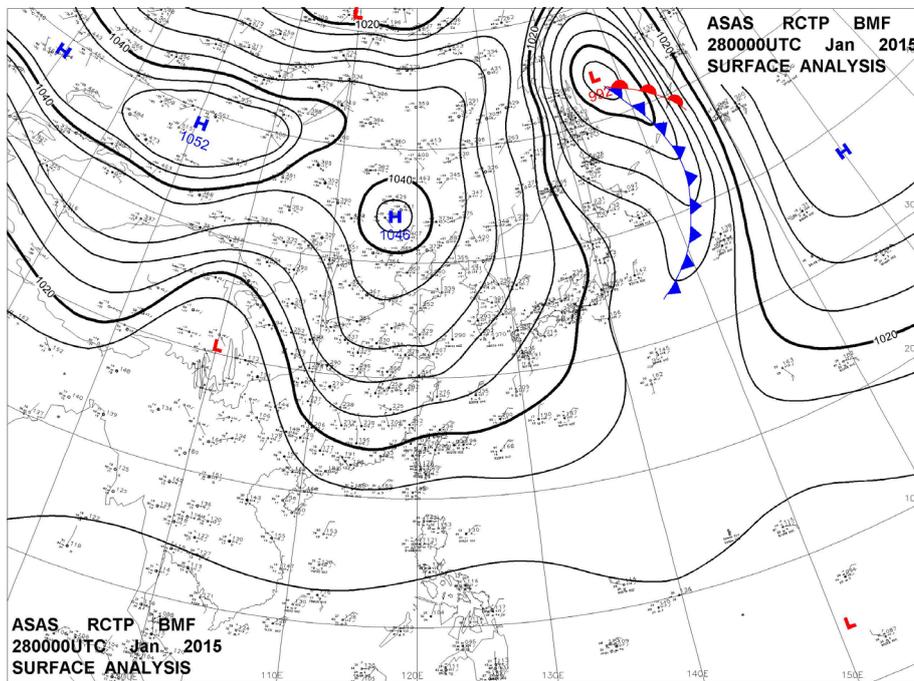


圖 4-1 可在臺灣海域衍生強勁東北季風之大陸冷高壓天氣系統  
2015/01/28 0000UTC

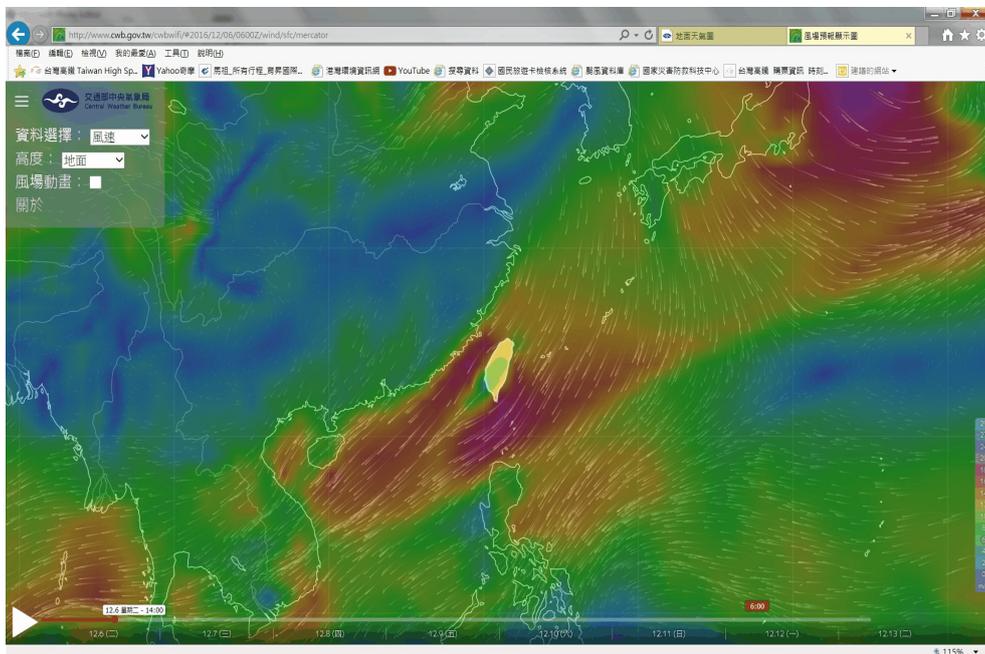
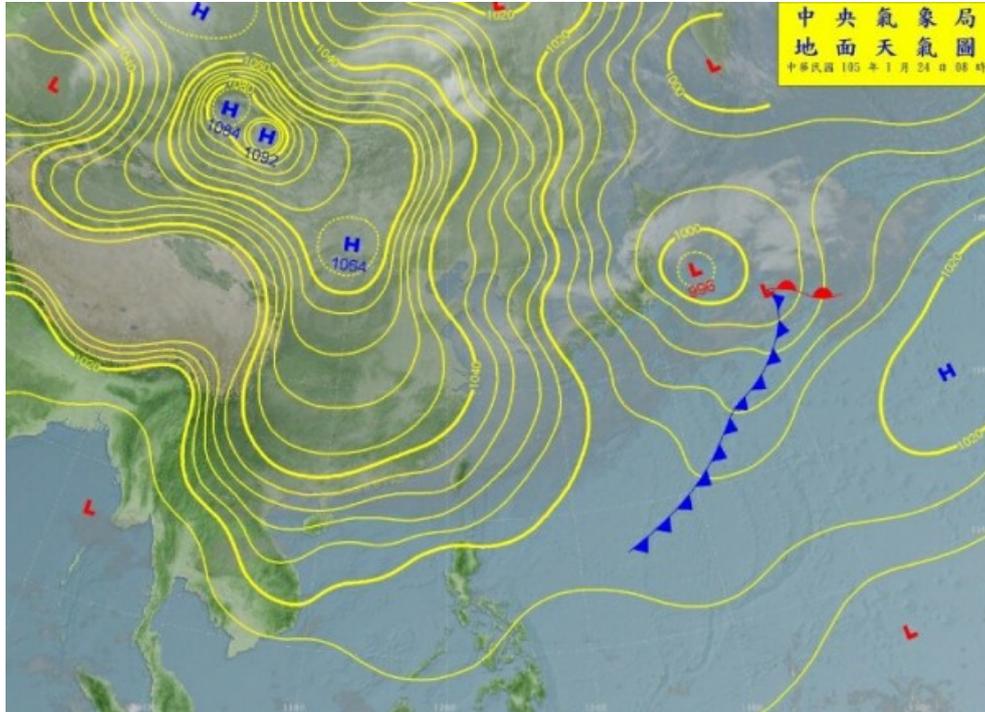


圖 4-2 可在臺灣海域衍生強勁東北季風之大陸冷高壓天氣系統與其風場預報圖(2016/01/24 0800LST 帝王寒潮期間)

在夏季，概略自每年 5 月至 8 月期間，由於亞洲南部陸地溫度通常較印度洋高，風因而會從氣壓較高之海洋吹向氣壓較低之陸地，外加科氏力之偏轉效應，所以，在海洋性高氣壓影響下，臺灣海域，特別是臺灣海峽南段海域，海氣象狀況，總體上經常皆會受梅雨鋒面與西南季風天氣系統所影響。部分夏季期間，尚由於熱帶海洋上會發生低氣壓的漩渦或熱帶氣旋，當該熱帶氣旋之近海面最大風速到達或超過每小時 62 公里(17.2 m/s)時，即為「颱風」(氣象局，2017)。相關夏季季風及颱風之天氣圖與對應之風場，參見圖 2-3，或可自中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/>)擷取預報資訊，如圖 4-3 所示。

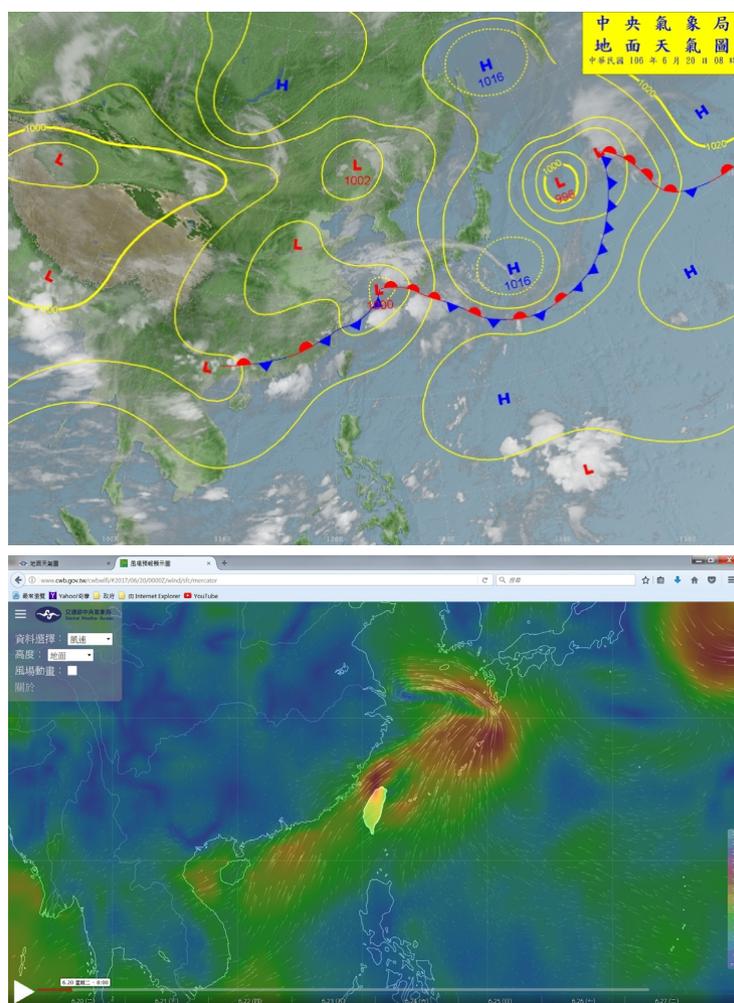


圖 4-3 臺灣海域夏季 2017/06/20 08:00 之西南季風天氣系統(上)與對應之地面風場(下)

為科學研究與工程應用之需要，早自 1986 年開始，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(IHMT)即著手進行基隆、臺中、高雄、花蓮、蘇澳等臺灣 5 個國際港近海長期性海氣象資料之蒐集、觀測、整理及分析歸納。而自 2005 年後，對於風力之觀測，即陸續採用美國 Gill 廠牌 WindObserver™ 型式之二維超音波風速風向計。該儀器之觀測能量範圍，最大風速可達 75 m/sec。現今，風速及風向之取樣頻率為 1 Hz，並以每小時整點前連續 10 分鐘之量測作為逐時紀錄，而後，經算術平均及最大值分析後，即可測得 10 分鐘平均與最大陣風之風速與風向。

至於 5 個國際港近海長期性波浪資料之監測，在其起始時間分別為：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 公司出品同時掛載有聲波計 (AST)與壓力計(Press.)之超音波式波向波高與剖面海流儀(AWAC)，如圖 2-2 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，從每小時第 10 分鐘開始，逐時施測 2048 筆紀錄。

為總體性地檢視臺灣環島海域季風強盛期之風速與其所衍生風浪特性之變化，應用 IHMT 之海氣象即時監測與傳輸顯示系統，針對 2014 年 12 月~2015 年 2 月冬季之東北季風盛行期間，分月依序以藍、紅、綠、黑、紫色彙整基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、臺中港等國內五大商港海域既有波浪與風速之逐時監測紀錄，結果分別可得如圖 4-4 所示。圖中，波浪之波高與週期，分別係為示性波高( $H_s$ )與尖峰週期( $T_p$ )；而風速，係為 10 分鐘平均風速。由圖觀察，首先，就風速時變性綜合而論，受大陸冷高壓天氣系統(參見圖 4-2)發展之總體影響，臺灣環島五大商港之季風，由於地理區位不同，外加區域地形遮蔽效應，風速強弱彼此存在差異，惟起伏變動趨勢卻約略相近似，風速並以臺中港最強勁，一般可大於 5 級或 8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，約可達

10 級或 24.5~28.4 m/s。因此，大陸冷高壓天氣系統影響臺灣海域之程度，似乎可以用臺中港冬季風速之強弱，作為簡易地判別指標。

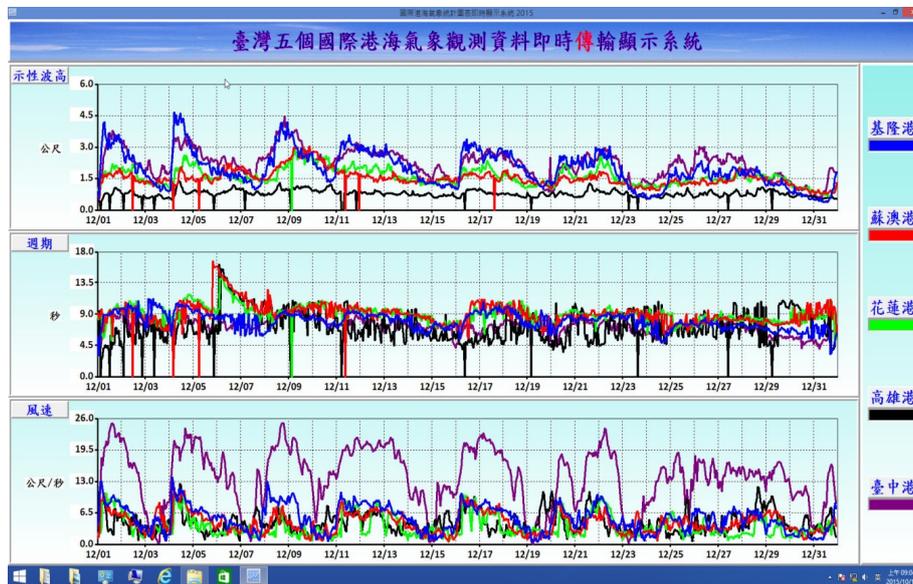


圖 4-4 臺灣 5 個國際港在 2014 年 12 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化

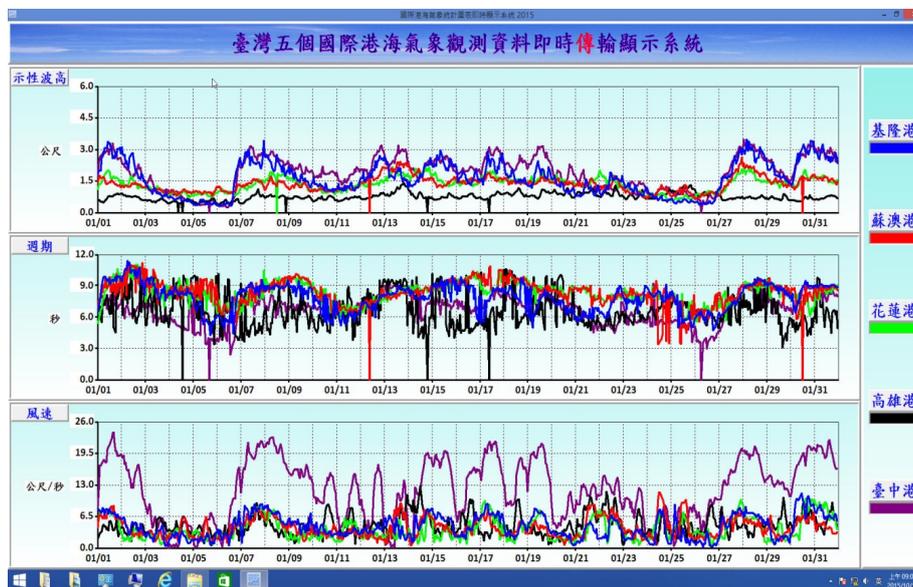


圖 4-4(續) 臺灣 5 個國際港在 2015 年 1 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化

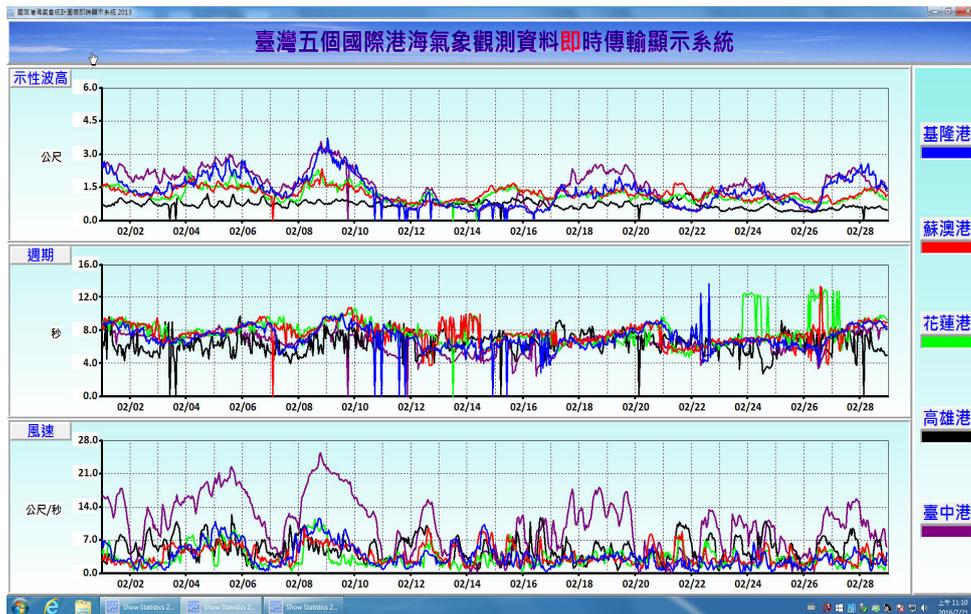


圖 4-4(續) 臺灣 5 個國際港在 2015 年 2 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化

再由圖綜合觀察相關對應之風浪時變特性可見，分別位處臺灣北部與中西部之基隆港與臺中港，其較大之風浪波高，可超過 4.5 公尺，且全冬季之波高大小，彼此皆甚相近似，並皆會隨臺中港風速之強弱而陳現相似地高低變動趨勢；而分別位處在臺灣東北部與東部之蘇澳港與花蓮港，全冬季之風浪波高，彼此亦具有相近似之大小，只不過隨臺中港風速強弱而變動高低之趨勢並不明顯；而位處在臺灣西南部之高雄港，因地理位置洽對東北季風具有屏障與遮蔽優勢，故不僅風速微弱，波高亦最小。

至於，風浪週期之時變性，由圖綜合觀察可見，受冬季季風天氣系統發展之總體影響，臺灣環島五大商港之風浪，除了在 2014/12/6~7 期間受哈格比(HAGUPIT)颱風、2015/1/17~19 受米克拉(MEKKHALA)颱風、2015/2/13~15 受無花果(HIGOS)颱風之颱風湧浪影響外，尖峰週期( $T_p$ )之長短，一般約介在 5~10 秒間，最長不及 12 秒，隨風速強弱之變動幅度不大，惟仍與臺中港風速超過 6 級或 10.8~13.8 m/s 約略具有

關聯。

繼 2015 年之強聖嬰(El Niño)年之後，於 2016 年 1 至 6 月期間，因西太平洋海域完全無颱風形成，故臺灣環島海域之風浪，無需經風-湧浪之劃分(許 等，2012)，即可確認其單純皆為受季風影響所衍生之風浪，故皆可充分應用以檢視臺灣環島海域季風強盛期之風速與衍生風浪之變動特性。再應用 IHMT 之海氣象即時監測與傳輸顯示系統，針對 2016 年 1~3 月冬、春季之東北季風盛行期間，分月彙整國內五大商港海域既有波浪與風速之逐時監測紀錄，結果分別可綜整如圖 4-5 所示。圖中，波浪之波高與週期，分別係為示性波高與尖峰週期；而風速，係為 10 分鐘平均風速(莊 等，2015)。

首先，就圖 4-5 綜合觀察風速時變性可見，受大陸冷高壓天氣系統(參見圖 4-2)發展之總體影響，臺灣環島五大商港之季風，由於地理區位不同，外加區域地形遮蔽效應，僅管風速強弱彼此存在明顯差異，惟起伏變動趨勢卻相近似，風速並以臺中港最強勁，一般可大於 5 級或 8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，諸如在 1 月 23~24 日(帝王寒潮)、2 月 1~7 日、2 月 23~25 日、3 月 10~11 日、3 月 24~25 日等期間，強烈季風皆約可達 10 級或 24.5~28.4 m/s。可見，臺中港冬季風速之強弱，確實可應用以作為大陸冷高壓天氣系統影響臺灣海域程度之簡易示性與判別指標。

接著，就季風風浪之波高時變特性而論，再由圖 4-5 綜合觀察可見，分別位處臺灣北部與中西部之基隆港與臺中港，全冬季之波高大小，彼此皆甚相近似，且一致會隨臺中港風速之強弱而陳現相同之高低變動趨勢。兩港較大之風浪波高，可超過 4.5 公尺，在 1 月 23 日帝王寒潮發生期間，基隆港最大之波高，甚至可超過 6.0 公尺。另外，分別位處在臺灣東北部與東部之蘇澳港與花蓮港，全冬季之風浪波高，彼此大小亦甚相近似，只不過隨臺中港風速強弱而變動高低之趨勢較不明顯；至於位處在臺灣西南部之高雄港，因對東北季風恰具有地理地形之屏蔽優勢，故不僅風速微弱，波高亦最小。

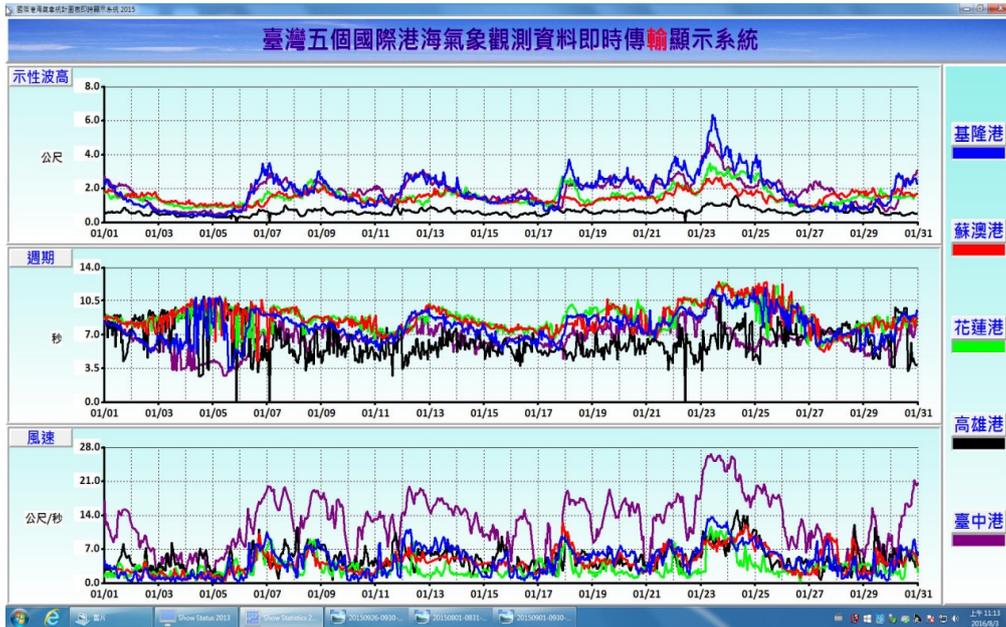


圖 4-5 臺灣 5 個國際港在 2016 年 1 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化

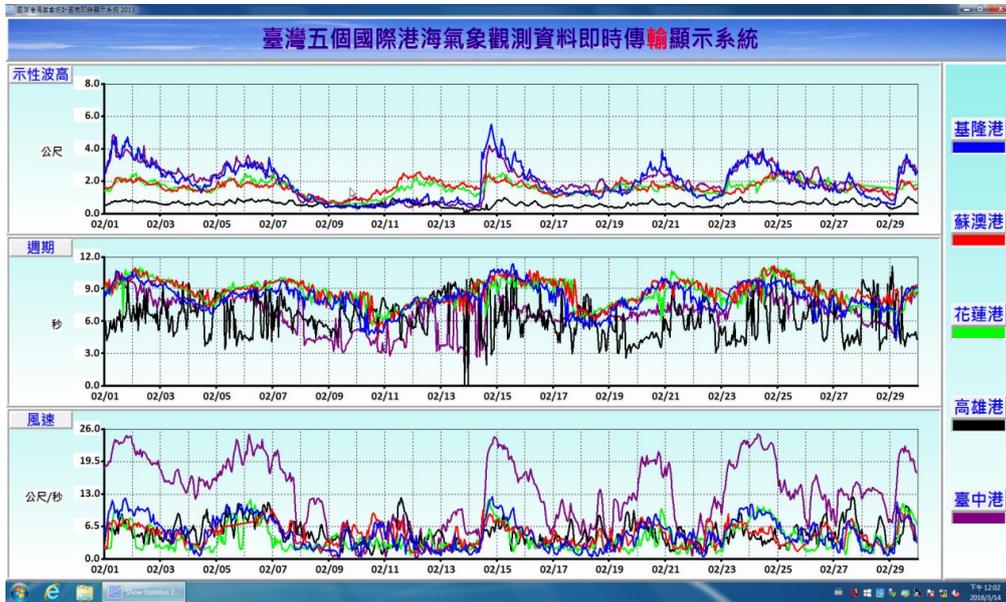


圖 4-5(續) 臺灣 5 個國際港在 2016 年 2 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化

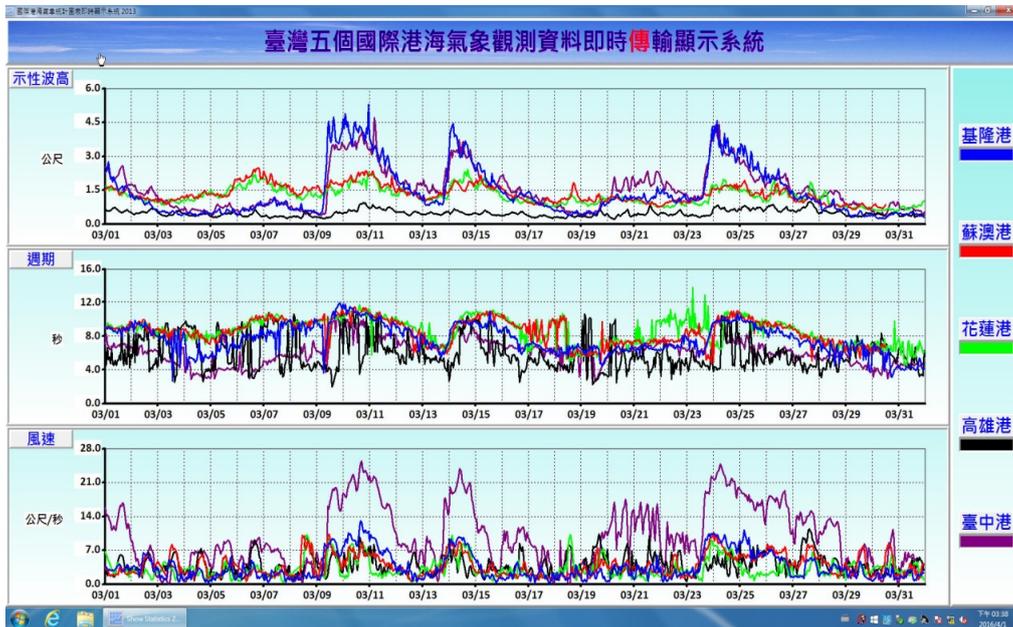


圖 4-5(續) 臺灣 5 個國際港在 2016 年 3 月實測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及對應平均風速(下)之逐時變化

最後，就圖 4-5 中之季風風浪週期時變特性綜合觀察可見，在冬季季風天氣系統發展之總體影響下，臺灣環島五大商港之風浪週期，除了高雄港外，其長短之變動趨勢，約略與臺中港風速超過 6 級(10.8~13.8 m/s)之程度具關聯性，只是變動幅度不大。尖峰週期之長短，一般約介在 5~10 秒間。特別值得一提的是，在強烈季風期，當臺中港風速高達 24.5~28.4 m/s 或 10 級，季風風浪週期最長亦不會超過 12 秒。因此，相對於發達成熟期之颱風長浪，此一明確之週期門檻特徵，恰可以作為彼此區隔與判別之基準(莊、曾，2015)。

## 4.2 東北季風與區域風浪之關聯特性

考量大陸冷高壓天氣系統(參見圖 4-1 與圖 4-2)發展對區域總體之影響，在冬季季風盛行期間，為更詳細地檢視圖 4-4 所示因臺灣環島地理區位不同所造成風速與長浪特性之異同性及關聯性，因此，針對位

處臺灣北部與中西部之基隆與臺中港海域，以及位處在臺灣東北部與東部之蘇澳與花蓮港海域，再分月分別以藍色與紅色彙整 2014 年 12 月至 2015 年 2 月及 2016 年 1 月至 3 冬季期間之波浪與風速逐時監測紀錄，結果分別可得如圖 4-6 及圖 4-7 所示。

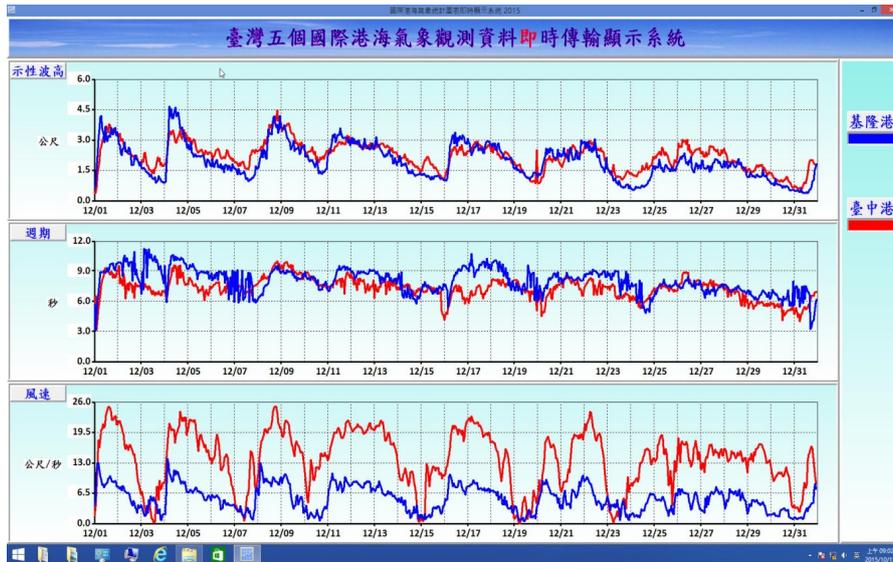


圖 4-6 基隆港與臺中港 2014 年 12 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

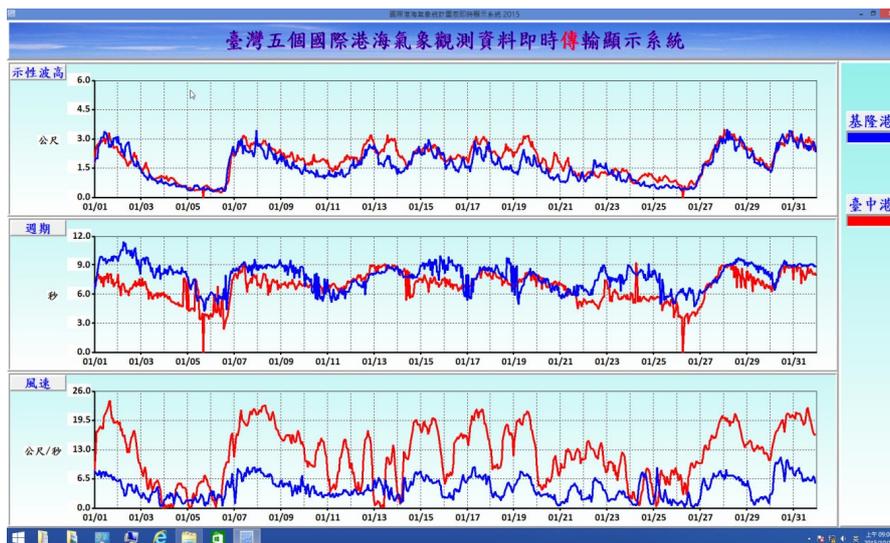


圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2015 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

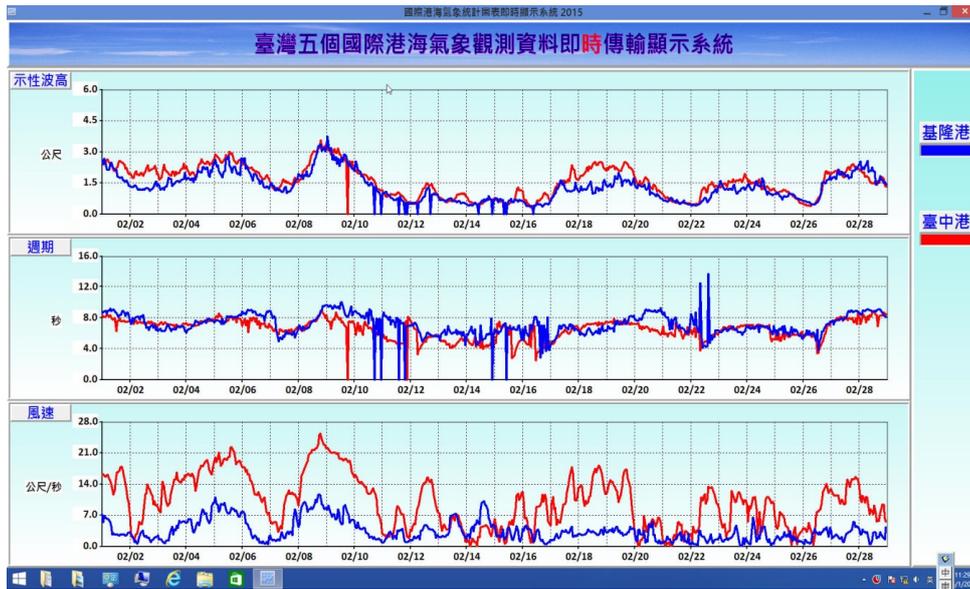


圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2015 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

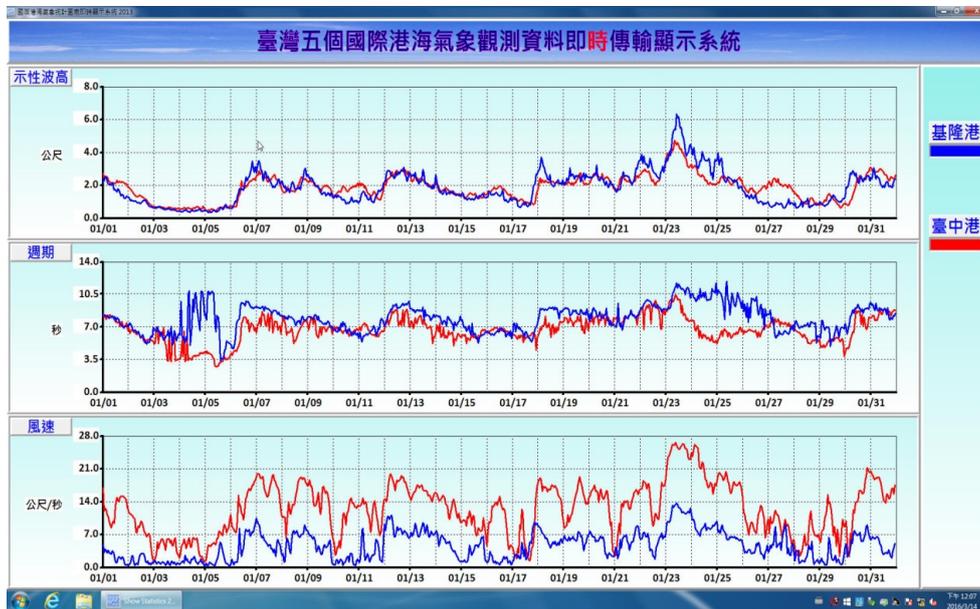


圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2016 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

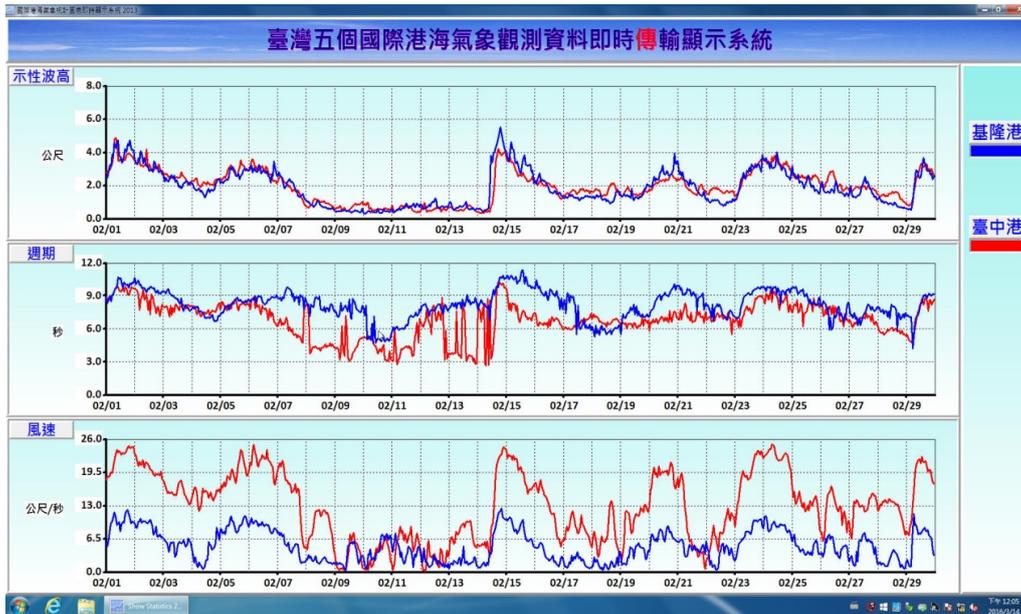


圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2016 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

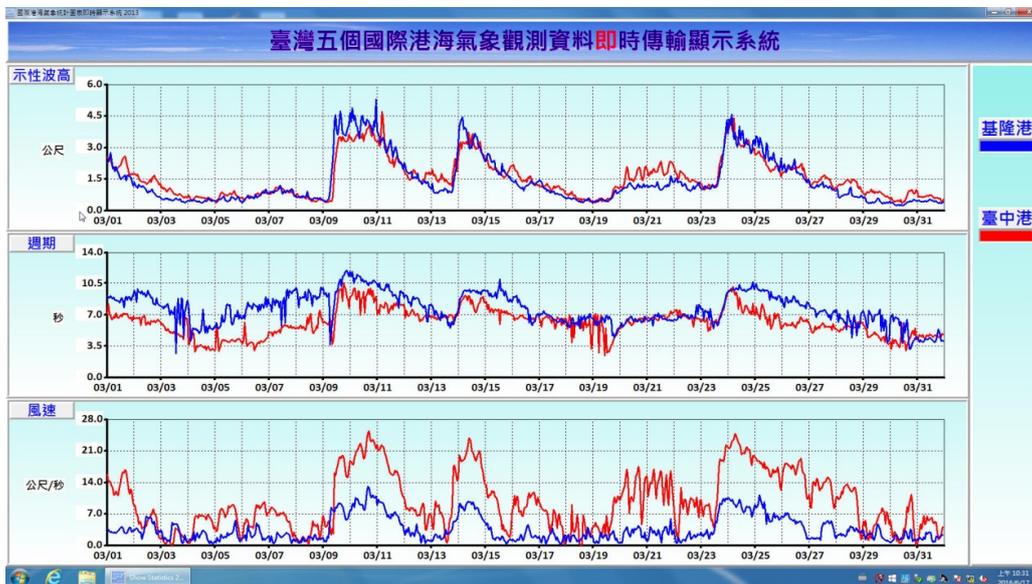


圖 4-6(續) 基隆港與臺中港 2016 年 3 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

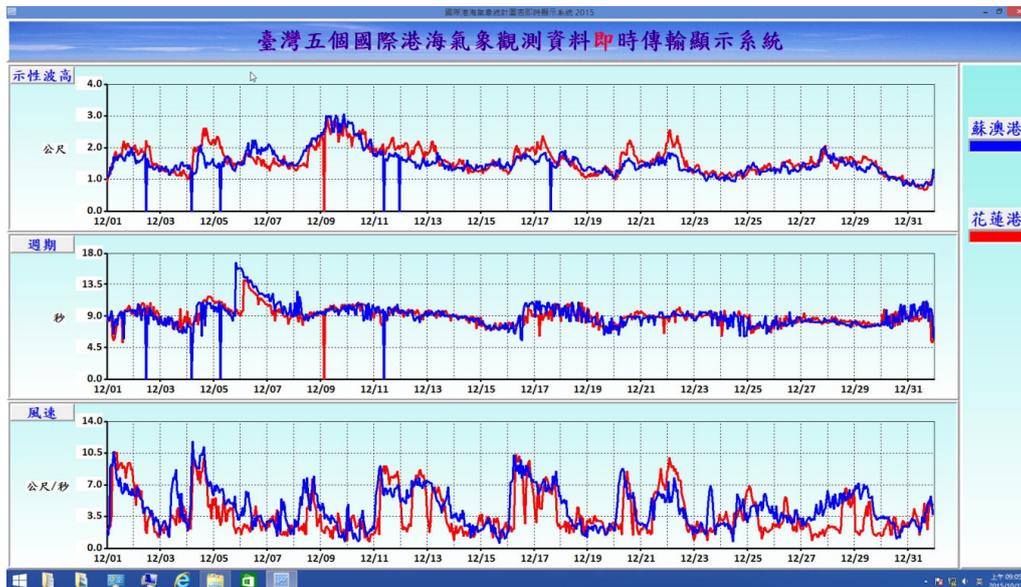


圖 4-7 蘇澳港與花蓮港 2014 年 12 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期 (中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

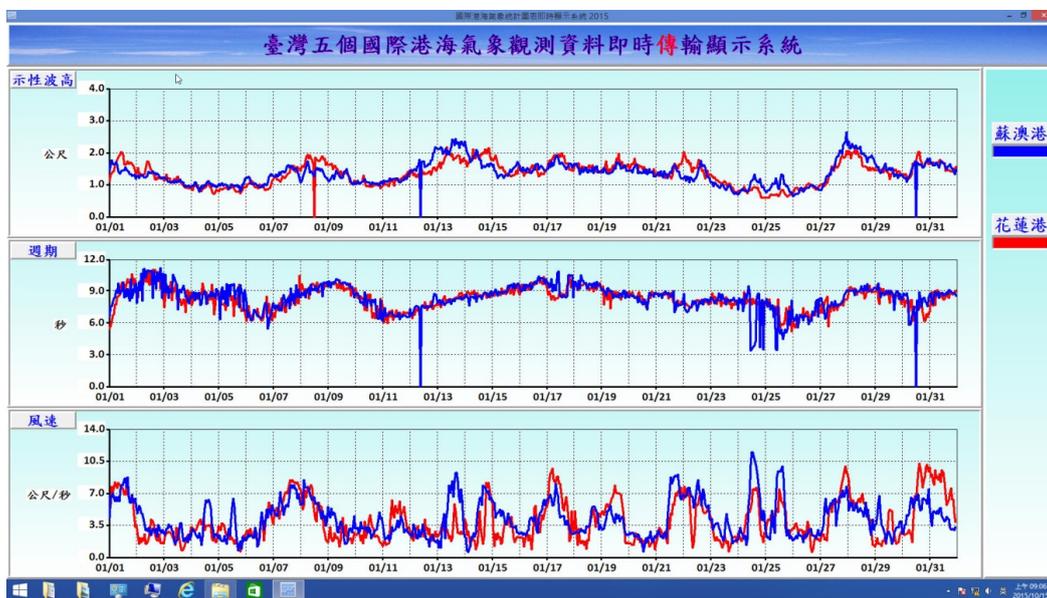


圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2015 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

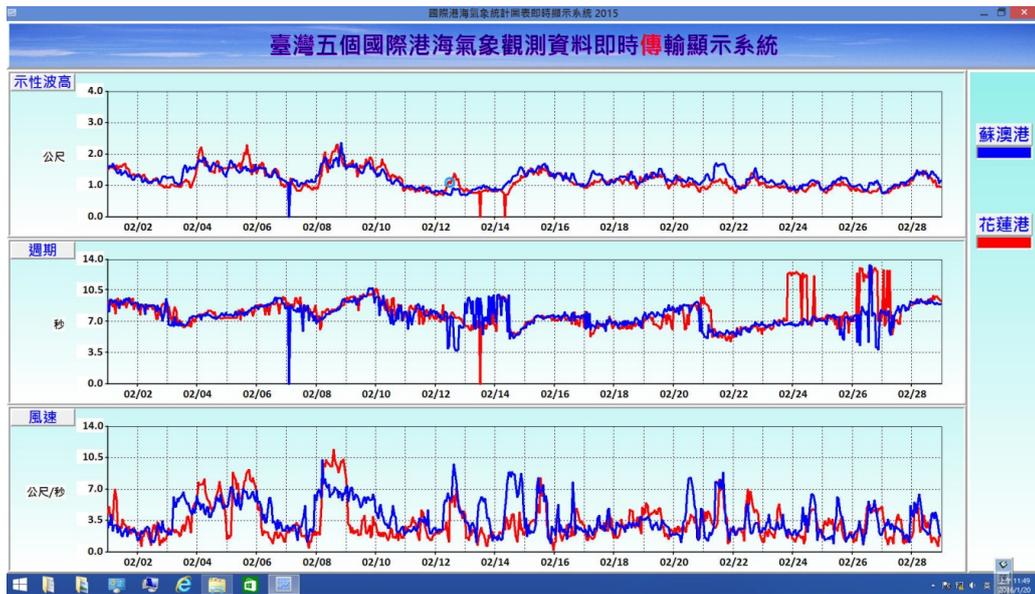


圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2015 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

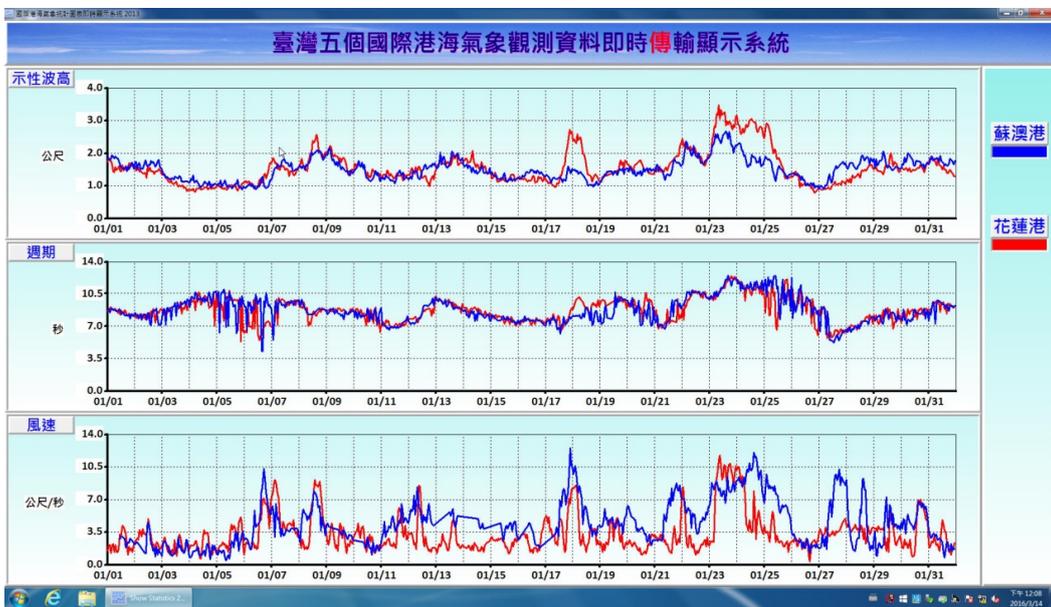


圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2016 年 1 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

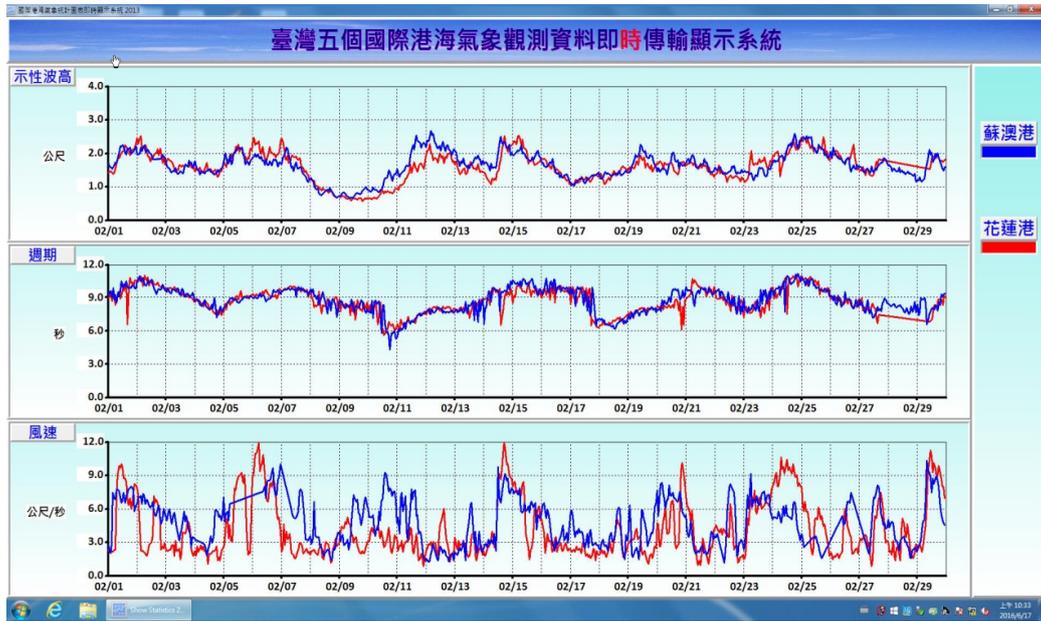


圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2016 年 2 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

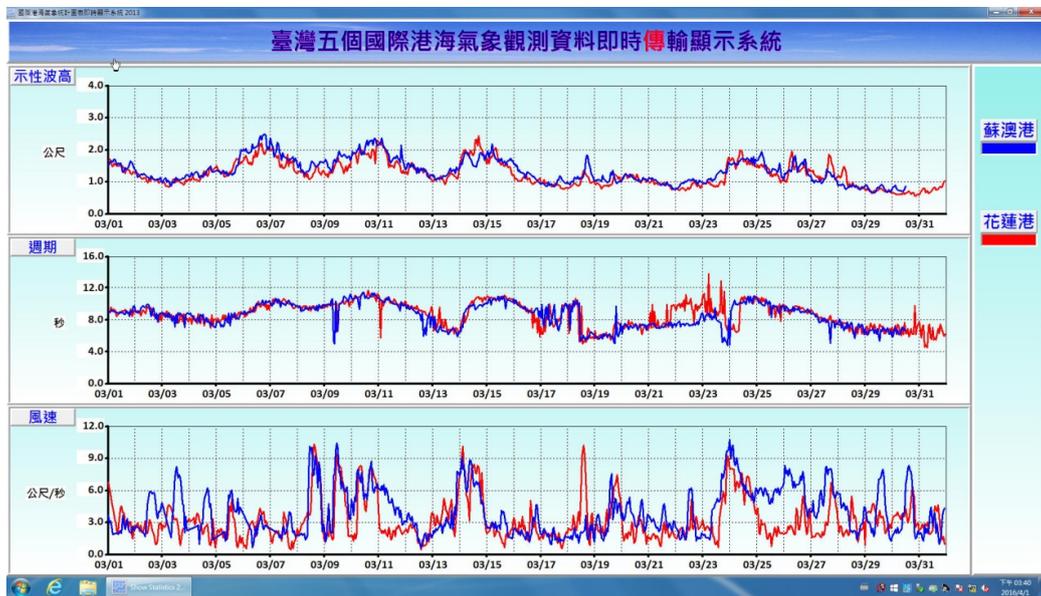


圖 4-7(續) 蘇澳港與花蓮港 2016 年 3 月監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)之相似逐時變化關聯性

首先，就圖 4-6 中位處臺灣北部與中西部之基隆港與臺中港海域而論，經由風速時變性之比較對照可見，儘管兩港之地理區位不同，但季風風速之強弱起伏，彼此間之變動趨勢卻甚相似，惟風速之大小，皆以臺中港較強勁，一般可大於 5 級或 8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，約可達 10 級或 24.5~28.4 m/s，且約為基隆港之三倍。這事實說明，區域性之地形，對風速影響極大。故若欲藉風速以充分反映東北季風對臺灣海域之影響程度，則臺中港實際上優於基隆港。

其次，再由圖 4-6 所示長浪時變特性之比較對照可見，基隆港與臺中港，儘管兩港之地理區位不同，沿海距離遙遠，相隔約 200 公里，但示性波高之大小與尖峰週期之長短，彼此卻皆甚相當，且明顯皆會隨臺中港風速之強弱而起伏變化，其中，較大之示性波高，約皆可達 4.5 公尺；而較長之尖峰週期，多在 12 秒以下，普遍約介在 5~10 秒間。因此，藉由以上風、浪之時變特性可確認，臺灣環島海域冬季之季風波浪，確實具有區域之總體性，且季風與其衍生風浪之特性，實際應皆可以臺中港作代表，或臺中港實際具有臺灣環島整體海域冬季季風波浪之指標性與代表性

接著，就圖 4-7 中分別位處臺灣東北部與東部之蘇澳港與花蓮港海域而論，經由風速時變性之比較對照可見，儘管兩港之地理區位不同，但季風風速之強弱起伏，彼此間仍具有近似一致之變動趨勢。部分時期，如 2015 年 2 月 20~28 日，更明顯可見具有日週期特性之海陸風。而風速之大小，兩港甚為相當，一般皆小於 5 級或在 10.7 m/s 以下。這事實說明，臺灣東部海域總體受東北季風之影響程度，實質上具有區域之一致性。

最後，再由圖 4-7 中風浪時變特性之比較對照可見，蘇澳港與花蓮港，儘管兩港之地理區位不同，但示性波高大小與尖峰週期長短，除了受颱風湧浪影響而會略具些微差異外，較大之示性波高，一般小於 3.0 公尺；而較長之尖峰週期，亦多在 12 秒以下。至於，長浪波高與週期之逐時變動特性，雖然其與兩港所在區域風速之關聯性不如基隆

港與臺中港明確(參見圖 4-6)，但彼此亦仍極相近似。因此，可進一步確認，在東北季風天氣系統之總體影響下，位處臺灣東部海域之蘇澳港與花蓮港，其冬季季風與衍生風浪之特性，兩港實際上可彼此互補替代。

為具體分析並評估臺中港與基隆港海域冬季季風波浪之密切關聯性，首先，以臺中港風速大於 5 級或 11 m/s 界定季風強盛期，再分別定義相關係數(correlation coefficient)  $r$  及推定係數  $R^2$  (determination coefficient)如下：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \dots\dots\dots(4-1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots(4-2)$$

式中， $x_i$ 、 $y_i$  分別為臺中港或基隆港冬季季風強盛期之實測風速或長浪波高與週期； $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  及  $Y_i$  分別為對應之平均值及經迴歸分析之推算值； $N$  為資料總數。接著，在 2015 年 12 月~2016 年 5 月之冬、春季，針對季風強盛期，分別檢選臺中港(TC)與基隆港(KL)之長浪波高  $H_{TC}$ 、 $H_{KL}$ ，各可得 1235 筆紀錄資料，隨後，整理該兩港波高之關聯圖，因而可得如圖 4-8 所示，且依據式(4-1)計算，可得其相關係數高達 0.839，而進行迴歸分析，並依據式(4-2)計算，可得

$$H_{KL} = -0.3 + 1.11 H_{TC} \dots\dots\dots(4-3)$$

推定係數亦高達 0.703。另外，在 2013 至 2016 年冬季季風期間，基隆港與臺中港分月監測波浪示性波高( $H_s$ )、尖峰週期( $T_p$ )及二階譜週期( $T_{m02}$ )之相關係數，經計算可詳列如表 4-1 所示。由表觀察可見，臺中港與基隆港，僅管地理區位不同，近岸地形具差異，風速強弱有別(基隆小於臺中)，但風浪波高，彼此仍極為相關，只是，基隆港之波高，

略大於臺中港而已。

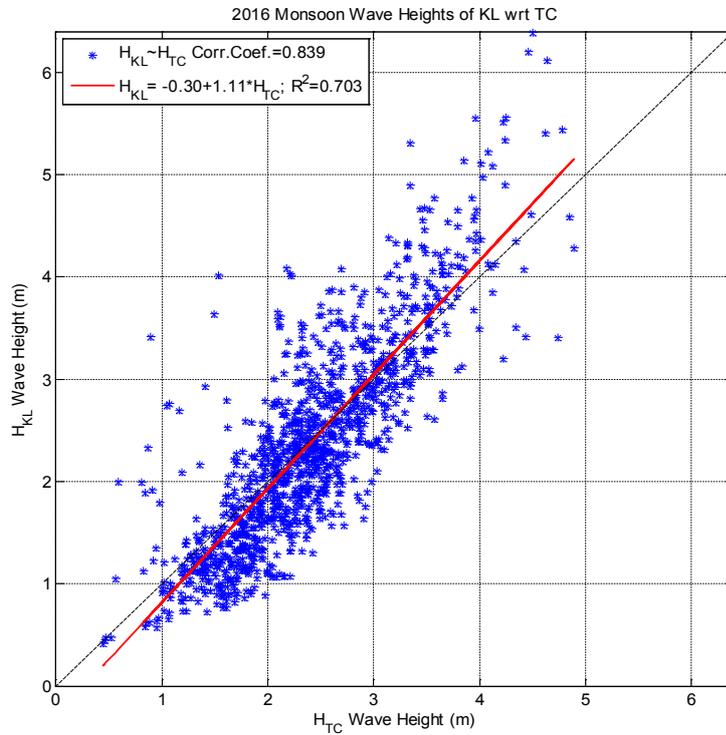


圖 4-8 冬季季風強盛期基隆港與臺中港波高之關聯性

表 4-1 基隆港與臺中港 2013 至 2016 年冬季季風期分月監測波浪示性波高( $H_s$ )、尖峰週期( $T_p$ )及二階譜週期( $T_{m02}$ )之相關係數

項目 年/月	$H_s$	$T_p$	$T_{m02}$
	相關係數	相關係數	相關係數
2013/12	0.734	0.135	0.241
2014/01	0.836	0.362	0.288
2014/02	0.766	-0.015	0.162
2014/12	0.813	0.007	-0.066
2015/01	0.801	0.101	-0.337
2015/02	0.728	-0.198	-0.455
2015/12	0.826	0.476	0.648
2016/01	0.843	0.399	0.735
2016/02	0.900	0.482	0.573

此外，仿照颱風在遼闊海洋中，且具無限吹送距離條件下，發展成熟之颱風波浪，其尖峰週期( $T_p$ )及示性波高( $H_s$ )分別與海面上 19.5 m 處風速  $U_{19.5}$  之一次與二次方關係(Tucker, 1991)：

$$T_p = 0.729U_{19.5} \dots\dots\dots(4-3)$$

$$H_s = 0.0213U_{19.5}^2 \dots\dots\dots(4-4)$$

針對臺中港與基隆港之風浪波高  $H_{TC}$  與  $H_{KL}$ ，整理其與臺中港季風風速  $V_{TC}$  二次方之關聯圖，因而可得如圖 4-9 所示，計算其對應之相關係數分別可達 0.869 及 0.770，而進行迴歸分析，並依據式(4-2)之型式計算，可得

$$H_{TC} = 1.18 + 0.004 V_{TC}^2 \dots\dots\dots(4-5)$$

$$H_{KL} = 0.95 + 0.005 V_{TC}^2 \dots\dots\dots(4-6)$$

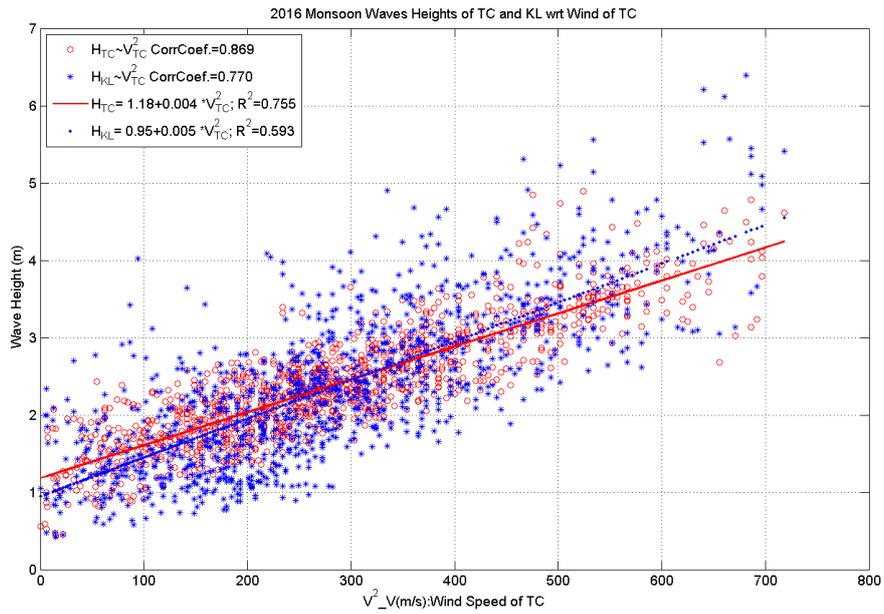
而其推定係數( $R^2$ )，分別亦可達 0.755 及 0.593。值得一提的是，式(4-5)及式(4-6)中，波高與風速平方間之換算係數 0.004 或 0.005，實際與一般水動力模擬風剪力之風摩擦係數(friction coefficient) 0.0026 甚近似。這意謂冬季季風對臺灣北部及中西部海域之風浪波高具有總體影響性，且風速可以臺中港作為示性代表。

又針對臺中港與基隆港之風浪週期  $T_{TC}$  與  $T_{KL}$ ，整理其與臺中港季風風速一次方之關聯圖，因而可得如圖 4-10 所示。依據式(4-1)及式(4-2)計算其對應之相關係數分別為 0.543 及 0.614；而進行迴歸分析，可得

$$T_{TC} = 5.28 + 0.134 V_{TC} \dots\dots\dots(4-7)$$

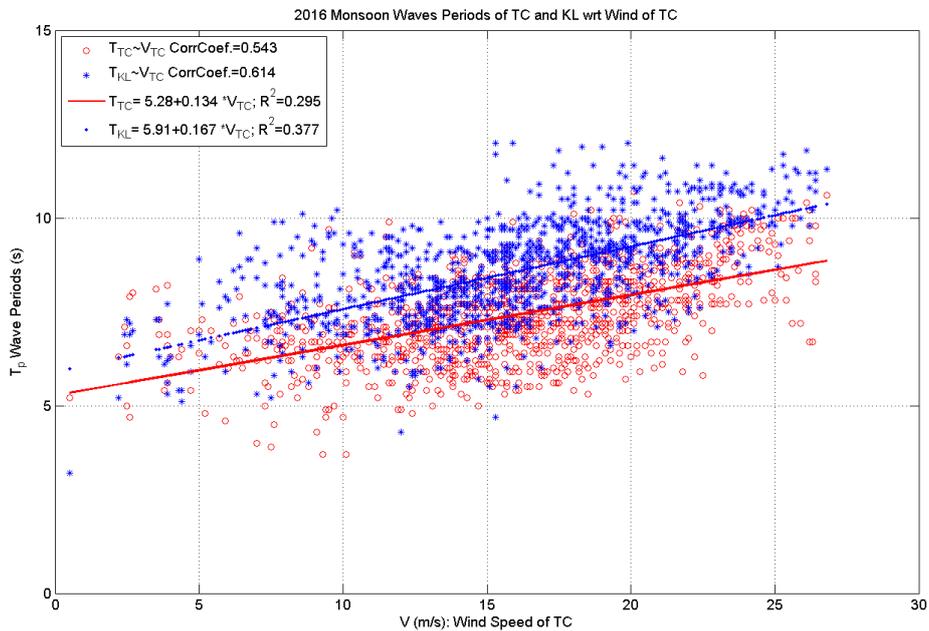
$$T_{KL} = 5.91 + 0.167 V_{TC} \dots\dots\dots(4-8)$$

其推定係數分別僅約為 0.295 及 0.377。這意謂臺灣北部及中西部海域之季風風浪，其週期長短僅約略與風速之強弱相關，但不會隨風速而陳現明顯變化。



Monsoon Wave Height of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

圖 4-9 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之風浪波高與臺中港風速二次方之關聯圖



Monsoon Wave Periods and Wind Speed of TC 2016.emf

圖 4-10 冬季季風期間臺灣西部海岸臺中港(紅)及北部海岸基隆港(藍)之風浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖

其次，針對蘇澳港與花蓮港之風浪波高  $H_{SA}$  與  $H_{HL}$ ，整理其與臺中港季風風速  $V_{TC}$  二次方之關聯圖，因而可得如圖 4-11 所示，計算其對應之相關係數分別可達 0.598 及 0.617，而進行迴歸分析，並依據式(4-2)計算，可得

$$H_{SA} = 1.24 + 0.0014 V_{TC}^2 \dots\dots\dots(4-9)$$

$$H_{HL} = 1.13 + 0.0019 V_{TC}^2 \dots\dots\dots(4-10)$$

其推定係數分別可達 0.358 及 0.381，且式(4-9 及式(4-10)中，波高與風速平方間之換算係數 0.0014 或 0.0019，實際與一般水動力模擬風剪力之風摩擦係數(friction coefficient) 0.0026 亦甚近似。

接著，針對蘇澳港與花蓮港之風浪週期  $T_{SA}$  與  $T_{HL}$ ，整理其與臺中港季風風速一次方之關聯圖，因而可得如圖 4-12 所示，計算其對應之相關係數，分別為 0.434 及 0.378，而進行迴歸分析，並依據式(4-2)計算，可得

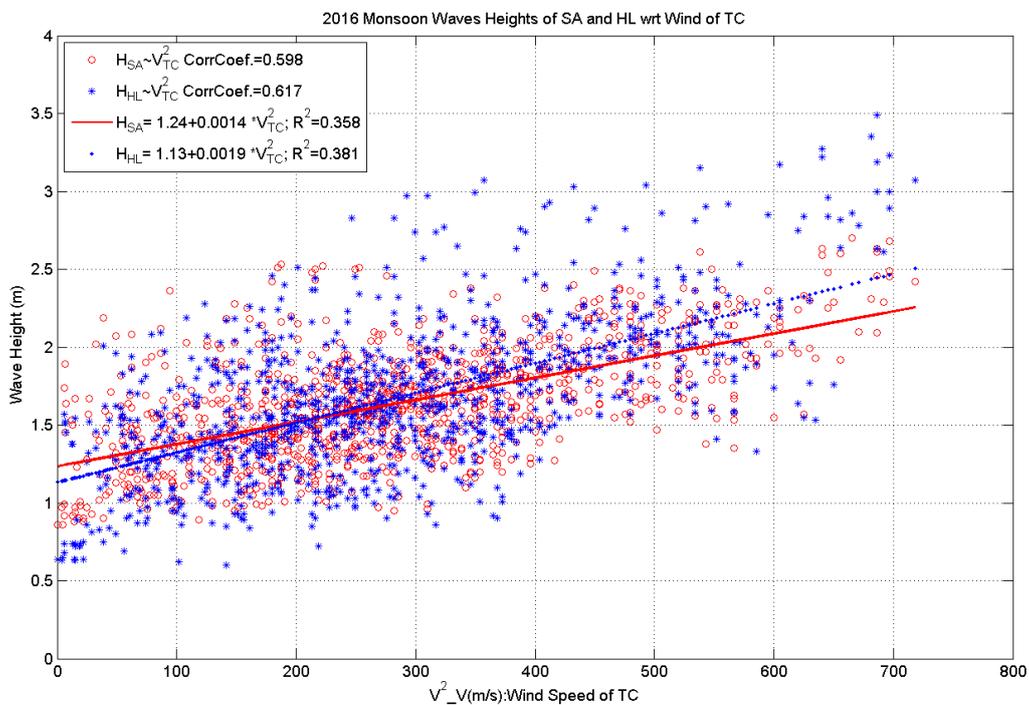
$$T_{SA} = 7.33 + 0.115 V_{TC} \dots\dots\dots(4-11)$$

$$T_{HL} = 7.73 + 0.090 V_{TC} \dots\dots\dots(4-12)$$

計算其推定係數，分別僅約為 0.188 及 0.143。這說明冬季季風對臺灣東部及中西部海域之風浪波高，總體上同樣具有影響性，如圖 4-13 所示，且風速可以臺中港作為示性代表；惟臺灣東部海域季風風浪之週期長短，僅概約與季風風速強弱相關，且不會隨風速而陳現明顯變化。

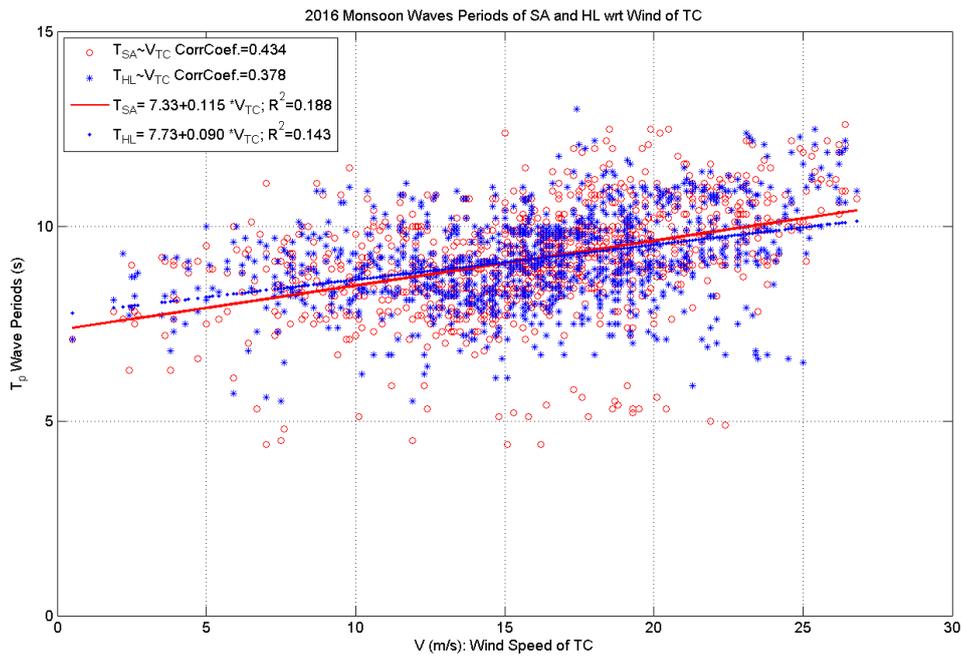
針對 2015~2016 年之冬、春季，結合東亞地面天氣圖，檢視國內五大商港海域分月風速與波浪逐時變化特性，綜合可發現：(1)在東北季風天氣系統之整體影響下，國內五大商港之季風，僅管因地理區位與地形遮蔽效應差異而致風速強弱彼此不同，但各港仍具有近似相同之起伏變動趨勢，風速並以臺中港最強勁，逐時歷程變化亦最明顯。(2)基隆港與臺中港冬季之季風長浪，不僅彼此逐時之示性波高大小與尖峰週期長短相近似，其隨臺中港風速強弱而逐時變化之歷程亦極為一

致。針對波高與風速平方進行迴歸分析，可得相關係數分別可高達 0.77 與 0.87，這意謂臺中港之風速，直接與兩港之季風長浪具密切關聯性，且臺灣海域之東北季風，可以臺中港作示性之代表；而其強盛程度，亦可藉臺中港風速之強弱，作為簡易地判別指標。(3)蘇澳港與花蓮港冬季彼此之風速強弱甚相當，而長浪波高大小與週期長短及其逐時變化歷程亦皆甚近似。(4)臺灣環島海域冬季之季風長浪，其尖峰週期，普遍約介在 5~10 秒間，最長不及 12 秒；而較大之示性波高，大多發生在基隆港，且可高達 6.0 公尺以上。



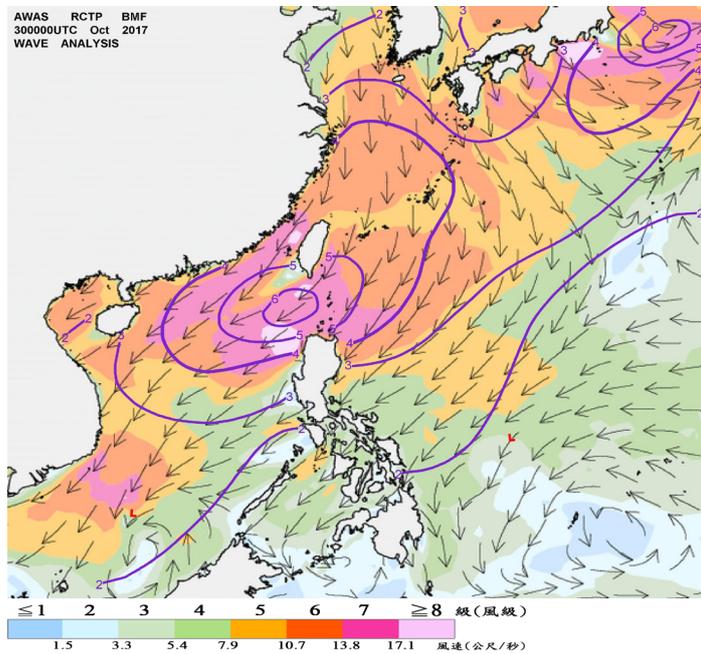
Monsoon Wave Height of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

圖 4-11 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之風浪波高與臺中港風速二次方之關聯圖



Monsoon Wave Periods of SA and HL wrt Wind of TC 2016.emf

圖 4-12 冬季季風期間臺灣東部海岸蘇澳港(紅)及花蓮港(藍)之風浪尖峰週期與臺中港風速之關聯圖



資料來源：中央氣象局，2017\_1030\_0000UTC\_FI12\_波浪分析圖.jpg

圖 4-13 冬季季風(色階及箭尺)對臺灣東部及中西部海域風浪波高(等值線)所具有總體之影響性

### 4.3 西南季風與區域風浪之關聯特性

季風，主要係因海洋與陸地間季節性溫差所導致之大尺度空氣環流，並以亞洲的南部和東部最為顯著(氣象局，2014)。在臺灣海域，概略自每年5月至8月之夏季期間，由於亞洲南部陸地溫度通常較印度洋高，風因而會從氣壓較高之海洋吹向氣壓較低之陸地，外加科氏力之偏轉效應，所以，在臺灣海峽南段海域，海氣象狀況，總體上經常皆會受梅雨鋒面、西南季風天氣系統，甚至颱風所影響。相關具體的天氣系統與對應之地面風場，在2017/06/20 08:00可自中央氣象局網站擷取預報資訊(<http://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/>)，如圖4-14所示。另外，摘錄2017/08/08 08:00夏季西南季風強盛期之分析風場及預報風浪分析場，可得如圖4-15所示。

(資料來源：中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>)

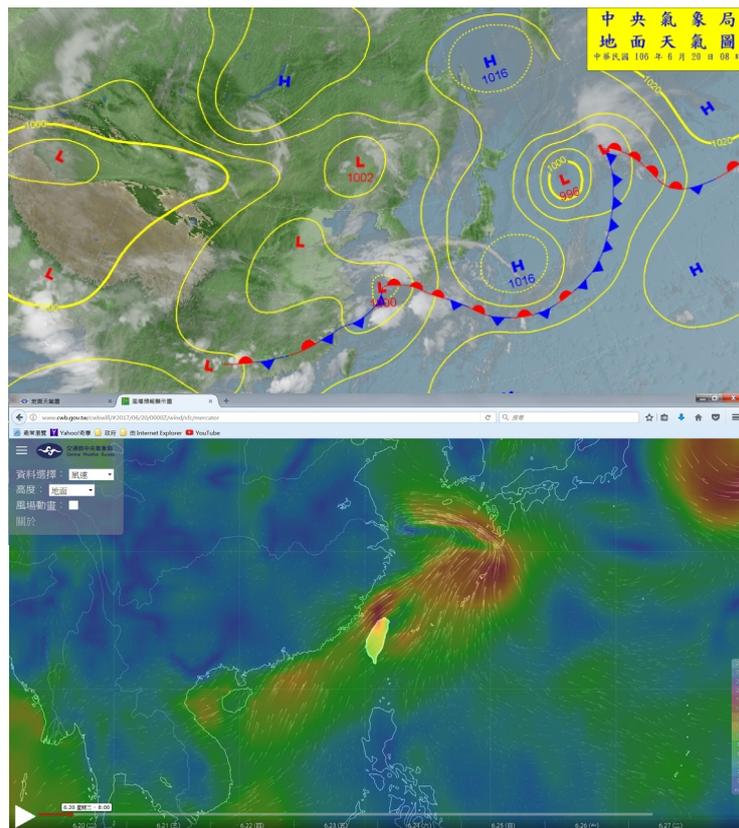
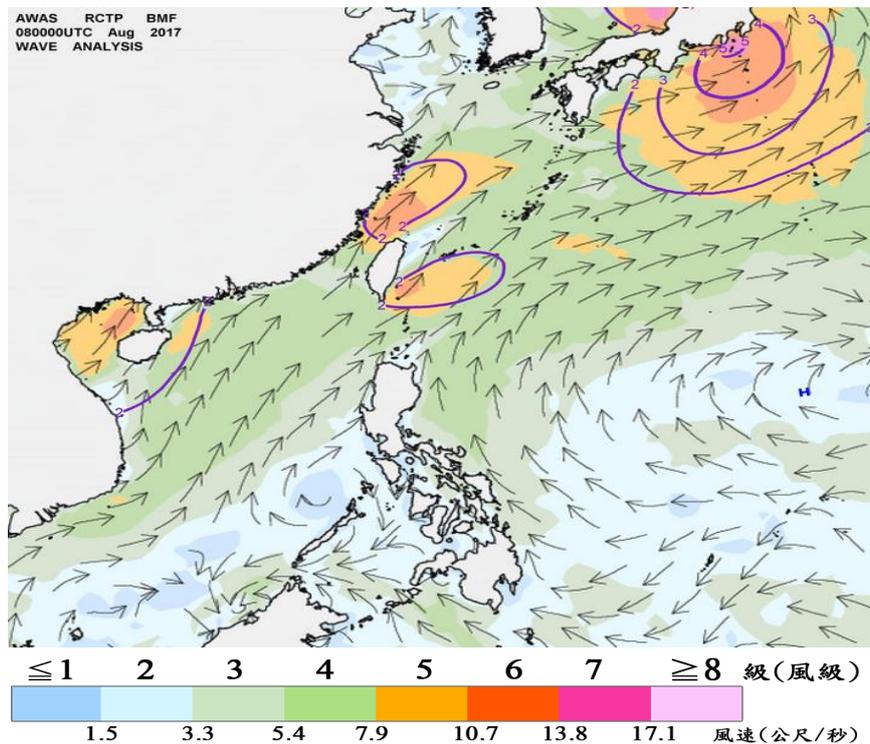


圖 4-14 臺灣海域在 2017/06/20 08:00 之夏季西南季風天氣系統(上)與地面分析風場(下)



(資料來源：中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>)

圖 4-15 臺灣海峽南段海域 2017/08/08 08:00 夏季西南季風之分析風場(箭矢及色階)及預報波浪場(等值線)

綜合觀察圖 4-14 與圖 4-15 可見，在夏季季風期中，無論是天氣系統或是對應之風場與波浪場，在臺灣海峽南段海域，總體上皆有其區域之一致性。

再應用交通部運輸研究所港灣技術研究中心(IHMT)統合建置之國內五大商港海氣象即時監測與傳輸顯示系統，可得國內 5 個國際港在 2012 年 5 月及 2016 年 6 月夏季季風期監測波浪之示性波高( $H_s$ )及尖峰週期( $T_p$ )及十分鐘平均風速逐時變化歷程，如圖 4-16 所示，而 2014 年 7 月及 2016 年 8 月之風浪分月逐時比對，可參見圖 2-9。

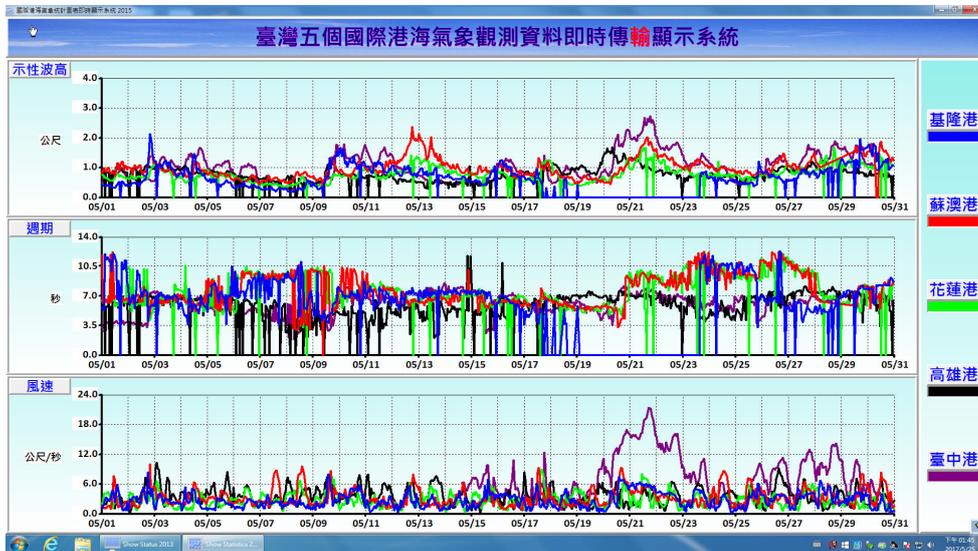


圖 4-16 國內 5 個國際港在 2012 年 5 月夏季季風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及十分鐘平均風速(下)逐時變化歷程之比對

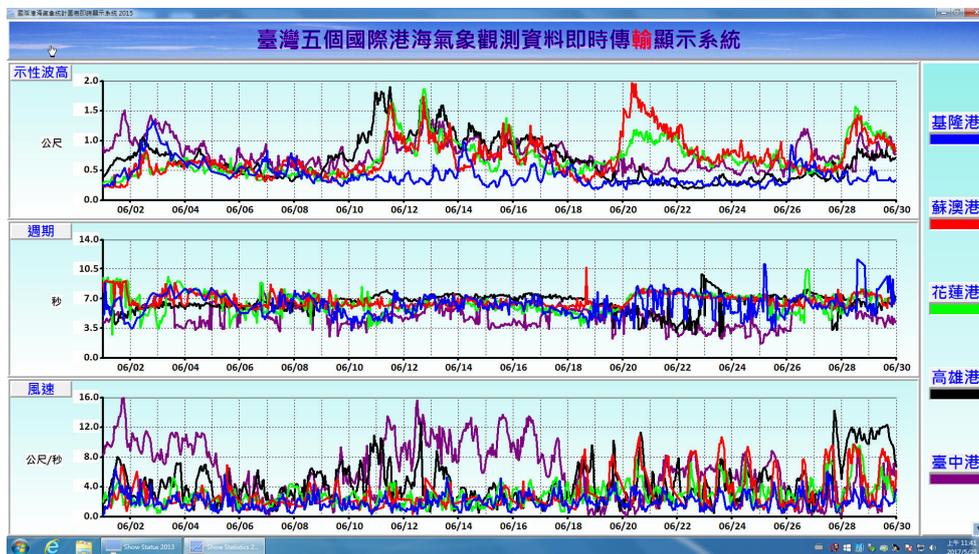


圖 4-16(續) 國內 5 個國際港在 2016 年 6 月夏季季風期監測波浪之示性波高(上)與尖峰週期(中)及平均風速(下)逐時變化歷程之比對

為探討西南季風與區域風浪之關聯特性，應用中央氣象局之即時海況資訊，針對 2017 年 5 月 8 日 11 時至 7 月 28 日 0 時共計約 80 日幾乎無颱風影響期間，檢選東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標之海氣象逐時監測紀錄，可綜整臺灣海峽南段海域夏季西南季風波浪之示性波高( $H_s$ )與二階譜週期( $T_{m02}$ )或稱平均週期及平均風速(Wnd)與氣壓(Pres)等逐時變化歷程，如圖 4-17 所示。圖中，東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標之逐時監測紀錄，分別以黑實線、紅虛線、藍點線表示；相關紀錄之缺漏率，則標註於其後之括號中。

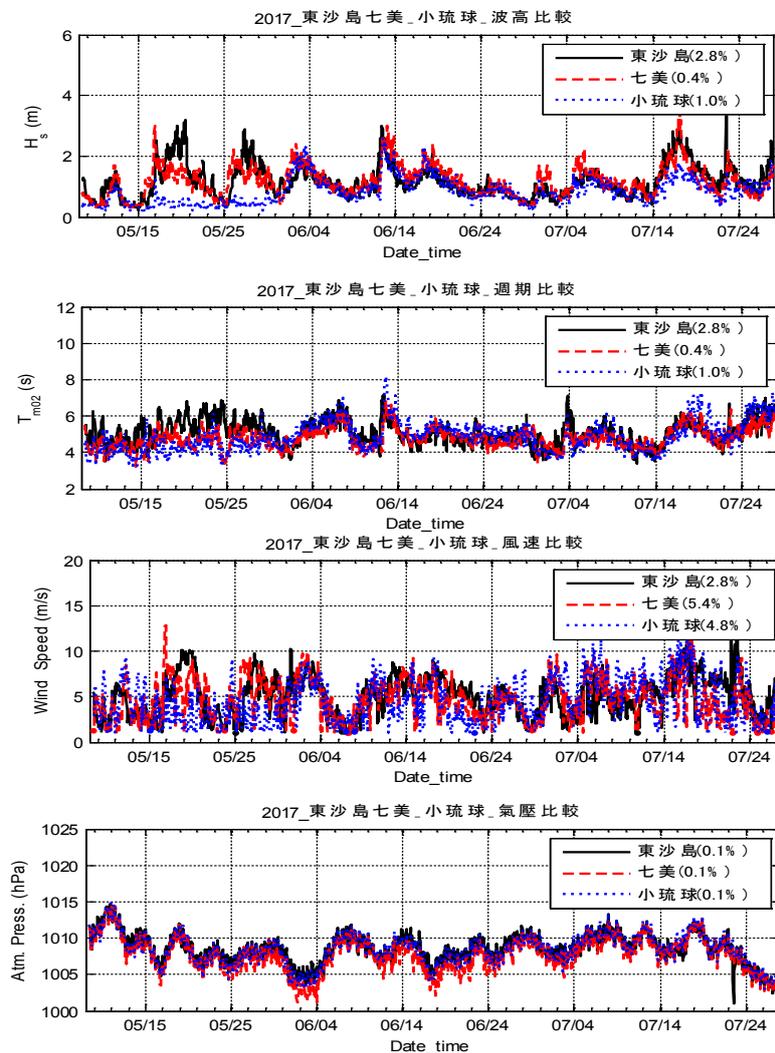


圖 4-17 東沙島(黑實線)、七美(紅虛線)、小琉球(藍點線)資料浮標於 2017 年 5/8 至 7/28 期間實測示性波高(上)、二階譜週期(中上)、平均風速(中下)與氣壓(下)之逐時歷程紀錄(圖註後數字為缺漏率)

綜合觀察圖 4-17 可見，在夏季季風天氣系統之總體影響下，臺灣海峽南段海域，無論天氣是否受鋒面影響，季風是否強盛，波浪與風速一般皆甚和緩，示性波高普遍低於 2 公尺，較大者亦不過 3 公尺；二階譜週期大多在 8 秒以下，且通常小於 6 秒；至於風速，因其主要源生於海陸間之溫差，故明確具有海陸風特性，以致平均風速普遍偏弱，通常不及 8.0 m/s；季風盛行期間，風速約可達 8.0~10.7 m/s (5 級)，但較強勁之風速，鮮少會超越 10.8~13.8 m/s 或 6 級；而平均氣壓，受限於天氣低壓系統之影響，普遍約介在 1005~1010 百帕(hPa)之間。另外，三處資料浮標間，東沙島與七美之波高及風速，彼此逐時變化歷程似乎較相近似，波高大小亦概略會隨同風速強弱逐時變化而消長。至於各資料浮標相對應波高、週期與風速大小之詳細區間分布，經統計可綜整如表 4-2 所示。

表 4-2 臺灣海峽南段海域東沙島、七美、小琉球資料浮標於 2017 年 5 月 8 日至 7 月 28 日夏季季風期間實測波高、週期、風速之統計分析

測站	示性波高 (m)		
	< 1.0 (%)	< 2.0 (%)	< 3.0 (%)
東沙島	48.32	91.59	99.84
七美	45.48	95.33	99.69
小琉球	74.35	98.69	100.00
測站	二階譜週期 (s)		
	< 6.0 (%)	< 8.0 (%)	< 10.0 (%)
東沙島	90.95	100.00	100.00
七美	97.77	100.00	100.00
小琉球	90.33	99.95	100.00
測站	平均風速 (m/s)		
	< 7.9 (4 級) (%)	< 10.7 (5 級) (%)	< 13.8 (6 級) (%)
東沙島	89.41	99.41	100.00
七美	90.98	99.13	99.89
小琉球	90.55	99.19	99.95

以圖 4-17 所示之資料浮標逐時監測紀錄為基礎，為探討東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標彼此間波浪及風速之相似性，藉以進一

步比較其區域之代表性，並定量評估其關聯性，在不同缺漏期間與缺漏率考量下，因此，可應用 24 小時之中央移動平均法(莊 等，2006)，先將三處資料浮標之逐時監測紀錄平滑化，然後，進行缺漏補遺，接著，再應用式(4-1)，分別針對三處資料浮標彼此間經中央移動平均處理後之實測示性波高、二階譜週期、平均風速及氣壓，進行相關係數計算，結果可綜整如表 4-3 所示。

表 4-3 東沙島、七美、小琉球資料浮標實測海氣象紀錄經以中央移動平均處理後彼此間示性波高( $H_s$ )、二階譜週期( $T_{m02}$ )、平均風速(Wnd)及氣壓(Pres)之相關係數

項目	相關係數		
	東沙島_七美	東沙島_小琉球	七美_小琉球
$H_s$	<b>0.782</b>	0.426	0.687
$T_{m02}$	0.695	0.528	<b>0.861</b>
Wnd.	<b>0.614</b>	0.323	0.557
Pres.	0.961	0.971	<b>0.986</b>

觀察表 4-3 可見，在代表臺灣海峽南段海域三處經檢選之資料浮標間，其波高、週期、風速及氣壓的相關係數，皆尚有中高以上的水準。特別是其中東沙島與七美二資料浮標，其彼此間風速及波高之相關係數，分別可達 0.614 與 0.782；而週期與氣壓，則以七美與小琉球之相關係數相對較高，分別為 0.861 與 0.986。因此，就可直接陳現季風期區域特性之波高及風速而論，東沙島與七美二資料浮標，彼此間應可互為代表，至於，其詳細具體之近似性與關聯性，則可對照比較如圖 4-18 所示。

參照圖 4-18，針對具有區域代表性與關聯性之東沙島(DSD)與七美(CMI)二資料浮標，再分別以各自經中央移動平均處理後之平均風速時序為對照基準，進一步整理其與自身及另一資料浮標示性波高之相關性，因而可得對照關聯圖，分別如圖 4-19 及圖 4-20 所示，而對應之相關係數，經依據式(4-1)計算，可綜整結果如表 4-4 所示。

配合表 4-4 並綜合觀察圖 4-19 與圖 4-20 可見，東沙島與七美二資料浮標，各自波高大小皆明顯會隨自身風速強弱而變動，所以，風速與波高之關聯性皆甚佳，相關係數彼此相當，均可達 0.756 以上。惟若以東沙島風速為代表，藉以關聯七美之波高，則相關係數為 0.679，略優於以七美風速關聯東沙島波高之 0.520。這說明：在夏季季風期中，雖然東沙島與七美二資料浮標，皆可直接陳現臺灣海峽南段海域之海氣象特性，但東沙島因位處在相對較開敞、寬闊之南海中，故其風速與波高，實際較七美具有區域代表性。

表 4-4 以東沙島及七美資料浮標經移動平均處理後之平均風速(紅虛線)為基準再分別計算其與東沙島及七美示性波高逐時變化之關聯性與相關係數

相關係數		示性波高 ( $H_s$ )	
		東沙島	七美
平均風速 (Wnd)	東沙島	0.798	0.679
	七美	0.520	0.756

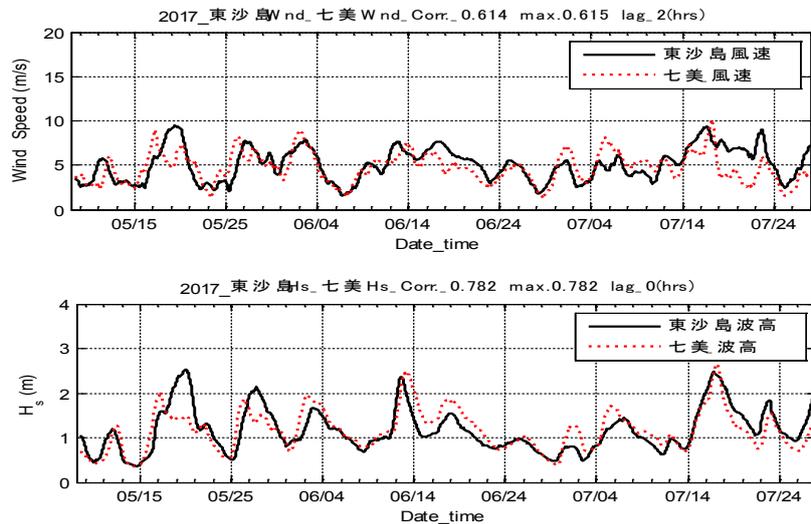


圖 4-18 東沙島(黑實線)與七美(紅虛線)資料浮標平均風速(上)與示性波高逐時紀錄經以中央移動平均處理後彼此間之相似性與關聯性

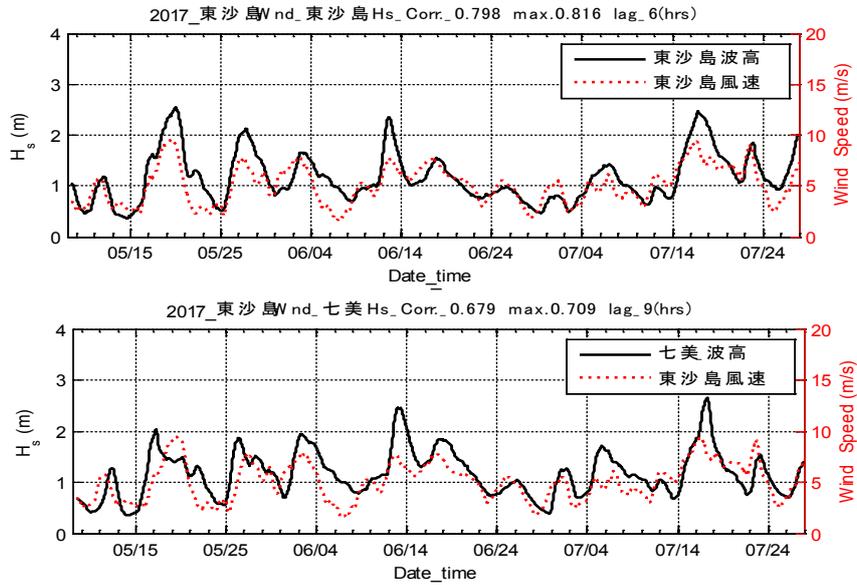


圖 4-19 以東沙島資料浮標經移動平均處理後之平均風速(紅虛線)為基準分別對照其與東沙島(上)及七美(下)示性波高(黑實線)逐時變化之趨勢與關聯性

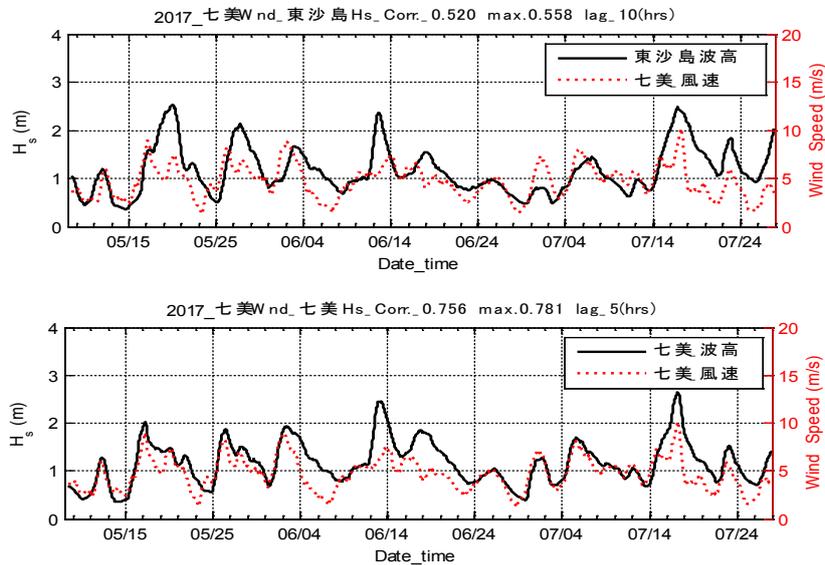


圖 4-20 以七美資料浮標經移動平均處理後之平均風速(紅虛線)為基準分別對照其與東沙島(上)及七美(下)示性波高(黑實線)逐時變化之趨勢與關聯性

在夏季季風期中，假設臺灣海峽南段海域可符合遼闊海洋且具無限吹送距離之風域條件，則依循 Tucker(1991)研提發展成熟颱風波浪波高與風速二次方之動能\_位能轉換關係，則若檢選東沙島資料浮標的實測風速  $V_{DSD}$  作為風域之代表風速，因此，可透過最小二次方誤差之迴歸分析法，將東沙島之波高  $H_{DSD}$  與七美之波高  $H_{CMI}$ ，分別推估如下：

$$H_{DSD} = 0.70 + 0.0154 * V_{DSD}^2 \dots\dots\dots(4-13)$$

$$H_{CMI} = 0.85 + 0.0107 * V_{DSD}^2 \dots\dots\dots(4-14)$$

同時，可得推定係數  $R^2$ ，分別為 0.481 及 0.265，或以波高相對於風速平方之相關係數表示，分別為 0.693 及 0.515，相關實測與推估波高及其與風速之對應關聯，如圖 4-21 所示。至於若檢選以七美資料浮標的實測風速  $V_{CMI}$  作為風域之代表風速，則東沙島與七美實測與推估波高及其與風速之對應關聯，將可整理如圖 4-22 所示。

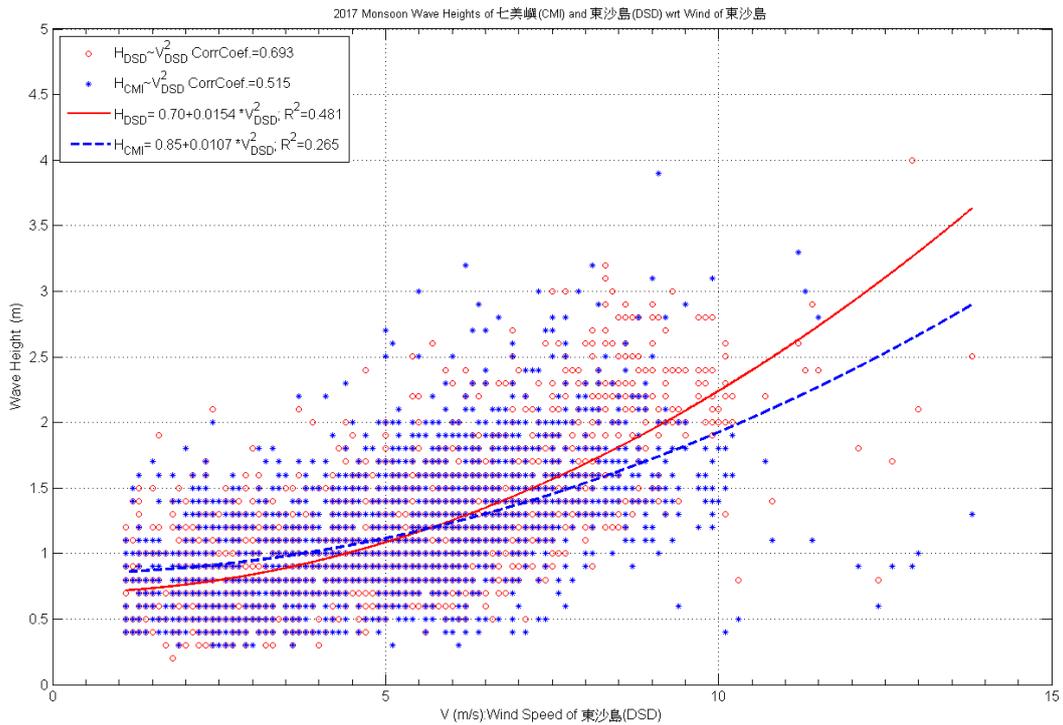


圖 4-21 以東沙島資料浮標之平均風速作為風域之代表風速分別推估其與東沙島(紅點、線)及七美(藍點、線)示性波高之關聯性

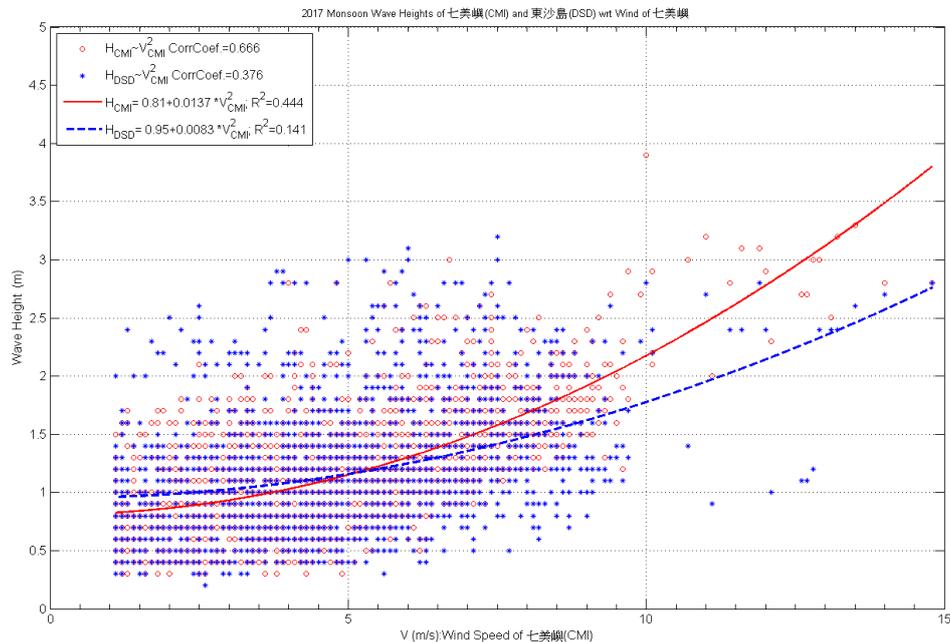


圖 4-22 以七美資料浮標之平均風速作為風域之代表風速分別推估其與東沙島(藍點、線)及七美(紅點、線)示性波高之關聯性

參照圖 4-21 與圖 4-22，並依據式(4-13)與式(4-14)之推估可知，當夏季季風風速較強勁，即約達 10.7 m/s 時，東沙島與七美之波高，分別皆可達 2.0 公尺以上；惟當風速極為微弱時，波高卻仍約有 0.8 公尺，這說明：在臺灣海峽南端海域，夏季期間之波浪，並非僅由單純之西南季風或單一風域所衍生，其尚應複合其他天氣系統或風域之影響。

另外，特別值得一提的，式(4-13)與式(4-14)中，風浪波高與風速平方間之換算係數，分別高達 0.0154 及 0.0107，僅管其值之大小彼此甚相近似，但其實際明顯大於一般水動力用以模擬風剪力之風摩擦係數(friction coefficient) 0.0026，且大幅超越冬季季風期以台中港風速平方作代表而據以分別推估台中港及基隆港風浪波高之換算係數 0.004 或 0.005 (莊、曾，2016b)。造成上列差異之主因，經深入檢討，推論夏季季風，可能因其主要風域，係在具有順風向收縮且近似呈封閉型之南海所致。

綜合而論，在無颱風影響期間，臺灣海峽南段海域夏季西南季風波浪之觀測特性，經檢選、彙整及分析東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標之海氣象逐時監測紀錄可具體瞭解到，夏季單純之季風與波浪特性皆甚和緩，風速通常不及 8.0 m/s，較強盛之風速，亦僅約 10.7 m/s 左右；示性波高普遍低於 2 公尺，較大者亦不過 3 公尺；二階譜週期或平均週期，大多在 8 秒以下，且通常小於 6 秒。進一步再透過相關性分析可發現，東沙島與七美二資料浮標，實際風速強弱與波高大小之逐時變化歷程均甚相近似，彼此間風速及波高之相關係數分別可達 0.614 與 0.782，因此，可互為代表並據以直接陳現區域性之海氣象特性，惟總體代表性，仍以東沙島較佳。

#### 4.4 東北季風波浪之演化歷程

季風的產生及其風速之強弱，除了與風域直接相關外，尚與受風之地理區位有關。而基於臺中港海域冬季期間之風速，可充分反映及陳現大陸冷高壓天氣系統對臺灣環島海域之總體影響性，因此，為掌握季風強盛期之天氣系統特性。參考圖 4-1，並分別針對 2014/12/01 及 2015/02/09 等臺中港具有超過 9 級或大於 20.8 m/s 之較強勁風速期間，向中央氣象局申購，可得對應地面天氣系統圖，如圖 4-23 所示。

綜合觀察圖 4-1 及圖 4-23 可見，當有強烈冷高壓天氣系統盤據東亞大陸，且其 1020 百帕等高壓線逐漸伸展至觸及臺灣海峽或跨越臺灣環島海域，再在東海以東或日本東側海域，伴隨有西北太平洋低壓及鋒面系統存在，則在臺灣環島海域，總體將進入強盛東北季風期，季風風速，會由弱轉趨強勁。在臺灣環島海域，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，實際可應用以作為東北季風強盛性之簡易判別指標(莊、曾，2016a、b)。

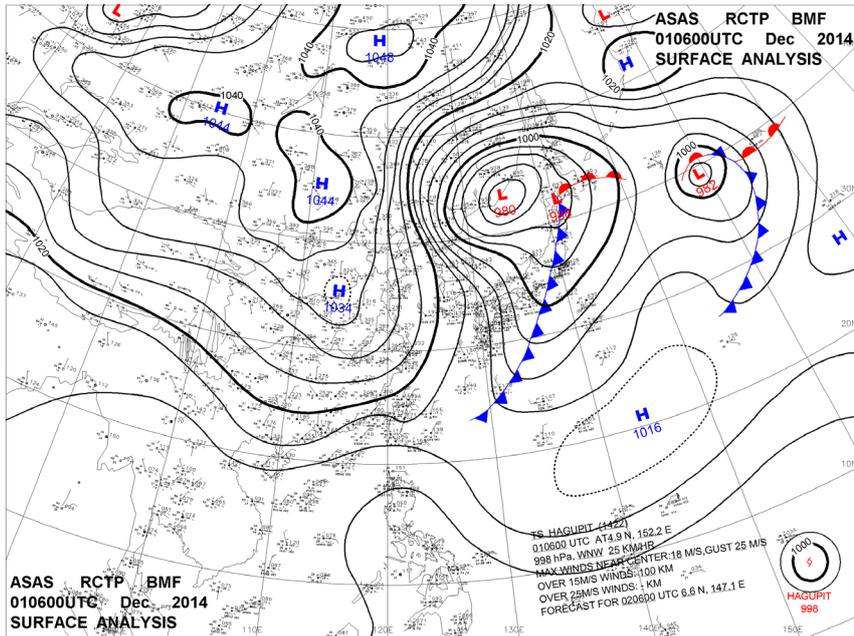


圖 4-23 可在臺中港海域衍生風速大於 20.8 m/s 之大陸冷高壓、鋒面、與低壓天氣系統 2014/12/01 0600UTC

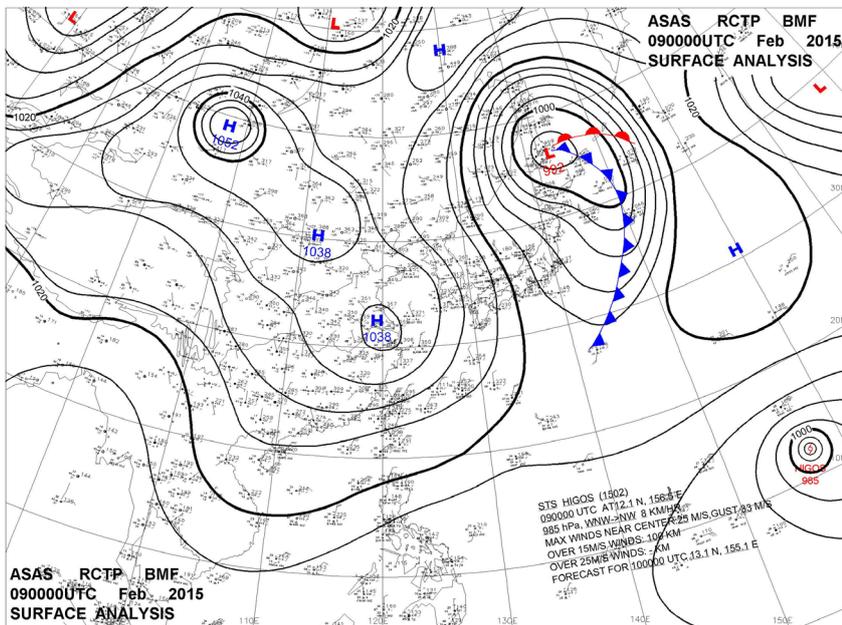


圖 4-23(續) 可在臺中港海域衍生風速大於 20.8 m/s 之大陸冷高壓、鋒面、與低壓天氣系統 2015/02/09 0000UTC

在 2015 年 10 月之季風初起期間，自 IHMT 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 4-24 所示。

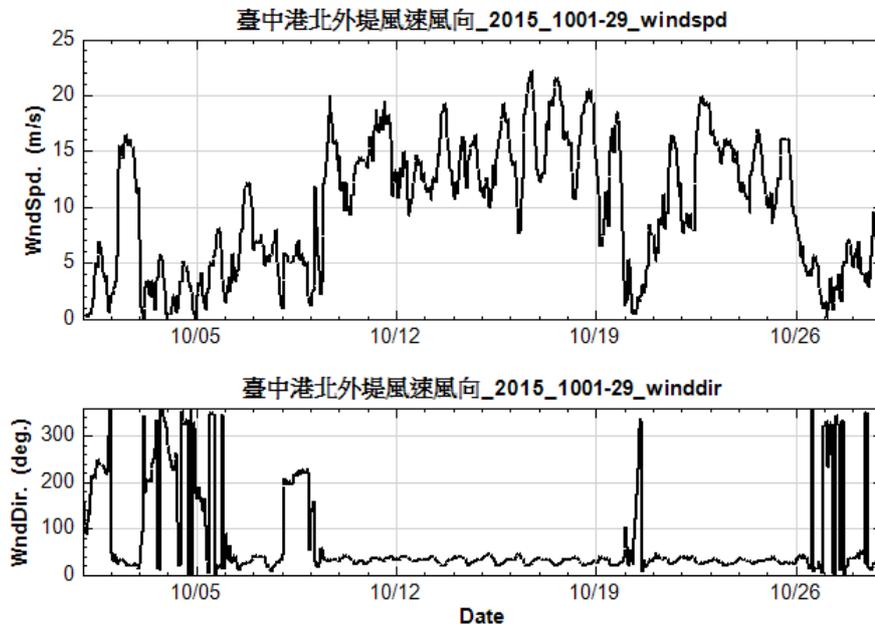


圖 4-24 臺中港北外堤頭風力測站在 2015 年 10 月季風初起期間風力監測之十分鐘平均風速(上)與風向(下)

基於臺中港北外堤頭風速可用以判別臺灣環島海域東北季風之強盛性(莊、曾，2016a、b)，觀察圖 4-24 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 IHMT 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 4-25 所示。

觀察圖 4-25 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)及薔琵(CHAMPI)颱風(10/13~10/25)長浪影響所致。

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 20 分鐘(1200 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 4-26 所示；對應特定時間之波浪頻譜分時變化，則如圖 4-27 所示。

在冬季之其他季風強盛期間：2015 年 12 月 9 日至 25 日、2016 年 1 月 21 日至 2 月 5 日、2016 年 2 月 11 日至 2 月 27 日、2016 年 3 月 4 日至 3 月 20 日，相關季風波動全程演化時頻分析圖與對應特定時間之波浪頻譜分時變化，分別如圖 4-28 至圖 4-35 所示。

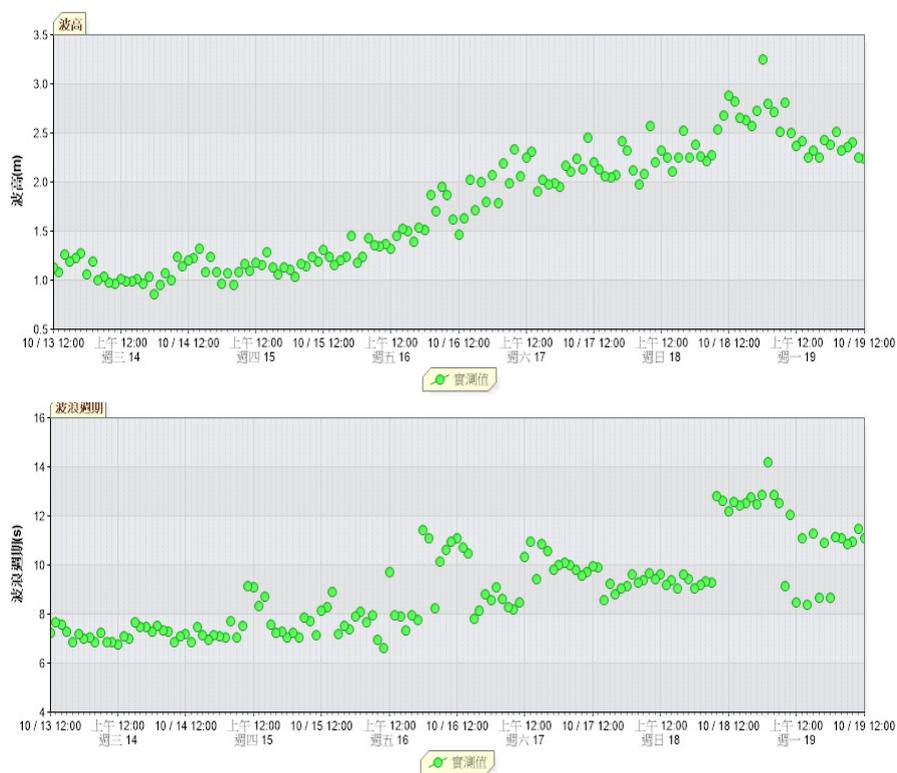


圖 4-25 蘇澳港近海在 2015 年 10 月 13 日至 19 日東北季風期監測波浪示性波高(上)與尖峰週期(下)之逐時變動歷程

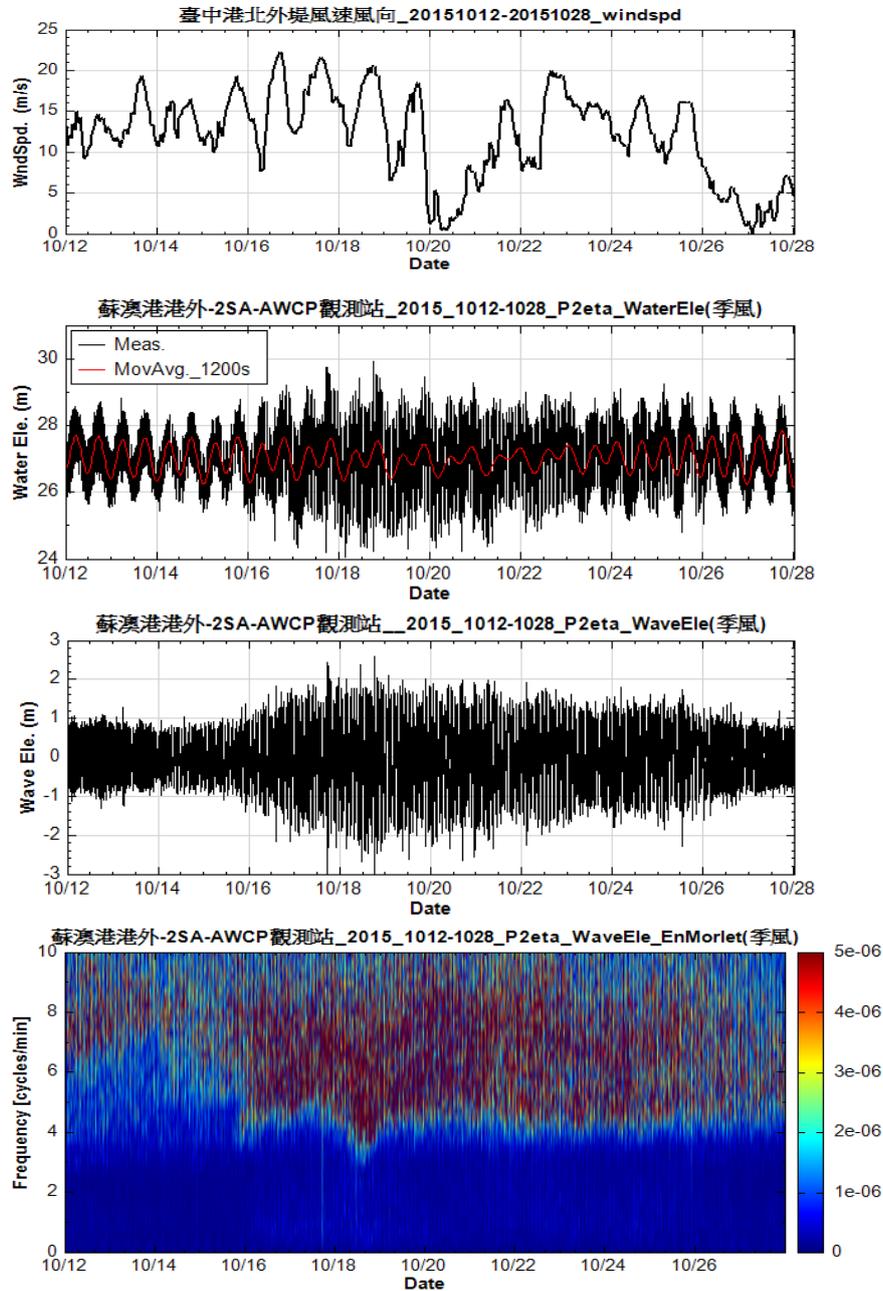


圖 4-26 於 2015 年 10 月 12 日至 28 日東北季風期間在臺中港北外堤頭  
 監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之原始  
 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中下)與其  
 對應之波浪演化時頻分析圖(下)

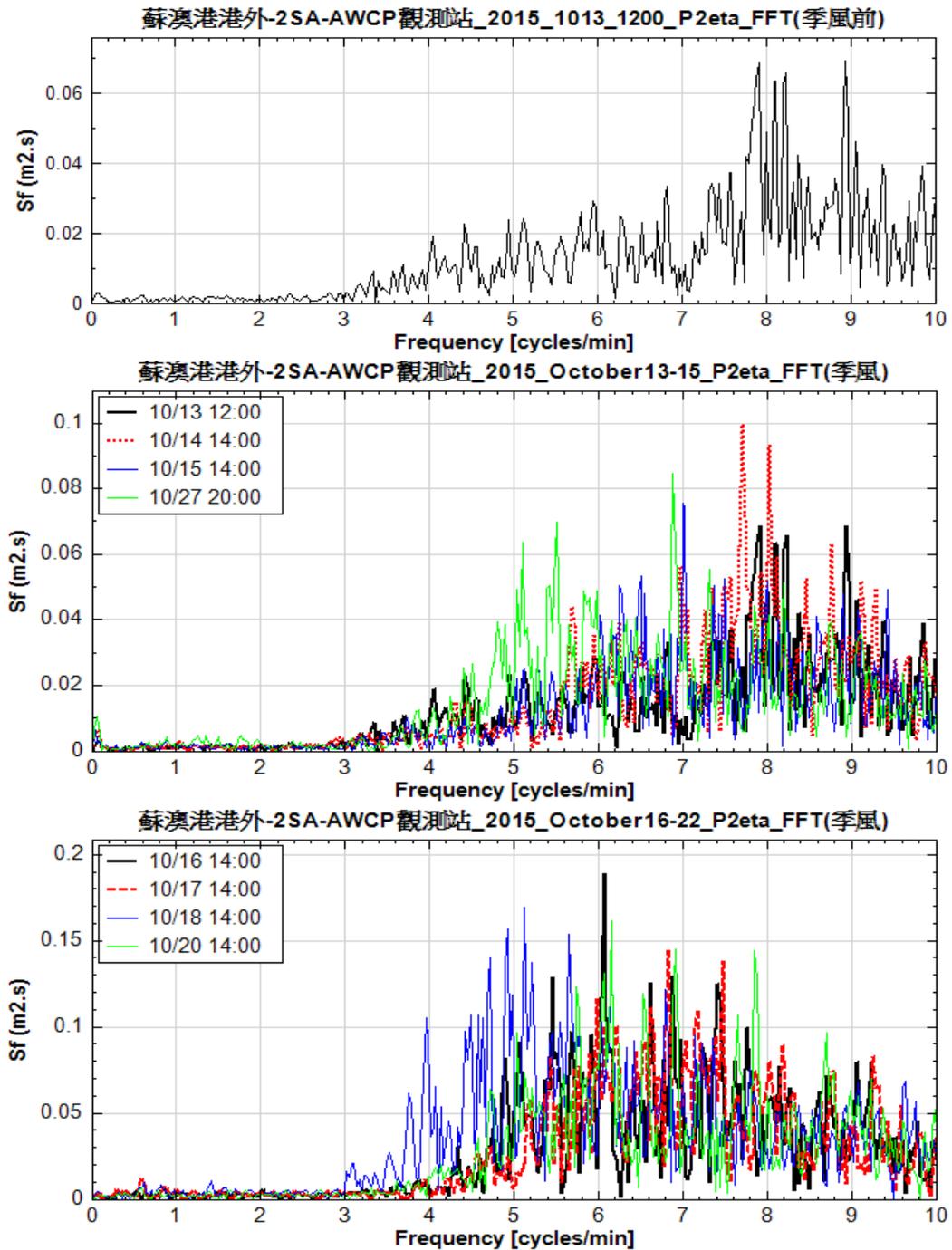


圖 4-27 蘇澳港近海 2015 年 10 月 12 日至 28 日東北季風期間一般風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化

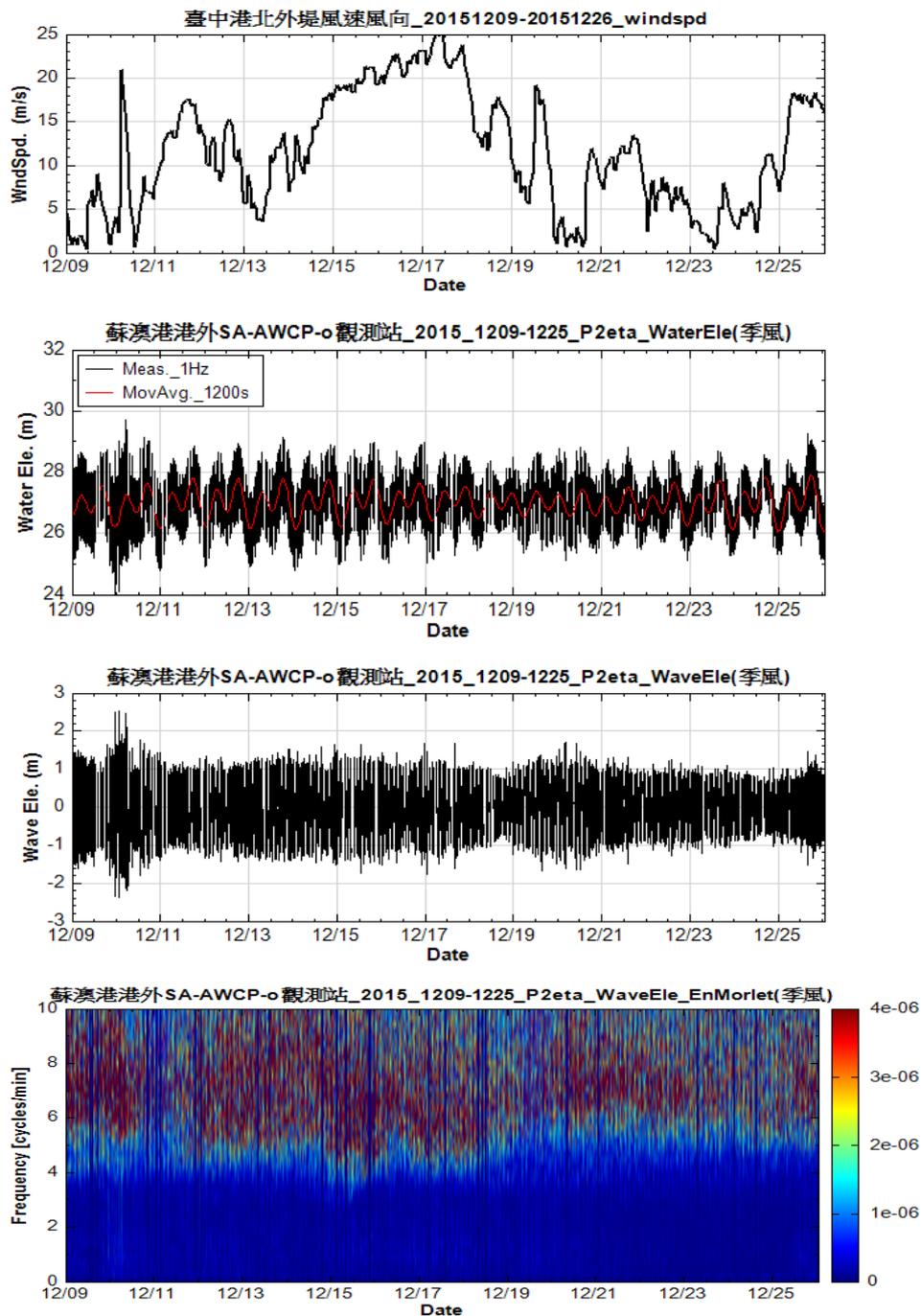


圖 4-28 於 2015 年 12 月 9 日至 26 日東北季風期間在臺中港北外堤頭  
 監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之原始  
 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中下)與其  
 對應之波浪演化時頻分析圖(下)

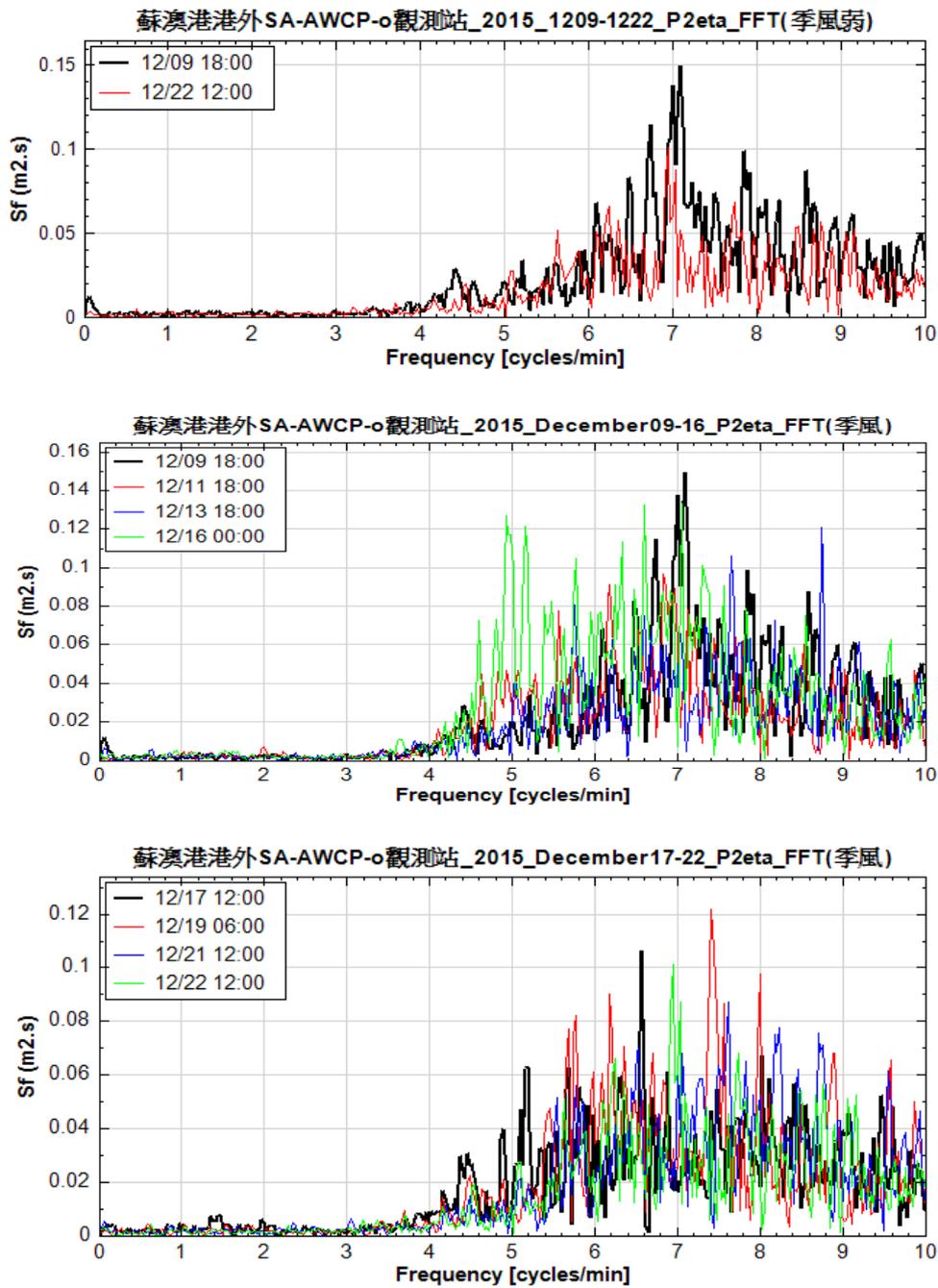


圖 4-29 蘇澳港近海 2015 年 12 月 9 日至 26 日東北季風期間一般風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化

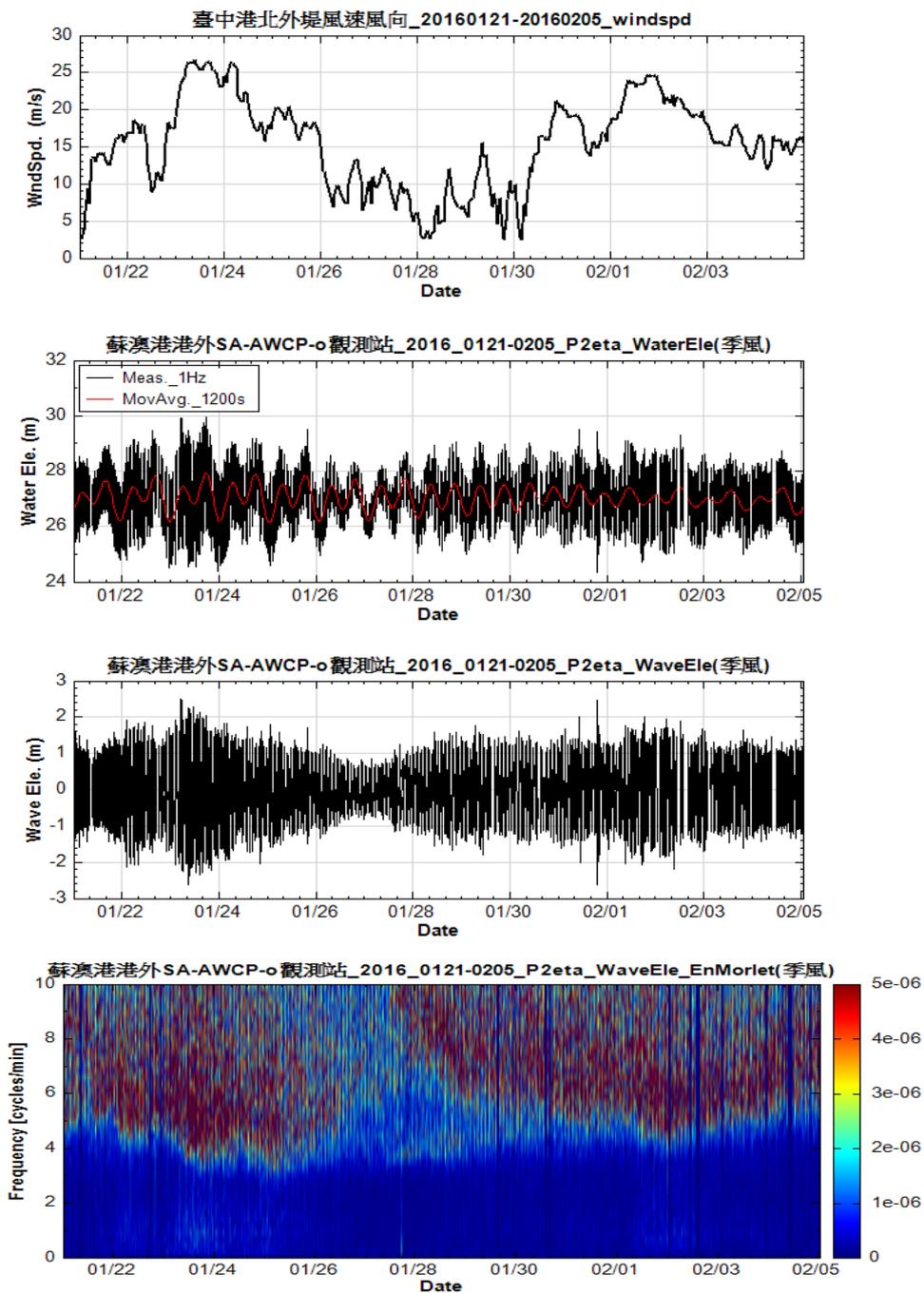


圖 4-30 於 2016 年 1 月 21 日至 2 月 5 日東北季風期間在臺中港北外堤頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下)

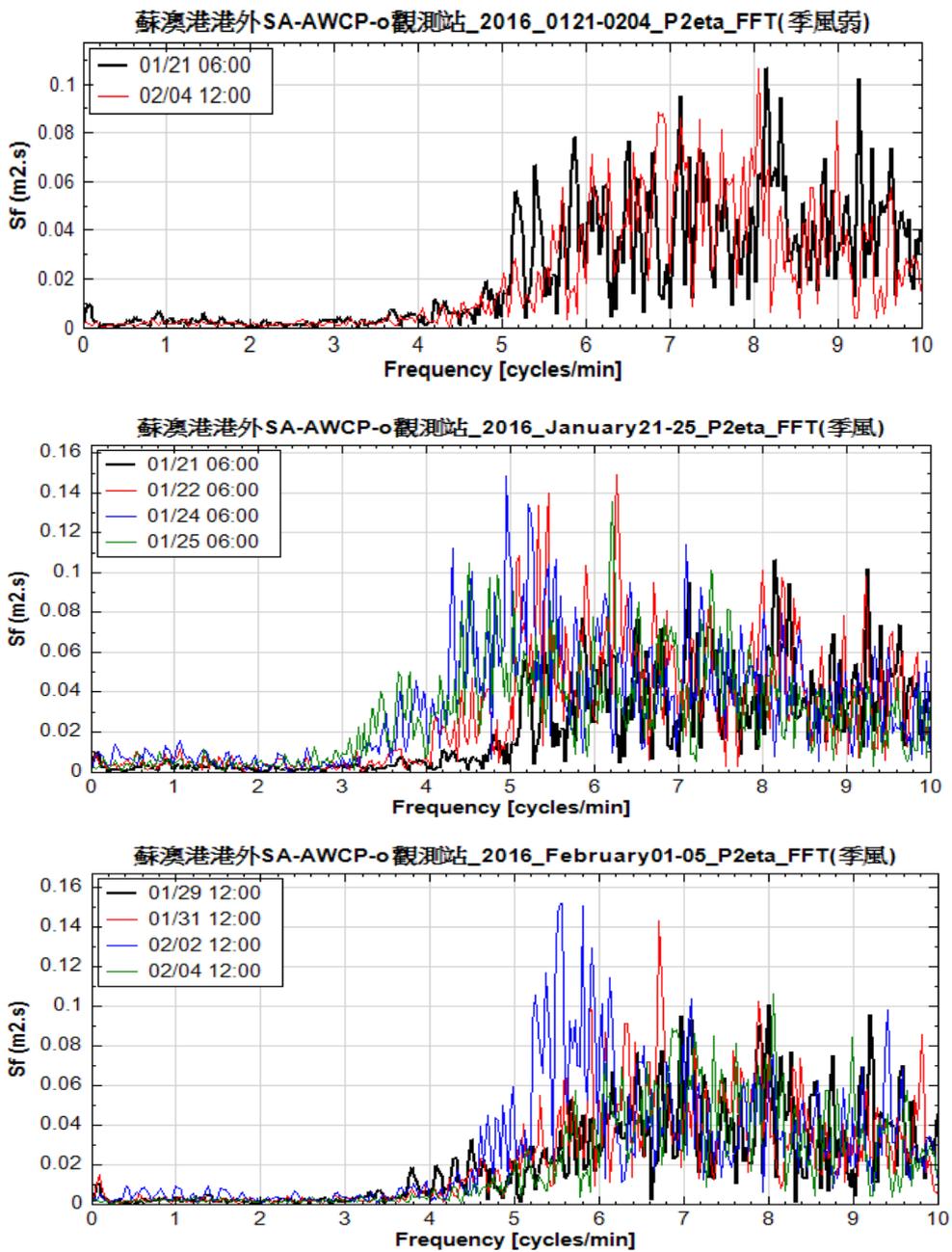


圖 4-31 蘇澳港近海 2016 年 1 月 21 日至 2 月 5 日東北季風期間一般風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化

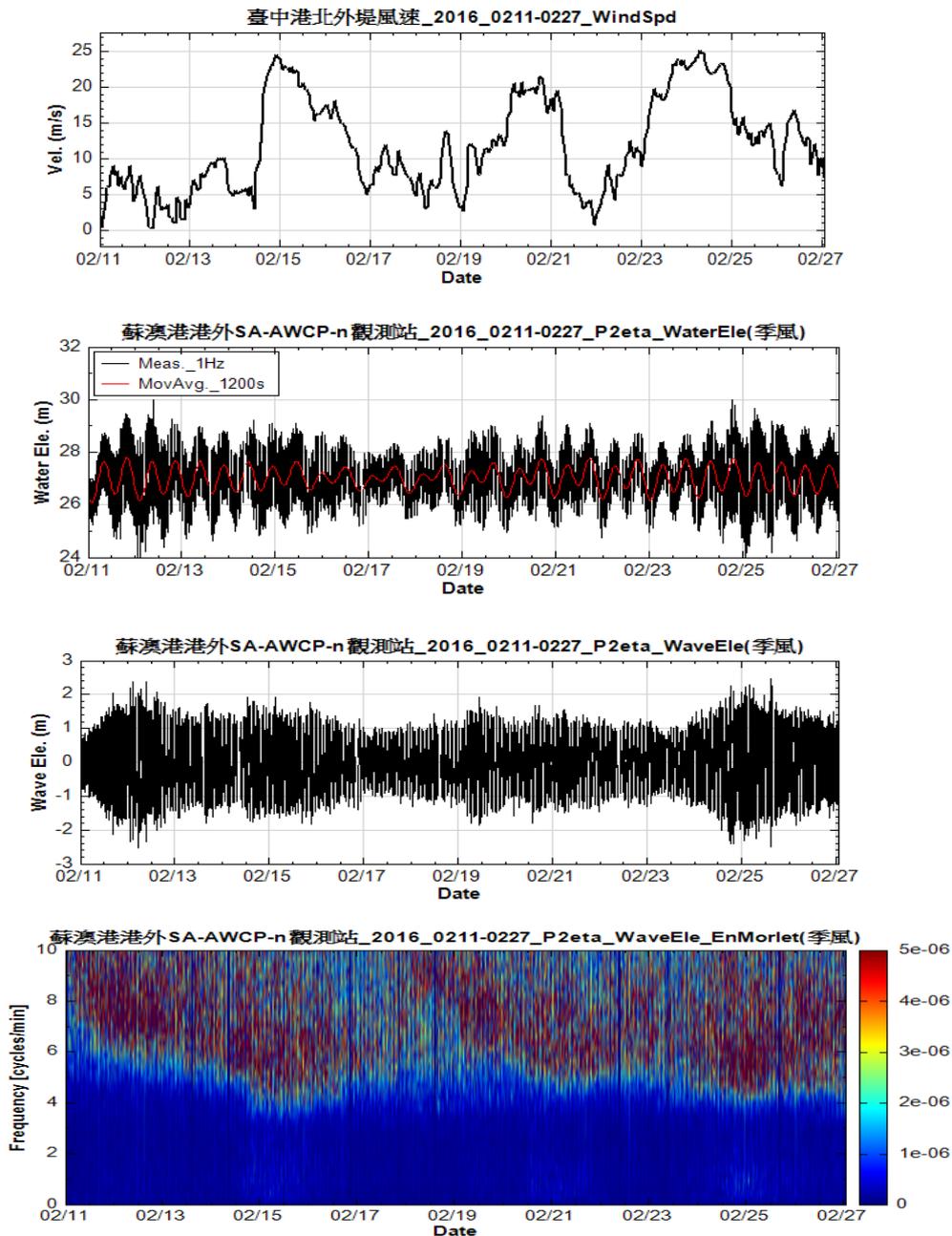


圖 4-32 於 2016 年 2 月 11 日至 2 月 27 日東北季風期間在臺中港北外堤頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下)

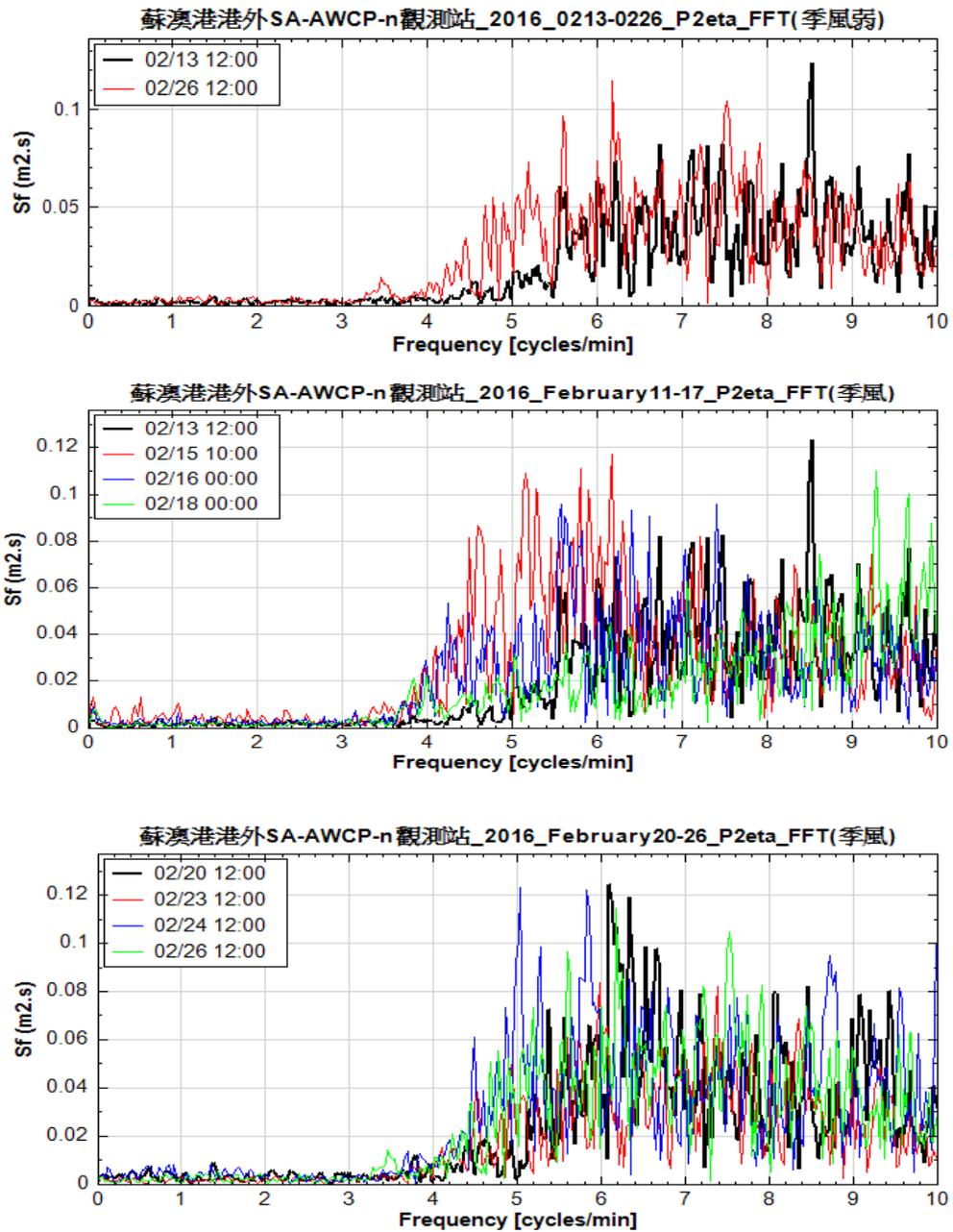


圖 4-33 蘇澳港近海 2016 年 2 月 11 日至 2 月 27 日東北季風期間一般風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化

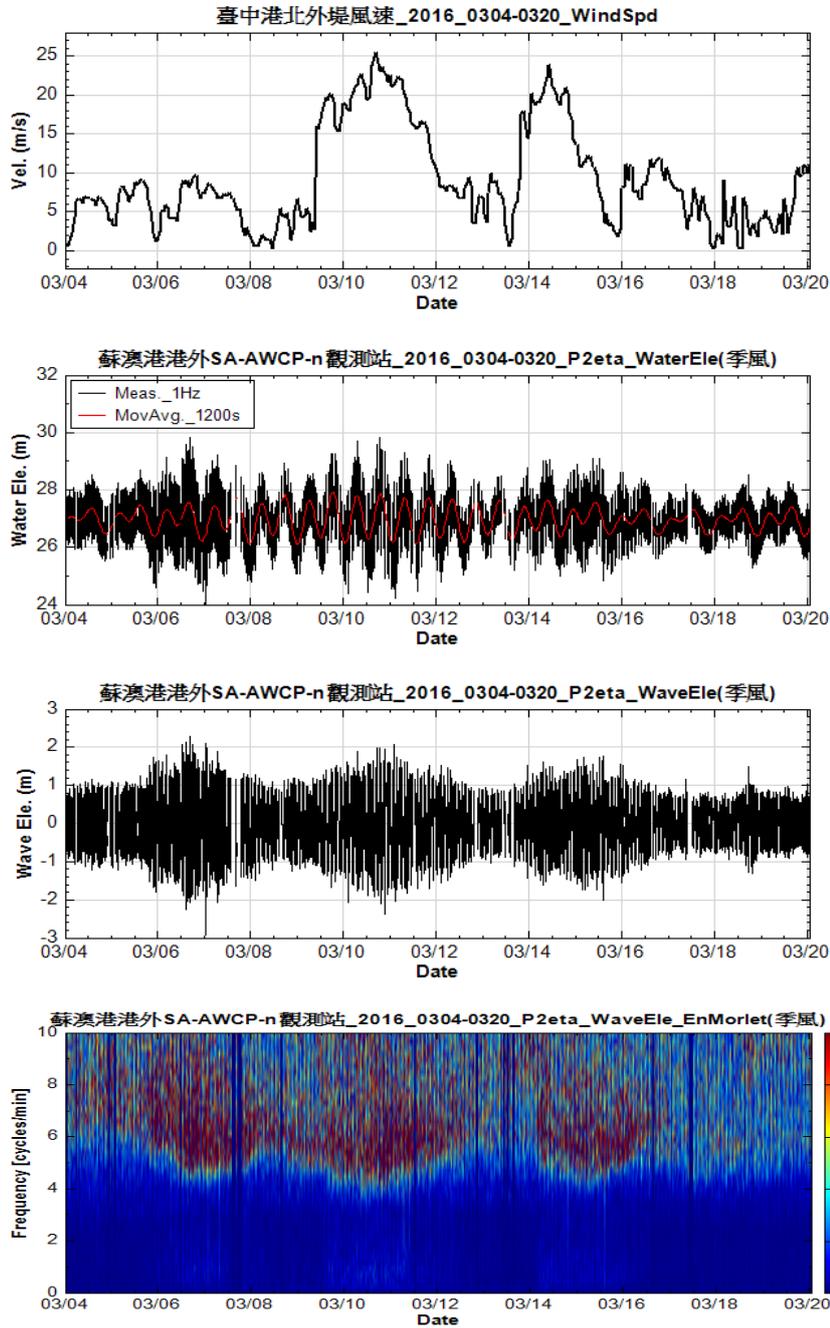


圖 4-34 於 2016 年 3 月 4 日至 3 月 20 日東北季風期間在臺中港北外堤頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之原始 1Hz 水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下)

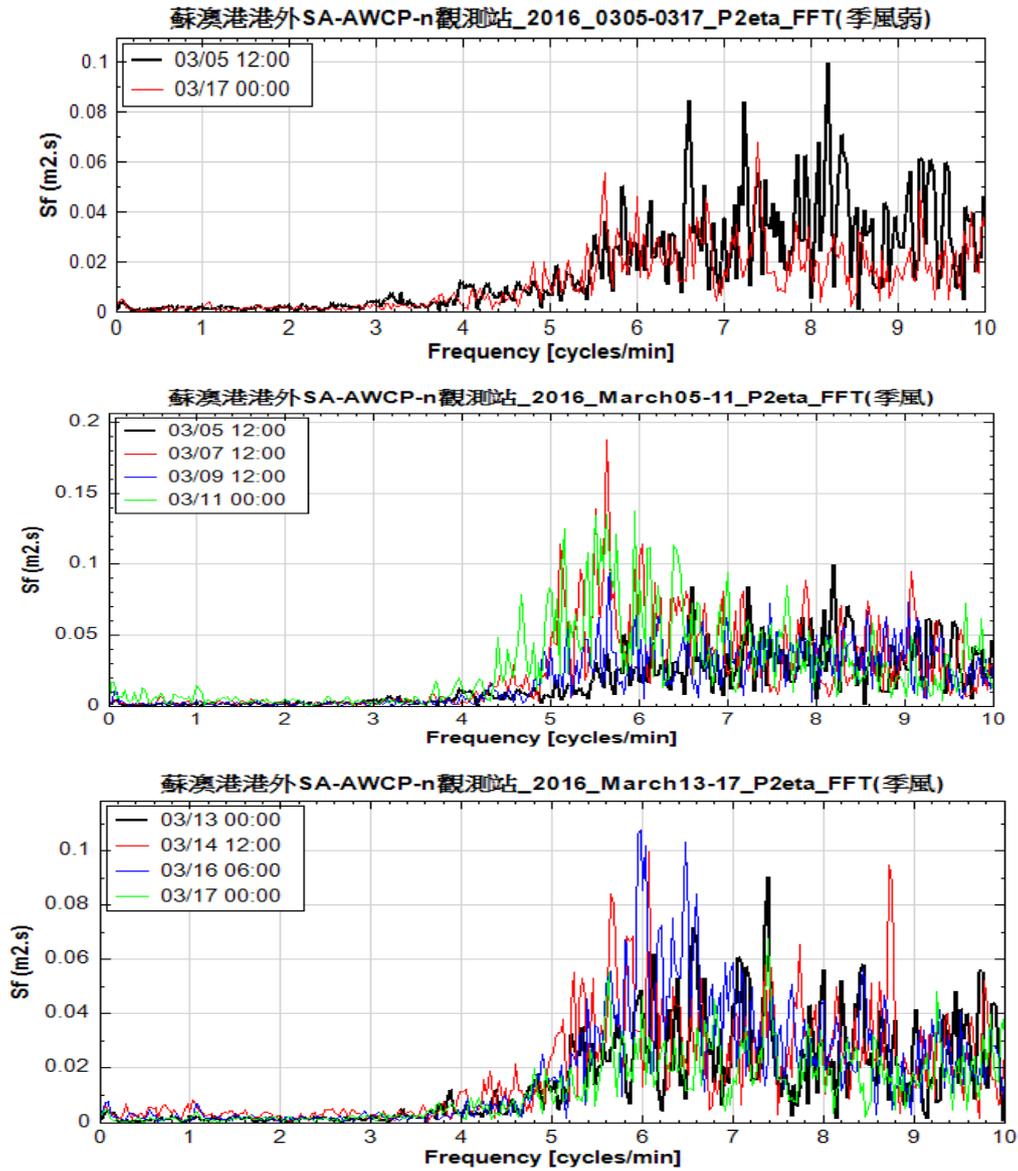


圖 4-35 蘇澳港近海 2016 年 3 月 4 日至 3 月 20 日東北季風期間一般風速期(上)；風速漸增期(中)；及強風期(下)之分時波浪頻譜變化

綜合觀察圖 4-26 至圖 4-35，對照季風期風速、原始 1Hz 水位時序訊號、波浪時頻演化及分時波浪頻譜變化可見，冬季之東北季風波浪，在一般風速小於 6 級強風(10.8~13.8 m/s)之較弱風速期間，風浪之波動能量(波高)普遍偏小，頻率主要均分佈於 6~10cpm 間；在風速超越 8 級大風(17.2~20.7 m/s)之較強風速期間，例如：在 2015 年 12 月 16 日、2016 年 1 月 23 日、2 月 1 日、2 月 15 至 24 日、3 月 10 日及 14 日前後，季風波浪之示性波高，將會隨風速增強而普遍增大，而其尖峰頻率，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；在部分期間，例如在 10 月 18 日 12 時前後，尚可見尖峰頻率由近 6cpm 突昇至 5cpm 之現象，經查其係巨爵颱風(10/13~10/21)及蕃琵颱風(10/13~10/25)衍生之颱風長浪影響所致。此外，特別值得注意的是，季風波浪，僅管風速會高達 8 級(17.2~20.7 m/s)以上，可比擬輕度颱風(17.2~32.6 m/s)，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 0.2~2 cpm 頻率間，伴生明顯的亞重力波 (參見圖 3-21 與圖 3-22 蘇迪勒颱風及圖 3-24 與圖 3-25 杜鵑颱風)。

## 第五章 瘋狗浪之預警

### 5.1 瘋狗浪與颱風風浪之關聯

「無風不起浪」，因風而起之波浪，統稱為風浪(wind waves)。在臺灣海域，由於夏季有颱風及西南季風、冬季有東北季風，故臺灣近岸灘區及港口，經年必須面對風浪之侵襲。

湧浪(swells)，係指離開遠域海洋風場或失去原生風力影響之波浪，由於其傳播至近岸海域之距離長，波高大小之演化(evolution)，不僅與淺水長波密切相關，更常具區域性而較難掌握；又此種波浪的週期，相對風浪較為規則且偏長，因此，通俗上稱為“長浪”。

風浪在遠域海洋生成後，基於波動之分散(dispersion)特性，週期長短不一之風浪，因而具有快、慢不同之傳播速度，特別是颱風長浪，波動傳播速度通常較風域之移動速度快，約可達33.7 km/hr，因而可離開原生風域，以致即使在天氣是風和日麗情況下，近岸海域仍會存在長浪(莊、曾，2015)。此外，颱風長浪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，進而促使先來後到之長浪，常會因波動之非線性群聚演化及阻塞作用而擁積及推疊(梁等，2010；Liang, 2007、2012)，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(freak waves)，並對自然海灘環境及民眾之生命財產造成危害。因此，相關其生成、發展、傳播、演化及衝擊影響等課題，長久以來，即普遍受到關注與重視。

「瘋狗浪」係臺灣民間對近岸海域曾造成傷亡之突發性異常大浪之俗稱。發生之時、空，迄今尚具不可預測性(許等，1993；陳，1999；蔡等，2001；陳等，2002)。在研究課題上，常與海洋上之突浪、詭浪(freak waves)或暴浪(rogue waves)相關聯。可能之引發機制，主要應與局部海域之水深地形、波流交互作用、波群之聚合(grouping)、波動

之非線性演化及調變不穩定(modulation instability)等效應有關，特別是與颱風長浪之急遽堆疊與匯聚演化最具關聯性(梁 等，2010；張、歐，2013；莊、曾，2014；陳 等，2015；Zakharov and Ostrovsky, 2009)。

瘋狗浪，好發於每年6至11月之夏、秋季節(許 等，1993；Doong et al., 2008)。在臺灣環島海岸，其所造成船難海事與養殖產業損失及從事各類海灘休憩活動民眾傷亡之危害事件，時有所聞。

在民國76年10月23日下午1時，屏東縣水利國小學童，在老師帶領下，至恆春貓鼻頭礁岩海岸郊遊，但不幸意外遭受瘋狗浪之侵襲，以致有9名學童被突發性之三個巨浪吞噬，舉國哀悼。當時，稍早於10月22日生成的強烈颱風琳恩(LYNN)，即是在菲律賓呂宋島東方距鵝鑾鼻數百公里之海面快速向西北西方向移動。

在民國87年9月29日下午1時左右，基隆和平島公園之中山仔礁岩，據報導有釣客遭瘋狗浪侵襲，並造成二傷一失蹤之悲劇。而當時亦有稍早於9月27日生成之輕度颱風楊妮(YANNI)，過境臺灣東北部海域。

在民國96年11月27日下午2點45分左右，1萬6千噸級巴拿馬籍貨輪「瑪莉納號」，載著2萬5千噸鐵砂，行經鼻頭角外海33浬處，據報當時海面上正颳起11級強陣風，而後突然被一個高約15公尺之巨浪席捲，打壞船艙蓋，以致船艙進水，隨後因船身傾斜而沉沒，並造成27船員失蹤，1人獲救。據查當時之海氣象，除了有強勁東北季風外，尚共伴有稍早已於11月23日行進至菲律賓東方海面之中度颱風米塔(MITAG)，僅管其以西北方向通過呂宋島後減弱為輕度颱風，且於巴士海峽減弱消失。

在民國102年11月9日14時左右，新北市樹林社區大學總共有26名學員正在進行東北角鼻頭角海岸地質美學教學，當學員行經鼻頭角東邊地質公園內距海約20公尺的礁岩平台步道時，很不幸地突然遭到連續三波高估計超過5公尺之大浪侵襲，並造成8死8傷的悲劇，而於隔日(11月10日)22時至11日5時之間，臺南安平海岸亦遭到西

南向長浪之侵襲，並造成大量蚵棚被沖毀，損失估計約 4~5 億。據查，稍早於 11 月 4 日生成之強烈颱風海燕(HAIYAN)，正以 63 m/s 之強大中心風速，快速接近菲律賓呂宋島南側海域，且於 11 月 8 日 6 時登陸，而後西行進入南海。

最近期間，於民國 107 年 9 月 2 日，約下午 3 時許，在宜蘭南澳神秘海灘有沙灘車教練帶著一對夫妻 2 車 3 人前往海蝕洞，突遭恐怖大浪將人車全部捲走；事隔約 2 小時左右，分別在南澳的南澳海灘及南方澳內埤海灘，又有一對母子在海灘散步被突如其來的大浪侵襲而落海，另外尚有 2 人溺水。以上同一天接連發生之 3 起民眾落海事件，事後共造成 6 死 1 失蹤的悲劇。造成事件之主因，據查當時即有強烈颱風燕子(JEBI)就在台灣東方海面，如圖 5-1 所示，以每小時 20 公里速度，向北北西往日本行進，且事發當時，氣象局曾發布長浪警報。

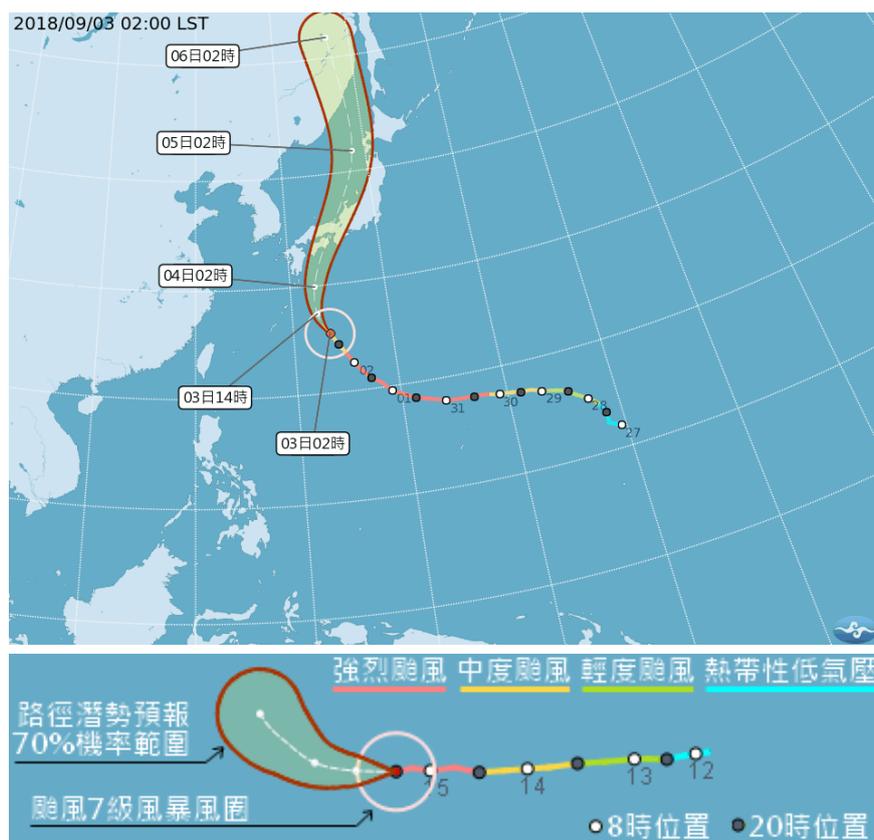


圖 5-1 民國 107 年 9 月 2 日曾在宜蘭南澳神秘海灘造成嚴重瘋狗浪侵襲悲劇之燕子颱風行進路徑潛勢預報

以上五個與颱風長浪直接相關，且可全歸屬瘋狗浪侵襲造成之不幸事件，前三者(琳恩、楊妮、米塔)中央氣象局皆曾發布颱風警報，而後二者(海燕、燕子)，則為非發布警報之颱風。這意謂不論是否為發布警報之颱風，也不論颱風之行進路徑與強弱，颱風所造成之長浪，明確皆會與瘋狗浪侵襲事件有所關聯。

## 5.2 瘋狗浪侵襲之關鍵癥候與潛勢

針對民國 102 年 11 月 9 日 14 時左右發生在鼻頭角岬頭東側海岸步道之 11-9 海燕颱風瘋狗浪侵襲事件，在鄰近海域缺乏波浪測站情況下，為具體掌握發生瘋狗浪之關鍵癥候，爰自 IHMT 所建置之國內五大商港海氣象即時監測與傳輸顯示系統中，檢選與鼻頭角地理位置相鄰近之蘇澳港測站，並整理與 11-9 事件相關聯之部分波動監測紀錄，因此可得事件發生前，最大觀測波高( $H_{max}$ )約達 8.3 公尺(2013/11/09 07:43:00)，而其示性波高( $H_s$ )不及 1.5 公尺，充分滿足  $H_{max} > 2 H_s$  之突發性異常大浪紀錄，如圖 5-2 所示；而若以深水波速估計波動自蘇澳港傳播至鼻頭角所需之時間，則在 11-9 事件發生前 2 小時(2013/11/09 12:10:00)，可整理蘇澳港之實測波浪時序紀錄，如圖 5-3 所示，由圖觀察可見，當時波浪已甚洶湧，波高普遍達 3 公尺以上。

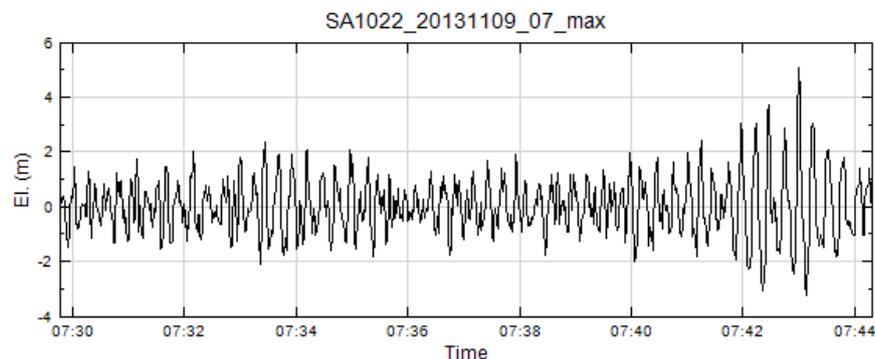


圖 5-2 海燕颱風影響期間(2013/11/09 07:43:00)在蘇澳港近海觀測到最大波高約達 8.3 公尺之異常大浪時序紀錄

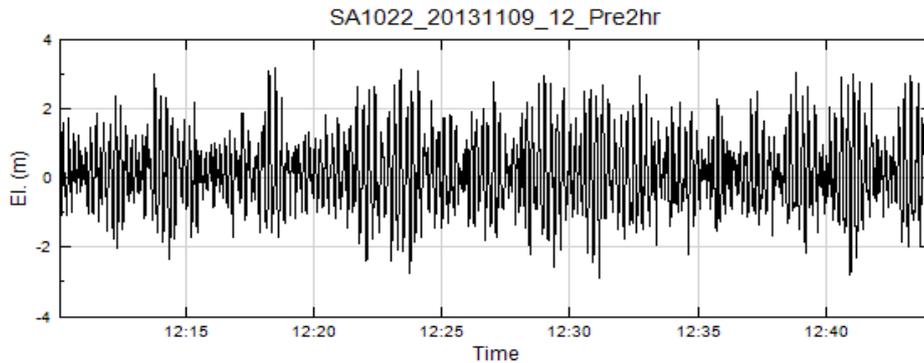


圖 5-3 海燕颱風長浪發生 11-9 瘋狗浪侵襲事件前 2 小時之蘇澳港近海原始 1 Hz 波浪分時監測紀錄(2013/11/09 12:10:00)

針對圖 5-3 所示之實測波浪時序紀錄，進一步應用 EMD 經驗模態分解方法(Huang et al., 1998)進行分析，因而可得不同頻段之固有模態函數(IMFs)，如圖 5-4 所示。由圖觀察可見，在 11-9 事件發生前 2 小時，具有最高頻之第 1 IMF，主要週期約介在 5~8 秒間，波動振幅甚固定，其應可視其為颱風長浪之載波(carrier)，而第 2 與第 3 IMF，主要週期分別約介在 12~15 秒與 15~20 秒間，其中，具有最大波能之第 2 IMF，更明顯具有群波及調變特性(Zakharov and Ostrovsky, 2009)。因此，在綜合近岸波群之非線性演化與調變不穩定機制下，主要週期約介在 12~15 秒之長浪，不僅可視為支配颱風長浪振幅變化或擔負波能傳遞任務之低頻包絡波(envelop)，更應是發生瘋狗浪的最重要因素與關鍵癥候。

至於瘋狗浪之侵襲潛勢，從近岸波群之非線性演化與調變不穩定機制出發，再掌握主要週期約介在 12~15 秒之長浪係為發生瘋狗浪的關鍵癥候後，經仔細檢視歷年之颱風長浪演化歷程(參照圖 3-17 至圖 3-19 與圖 3-21 至圖 3-25)，並參照實際瘋狗浪發生之對應時機可發現，當蘇澳港或花蓮港監測到之颱風長浪進入堆疊擁積階段，亦即其尖峰週期自小於 10 秒突然躍昇至大於 12 秒，示性波高自小逐漸增大，並

於隨後超越 1.5 公尺，則颱風長浪將肇始具有瘋狗浪之侵襲潛勢；而自堆疊擁積階段後約 10 小時，若尖峰週期持續維持在 12 秒以上，且其示性波高可增長至超越 2.5 公尺，亦即進入發達成熟期，則颱風長浪將最容易引發瘋狗浪，同時具有最強烈之侵襲潛勢(莊 等，2014)。

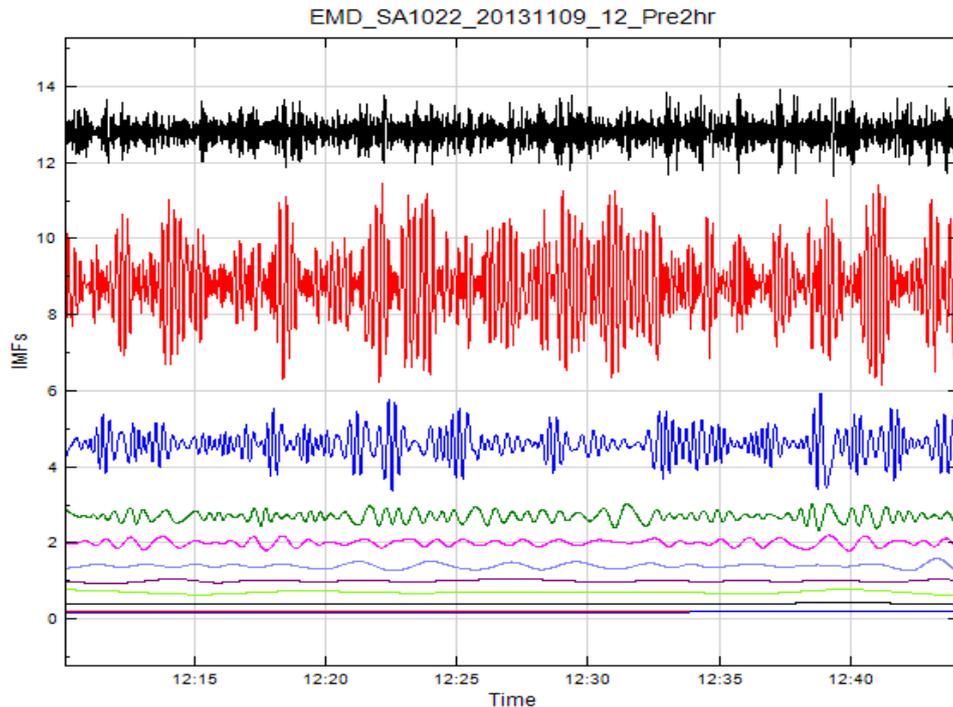


圖 5-4 以 EMD 分析 11-9 海燕颱風瘋狗浪侵襲事件前 2 小時之蘇澳港近海波浪監測紀錄所得之 IMFs 及主要週期約介在 12~15 秒且明顯具群波型態與調變特性之第 2 IMF (紅)

### 5.3 瘋狗浪預警及防災分級

類比於颱風、豪雨、乾旱、寒潮、防洪溢淹及土石流等災害，我國對其均訂有特定預警基準，以作為警報分級及發布與解除之憑據。而針對瘋狗浪之侵襲災害，為解決其發生時、空迄今尚難以預測與預報之難題，因此，本研究以颱風長浪引發瘋狗浪的關鍵癥候為基礎，結合其侵襲潛勢，應用蘇澳港或花蓮港所監測颱風長浪尖峰週期與示性波高在(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)發達成熟；及(5)

減衰消退等五個重要階段(參見第三章內文)之共通特性與獨特辨識性，具體訂定啟始警戒及發布與解除預警之簡易準則如后。

啟始警戒：當毗鄰臺灣海域有颱風生成，則依據颱風當時距臺灣東部海岸之距離，再以長浪傳播速度 800km/day，估計啟始到達時間，即可啟始警戒。

預警之發布：當颱風長浪處於堆疊擁積階段，尖峰週期自小於 10 秒突然躍昇，並持續維持在 12 秒以上，而且示性波高大於 1.5 公尺，即颱風長浪已明確具有引發異常大浪或瘋狗浪之調變不穩定特性時，應即發布瘋狗浪侵襲之預警。

預警之解除：當颱風長浪自發達成熟進入衰退階段，尖峰週期從超過 10 秒以上，減降回歸至 10 秒以下，示性波高由大遞減至低於 1.5 公尺，亦即應已安全渡過瘋狗浪之侵襲潛勢期，故可解除預警。

特別值得一提的是，依循上列基準發布預警後，瘋狗浪之侵襲潛勢，通常將會於約 10 小時後，進入強盛期。這意謂政府及民眾，皆約有 10 小時之充裕知災時間，進而可從容執行消災、減災、避災等預警作為，或施行自主防減災措施。至於預警之解除，自預警發布時起，通常之延續期間約為 48 小時。

此外，基於颱風長浪本質之波群非線性演化與調變不穩定特性，在近岸海域，除了必要進行瘋狗浪避災預警之外，尚可依據颱風長浪週期與波高各自之危害性，將防災分級列如表 5-1，並綜整如圖 5-5 所示。各分級之基準及相關施行自主防減災措施之重點分述如后。

第一級，具有最高等級之瘋狗浪侵襲危險性，故以紅色表示。在本預警等級中，颱風長浪應已明確陳現波動調變不穩定特性，尖峰週期維持在 10 秒以上，而且示性波高大於 1.5 公尺，亦即應已發布「瘋狗浪警報」。在此海況下，於曾好發瘋狗浪之海岸區域，長浪必然已成

熟群聚演化，並已具足引發異常大浪甚或是瘋狗浪之最高潛勢，故在勢強不可擋之情況下，自主防減災之對應措施與作為，應以避開或遠離可能致災區之「避災」為重點。

表 5-1 颱風長浪侵襲之防災分級

蘇澳港_花蓮港 波浪即時監測特性	第 1 級	第 2 級	第 3 級
尖峰週期超過 10 秒	✓	✓	
示性波高大於 1.5 公尺	✓		✓

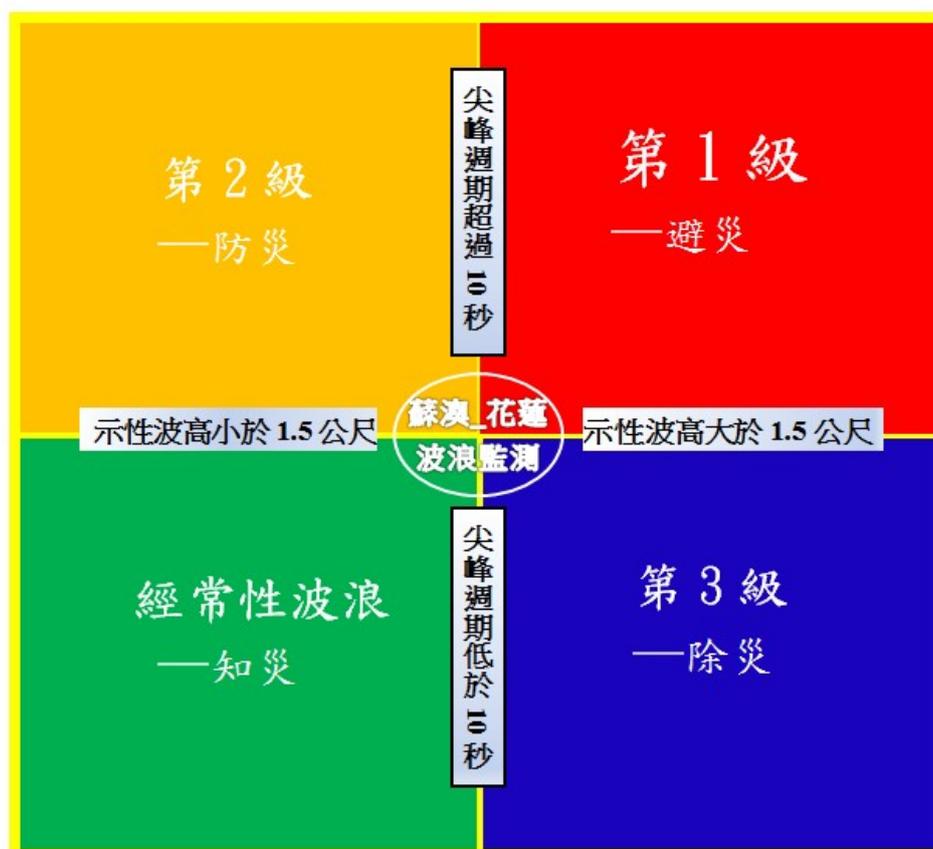


圖 5-5 颱風長浪之防災分級與對應之防減災重點

第二級，以橙黃色表示。在本預警等級中，颱風長浪之尖峰週期係維持在 10 秒以上，但示性波高必需小於 1.5 公尺。在此海況下，近岸長浪通常才初始其群聚演化及陳現波動調變特性，並且逐漸蓄積侵襲潛勢，故尚不致引發異常大浪，惟仍應密切保持警戒；至若示性波高逐漸增長，並接近 1.5 公尺，則約於 10 小時後，群聚演化將臻成熟而具有引發異常大浪之潛勢，故應作「瘋狗浪警報」發布之預備。因此，自主防減災之對應措施與作為，應以預警防護之「防災」為重點。

第三級，以藍色表示。在本預警等級中，颱風長浪之示性波高應大於 1.5 公尺，但尖峰週期應小於 10 秒。近岸海況較複雜，可能偏屬一般季風波浪，亦可能是颱風長浪正處於初始群聚演化階段，或已通過發達成熟期而進入減衰消退階段，以致引發瘋狗浪之關鍵癥候尚未形成或已消失。故而，先前若有「瘋狗浪警報」之發布，亦應已解除。儘管如此，因最大波高可能仍會高達 3.0 公尺以上，海況仍甚差，波浪仍具有侵襲潛勢，故仍應保持警戒。因此，自主防減災之對應措施與作為，應以排除災害之「除災」為重點。

第四級，以綠色表示。在本等級中，示性波高小於 1.5 公尺，尖峰週期小於 10 秒，偏屬經常性波浪，近岸海況，應是風平浪靜。儘管如此，對於潮汐漲退、海流之變動仍應提防及注意。因此，自主防減災之對應措施與作為，應以瞭解災害之「知災」為重點。

應用上述瘋狗浪預警與防災分級，針對民國 107 年 9 月 2 日曾在宜蘭南澳神秘海灘及內埤海灘造成嚴重瘋狗浪侵襲悲劇之無發布警報颱風\_燕子，依據圖 5-1 所示之預報行進路徑潛勢，以及在花蓮港近海監測颱風長浪之演化歷程，如圖 5-6 所示，可見 2018/08/28 燕子颱風初形成時，距離臺灣東海岸約 4000 公里，以長浪傳播速度約 800 km/day 估計，概約 5 天後，即在 2018/09/01 起，燕子颱風衍生之長浪即會傳達臺灣東部近海，於此起始到達階段，週期一般會小於 12 秒，浪高不及 1 公尺；隨後，進入群聚成長階段，將逐漸促使週期自小於 12 秒而

超越 12；再至堆疊擁積階段，近岸浪高即會自小於 1 公尺逐漸增高至大於 1.5 公尺，週期維持在 12 秒以上。特別是到 8 月 30~31 日間，燕子颱風由中颱轉為強颱，當時距臺灣東岸之距離僅約 2400 公里，估計強風引致之較大長浪，亦概約會於 3 日後，即於 2018/09/02~03 日間與先前長浪群聚堆疊，並同時影響臺灣東岸近海浪況！因此，瘋狗浪預警應於 9 月 2 日下午 3 時發佈！惟甚不幸於同時隨即接連發生 4 起民眾落海事件，「恐怖大浪」共捲走 7 人，並造成 6 死 1 失蹤的悲劇！

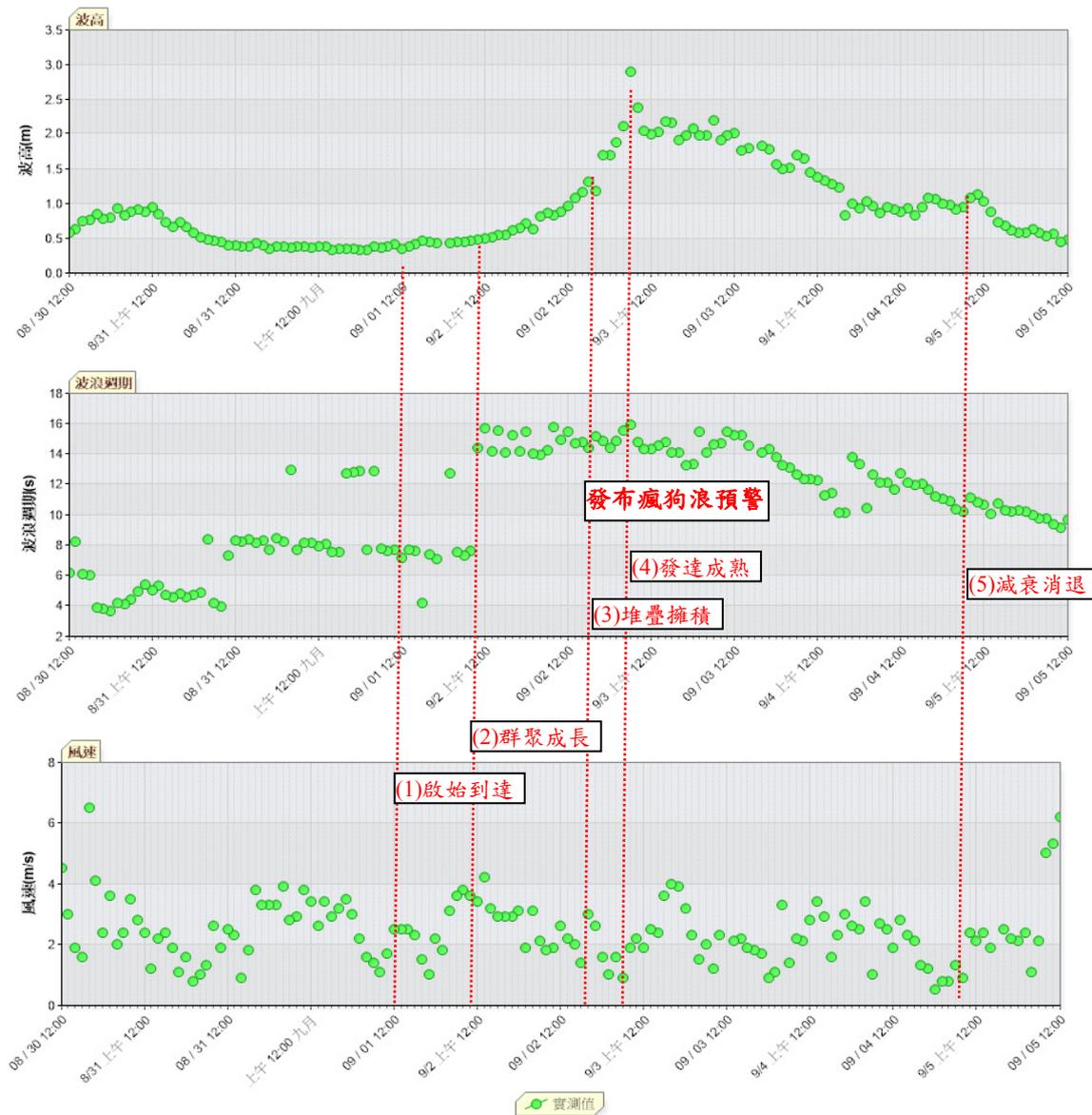


圖 5-6 無發布警報之燕子颱風於 2018 年自 9 月 1 日至 5 日在花蓮港近海所衍生颱風長浪之 5 個主要演化階段及瘋狗浪預警之發布時機

## 5.4 瘋狗浪之預警措施與作為

在臺灣環島海域，瘋狗浪侵襲事件與颱風長浪具密切關聯性。惟以現今之科研成就為基礎，欲對瘋狗浪之準確發生時、空進行預測或預報，仍有諸多機制相關之課題與辯證有待突破。但為滿足現階段防災、避災、減災、除災之需要，仍應可簡速地從預警著手。

經研究颱風長浪之演化歷程、剖析引發瘋狗浪的關鍵癥候及確認蘇澳港及花蓮港所監測颱風長浪之獨特辨識性後，可具體訂定啟始警戒及發布與解除預警之簡易準則如后：

1. 啟始警戒：當毗鄰臺灣海域有颱風生成，則依據颱風當時距臺灣東部海岸之距離，再以長浪傳播速度 800km/day，估計啟始到達時間，即可啟始警戒。
2. 預警之發布：當先來後到之颱風長浪處於堆疊擁積階段，示性波高大於 1.5 公尺，尖峰週期自小於 10 秒突然躍昇並持續維持在 12 秒以上，颱風長浪明確具有引發異常大浪或瘋狗浪之波動調變不穩定特性時，應即發布瘋狗浪侵襲預警。
3. 預警之解除：當颱風長浪自發達成熟進入衰退階段，尖峰週期從超過 10 秒以上，減降回歸至 10 秒以下，示性波高由大遞減至低於 1.5 公尺，亦即應已安全渡過瘋狗浪之侵襲潛勢期，故可解除預警。

特別值得一提的是，依循上列基準發布預警後，瘋狗浪之侵襲潛勢，通常將會於約 10 小時後，進入強盛期。這意謂政府及民眾，皆約有 10 小時之充裕知災時間，進而可從容執行消災、減災、避災、除災等預警作為，或施行自主防減災措施。至於預警之解除，自發布時起，通常之延續期間，短暫地約僅有 48 小時。

在 2013 年 11 月 9 日海燕颱風造成嚴重不幸的瘋狗浪侵襲事件後，

依據隨後的平面媒體報導，前交通部長葉匡時曾提出：宣導海岸防衛知識、瘋狗浪盛行季節將嚴格管制、增設監視系統、善用志工勸導及海岸風景區將和氣象局設立預報機制等 5 項具體防災措施，並承諾將會督導交通部所屬的海岸型國家風景管理處跟中央氣象局建立長期的研究合作，來研擬小區域氣候預報機制，並且會把氣候方面的訊息，充分提供給予遊客知悉，藉以防範未然。部分學者也透過媒體呼籲：建構瘋狗浪警報，莫讓民眾怕海。但亦有學者認為：在海岸增加再多的防護設施，經海浪沖擊，幾年就破壞殆盡，治本之道應是建立預警系統，並加強民眾對海洋安全的警覺。

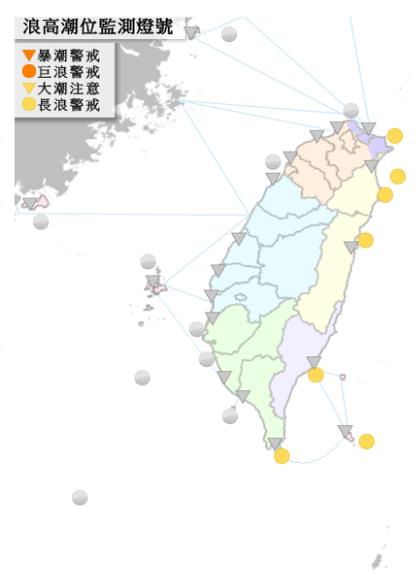
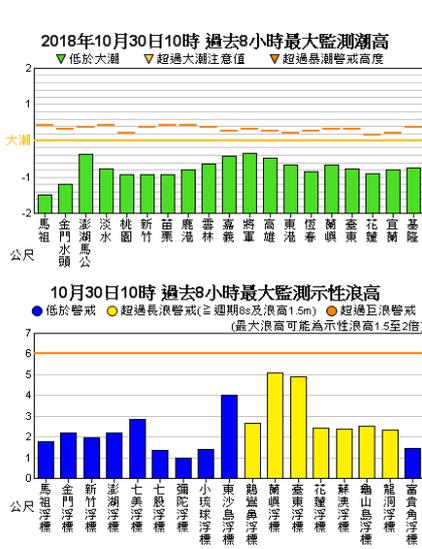
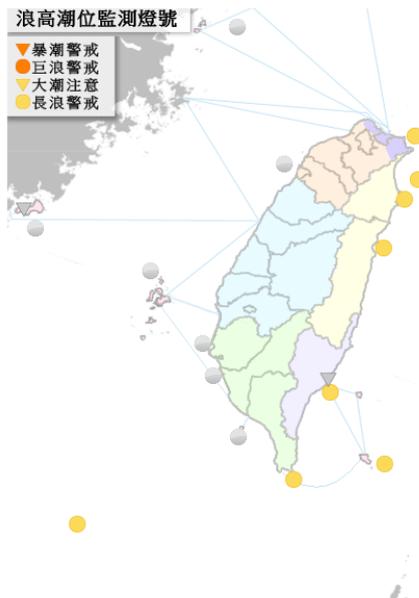
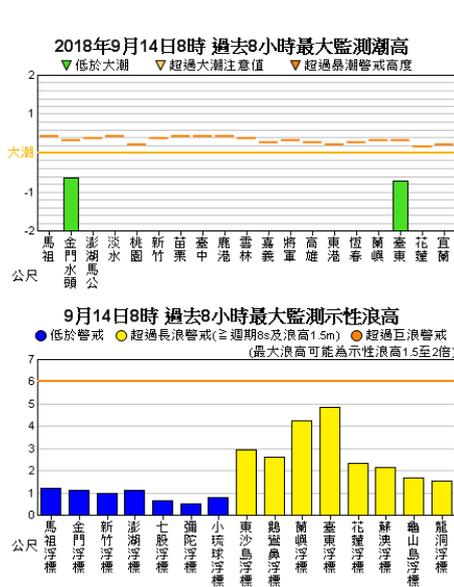
另外，在 2018 年 9 月 2 日燕子颱風在宜蘭南澳神秘海灘及內埤海灘造成嚴重瘋狗浪侵襲悲劇後，依據隨後的平面媒體報導，宜蘭代理縣長陳金德，隨即於 9 月 4 日在縣務會議上指示，自即日起禁止民眾進入神秘沙灘，並由副縣長邀集府內、外相關單位開會研議，在 10 天內針對神秘沙灘、粉鳥林祕境及內埤海灘等 3 處易發生瘋狗浪侵襲事故的海岸，訂出相關管理辦法或要點，並公告實施，且應完成警示牌、管制時間、救護站等設置，同時並指示違規沙灘車不得再攬客，更要求合法申請業者應做好自主管理，確保不再發生類似意外。

僅管政府各級海岸管理機構與相關權責單位皆曾為防範瘋狗浪作出各類防範措施。但因颱風長浪演化之特殊性，在每年夏季之颱風波浪影響期間，不可避免地仍經常會發生瘋狗浪之侵襲與危害事件。因此，為期政府確實重視並具體落實瘋狗浪之預警，有效地減少每年之傷亡，本文除了從引發瘋狗浪的關鍵癥候出發，結合颱風長浪之監測與演化歷程資訊，具體訂定發布與解除預警之簡易基準外，尚將颱風長浪之危害，進行防災分級，藉期透過「瘋狗浪警報」之推展實行，能在瘋狗浪具有侵襲潛勢前 10 小時，以最科學之方法、最親海之方式、最合理人力之配置、最儉省社會成本之耗費，從容應變並有效消弭瘋狗浪侵襲事件之發生，進而徹底達成消災與防災之雙重目標。至於相關預警之配合作為與措施，建議如下：

1. 政府應充分開放及分享以蘇澳港或花蓮港為基礎之颱風長浪即

時監測資訊，並儘速責成發布與解除「瘋狗浪警報」之權責機構。並責成相關海岸管理之機構及單位，應針對颱風長浪之危害與防災分級，妥適研擬防減災配合措施，並落實預警作為。

2. 現況，中央氣象局依據臺灣環島近海資料浮標之波浪監測分析結果，不定時會於局網針對臺灣各處海岸發布颱風“長浪即時警示訊息”，如圖 5-7 所示，藉以警示近海長浪已具有極高之不穩定性與危險性！因此，該訊息不應只在局網、媒體及廣播上作“靜態”陳現，建議政府應更積極主動地責成相關海岸管理機構及單位，在各休憩海灘及海岸之重要通道入口，甚或與休憩業者、風管處及海巡單位聯線，建置“動態”的即時海象資訊，特別是長浪警示資訊！尤其更應責成風管處及海巡單位，對於是在局網發布長浪即時警示訊息之短暫期間內，應即比照陸上颱風警報之發布，具體落實並執行相關之禁制措施與作為!!!
3. 在歷年曾發生瘋狗浪侵襲之海岸區域，除了既有如圖 5-8 所示之常設靜態警示標誌外，應配合「瘋狗浪警報」發布與解除期間，於通往海岸區域之服務區或關鍵通道入口處，建設易於與警報發布與解除聯動之動態燈號、標誌與警示文字，如圖 5-9 所示。
4. 在重要之海岸公路或鐵路區段，建設可動態起閉且與警報發布與解除資訊聯動之電子看板、布告與跑馬燈(參見圖 5-9)。
5. 先在高程不及 5 公尺之礁岩海岸，建設標樁及劃設虛擬警戒線，並於「瘋狗浪警報」發布期間，比照陸上颱風警報之發布，統整各式與公權力相關之人力與物力資源，藉以在警報發布至解除之約 48 小時期間內，短暫禁止或勸離民眾進入警戒帶內從事各式休憩活動。
6. 透過教育與媒體，宣導颱風長浪在近岸之特殊演化歷程，並藉實際案例或影片，闡釋瘋狗浪之突發性及其曾經對民眾生命財產所造成之危害。



資料來源：中央氣象局官網 [https://www.cwb.gov.tw/V7/prevent/typhoon\\_surge/watch.htm](https://www.cwb.gov.tw/V7/prevent/typhoon_surge/watch.htm)

圖 5-7 中央氣象局近年依據臺灣環島近海資料浮標之波浪監測分析結果不定時在局網針對臺灣各處海岸發布之颱風長浪即時警示訊息(上\_2018年9月之山竹颱風；下\_2018年10月之玉兔颱風)



圖 5-8 好發瘋狗浪侵襲之海岸及海灘區域所常設警示效能甚有限之靜態警示標誌



圖 5-9 建議於重要之海岸公路、鐵路區段及通往海岸之服務區或關鍵通道入口處，建設可動態起閉且與瘋狗浪警報發布與解除資訊聯動之電子看板、布告、跑馬燈、動態燈號、標誌與警示文字



## 第六章 結論與建議

颱風，為臺灣首要的災變天氣，而伴隨颱風所生成之長浪，則似如影隨形之危險海怪，且在海、陸、空各領域，常會造成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，卻常因其神出鬼沒之演化特性無法明確掌握而屢屢被輕忽。鑑此，針對臺灣近海，本文以交通部運輸研究所港灣技術研究中心(IHMT)在國內五大商港近海所建置之海氣象(風、浪、潮、流)即時監測與傳輸顯示系統為基礎，從國內五個國際港之既有波浪觀測資料庫中，檢選並彙整冬、夏季之季風及部分曾發布及未曾發布海、陸颱風警報期間之長期連續波浪監測與分析紀錄，再以颱風與長浪之密切關聯性為基礎，藉歷年波浪之逐時觀測與分析紀錄，配合颱風之移動路徑、位置、距東部海岸之距離及強度變動等資訊，陳示颱風長浪之實際演化歷程，並據以探索颱風長浪與季風波浪之共通演化特性，進而對神出鬼沒，但卻經常伴隨颱風長浪而衍生之瘋狗浪，提供簡易之危險潛勢分級，建構預警判別準則，研提預警措施，藉期可有效防範瘋狗浪之侵襲，減小其危害，並達成颱風長浪相關災害防制之需要。

### 6.1 結論與建議

本研究應用交通部運輸研究所港灣技術研究中心(IHMT)近年在臺灣 5 個國際港區附近海域所監測之長期性海氣象資料，再透過波浪原始 1 Hz 逐時監測紀錄之匯整與分析，並經綜合檢視風、浪相關之分時演化特性後，對於季風與颱風波浪特性研究及其在瘋狗浪預警之應用，可得結論與建議如后。

1. 針對西南季風波浪特性，應用中央氣象局在東沙島、七美、小琉球等三處資料浮標之海氣象逐時監測紀錄，檢選 2017 年 5 至 7 月幾乎

無颱風影響期間，經資料彙整及分析可具體瞭解到，臺灣海峽南段海域，夏季之西南季風與波浪，其變動特性皆甚和緩，風速通常不及 8.0 m/s，較強盛之風速，亦僅約 10.7 m/s 左右；示性波高普遍低於 2 公尺，較大者亦不過 3 公尺；二階譜週期或平均週期，大多在 8 秒以下，且通常小於 6 秒。進一步再透過相關性分析可發現，東沙島與七美二資料浮標，實際風速強弱與波高大小之逐時變化歷程均甚相近似，彼此間風速及波高之相關係數分別可達 0.614 與 0.782，因此，可互為代表並據以直接陳現區域性之海氣象特性，惟總體代表性，仍以東沙島較佳。

2. 結合東亞地面天氣圖，針對冬、春季之東北季風期，檢視國內五大商港海域分月風速與波浪逐時變化特性，綜合可發現：(1)在東北季風天氣系統之整體影響下，國內五大商港之季風，僅管因地理區位與地形遮蔽效應差異而致風速強弱彼此不同，但各港仍具有近似相同之起伏變動趨勢，風速並以臺中港最強勁，逐時歷程變化亦最明顯。(2)基隆港與臺中港冬季之季風長浪，不僅彼此逐時之示性波高大小與尖峰週期長短相近似，其隨臺中港風速強弱而逐時變化之歷程亦極為一致。針對波高與風速平方進行迴歸分析，可得相關係數分別可高達 0.77 與 0.87，這意謂臺中港之風速，直接與兩港之季風長浪具密切關聯性，且臺灣海域之東北季風，可以臺中港作示性之代表；而其強盛程度，亦可藉臺中港風速之強弱，作為簡易地判別指標。(3)蘇澳港與花蓮港冬季彼此之風速強弱甚相當，而長浪波高大小與週期長短及其逐時變化歷程亦皆甚近似。(4)臺灣環島海域冬季之季風長浪，其尖峰週期，普遍約介在 5~10 秒間，最長不及 12 秒；而較大之示性波高，大多發生在基隆港，且可高達 6.0 公尺以上。
3. 就夏季颱風波浪而論，當太平洋海域有颱風形成時，則不論其行進路徑，亦不論其是否為發佈颱風警報，只要颱風向臺灣海岸趨近，則颱風所衍生之長浪，其傳播速度概約可以每日 800 公里計算，且在東部近海，通常可在蘇澳港與花蓮港近海，透過示性波高( )與尖

峰週期( )，清楚地陳現其極相近似之(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之逐時演化歷程。另外，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。

4. 在颱風波浪的(1)啟始到達；(2)群聚成長；(3)堆疊擁積；(4)發達成熟；及(5)減衰消退等五個主要演化歷程階段中，最值得特別注意的是，自堆疊擁積至發達成熟階段，颱風長浪的尖峰週期將會由 10 秒以下突然躍升至 12 秒以上，示性波高亦會由小逐漸成長至大於 1.5 公尺，以致颱風長浪常會因此一波動調變不穩定特性而可引發異常大浪或瘋狗浪。而為解決目前瘋狗浪尚無法準確預測或預報之問題，本研究尚針對颱風長浪之調變特性，再結合蘇澳港或花蓮港長浪波高與週期甚相近似之逐時演化歷程，提出瘋狗浪預警之發布與解除準則，並建立預警的分級與其預警措施，冀期能滿足防災、避災、減災、除災之需求。
5. 對照近岸監測波浪之時序特性變化與發生瘋狗浪侵襲事件之時間關聯性，本研究認為伴隨颱風或季風所衍生之湧浪，其在近岸之群波非線性演化本質與波能聚積堆疊效應，應是引發瘋狗浪或異常大浪的重要機制與關鍵原因。因此，為現階段瘋狗浪避災與防災之需要，本研究將避免對瘋狗浪之準確發生時間與地點進行預測或預報，而僅以預警為目標。主要的預警準據，建議以位處臺灣東部之蘇澳港或花蓮港近海既有海象測站之即時波浪監測特性作為基礎，當所監測到波浪之示性波高大於 1.5 公尺、且其示性週期在甚短期間內由通常小於 10 秒之風浪，突然轉變為超過 12 秒以上之湧浪時，應即起動相關之預警作為；而當波浪之示性週期再度減降回復至 10 秒以下時，即可解除預警。

## 6.2 研究成果之效益

本研究成果主要在廣泛分析颱風與季風波浪之波高與週期逐時演化特性，再透過颱風長浪於具足引發瘋狗浪侵襲所特殊具有之尖峰週期突昇變動性，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，進而具體研提瘋狗浪之預警準則及相關防災應變措施。主要研究效益，綜整條列如下：

- (1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 2 篇，出版研究報告 1 冊。結合海岸專業知識，溫故知新，應用時頻分析，深切探討颱風與季風波浪特性，訂定颱風長浪之防災分級，研提瘋狗浪預警之詳細具體判定準則；
- (2) 技術創新(科技整合創新)方面：應用研究觀察，學以致用，結合颱風與季風波浪示性波高及尖峰週期之逐時演化特性，擴展分析觀點，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，具體研提瘋狗浪之防災應變措施，提升科研課題之廣度與深度；
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：配合政府推展「海岸管理法」之永續發展目標，因應海岸防災效能，樽節颱風長浪減災及瘋狗浪防災之成本；
- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：依據颱風長浪之危險潛勢分級圖，具體提出瘋狗浪之預警準則，研提瘋狗浪之防災應變措施，精進海岸防災策略，降低海岸遊憩風險，促成國家海氣象觀測資源之永續利用；
- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：因應氣候變遷與海岸災害風險，落實「整體海岸管理計畫」，推動「海岸防護」與「海岸保護」目標，綜整海岸管理之課題與對策，導引海岸防災措施，健全海岸管理。

### 6.3 可供本所或其他政府機關後續應用情形

本研究有效地應用國家海氣象觀測資源，詳實結合颱風與季風波浪示性波高及尖峰週期之逐時演化特性，建置颱風長浪危險潛勢分級圖，具體提出瘋狗浪之預警準則，並研提瘋狗浪之有效防災應變措施，發揮海岸專業學能，學以致用，精進海岸災害評估策略，降低海岸遊憩風險。相關成果可提供交通部中央氣象局、觀光局、各國家風景區管理處、鄰海縣市政府觀光旅遊局、港務分公司、經濟部水利署、海洋委員會海巡署等相關政府單位從事瘋狗浪預警及防災的應用參考。



## 參考文獻

1. AnCAD (2014) Visual Signal Referene Guide, Visual Signal 1.5 Professional, AnCAD, Inc. (逸奇科技公司)
2. Doong, D.J. and C.C. Kao (2007) Typhoon Induced Swell, Proceedings of East Asian Workshop for Marine Environments, Tainan, Taiwan, Nov. 26-28.
3. Doong, D.J., Chuang, L.Z.H., Kao, C.C., Lin, Y.B. and K.C. Jao, (2009) Statistics of Buoy-observed Waves during Typhoons at Taiwanese Waters from 1997 to 2008, Proceedings of OCEANS'09 MTS/IEEE, Biloxi, MS, USA, 26-29.
4. Horikawa, K. (1978) Coastal Engineering \_An Introduction to Ocean Engineering, Chapter 2, University of Tokyo, Japan.
5. Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C.C. and H.H. Liu, (1998) The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-stationary Time Series Analysis, Proc. R. Soc., A 454, 903-995.
6. Liang, N.K. (2006) The freak wave mystery—a new hypothesis for its occurrence, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 15, No. 3, 241-246.
7. Liang, N.K. (2007) The freak wave msstery - A new hypothesis for its occurrence, Journal of Marine Science and Technology, 15(3), 241-246.
8. Liang, N.K. (2012) The freak wave potential of typhoon swell, Journal of Marine Science and Technology, 20(4), 467-471.
9. Liang, N.K. (2014) Typhoon swell prediction and freak wave potential, Environmental Research Journal, Vol. 8, Issue 4, 371-382.
10. Munk, W.H. (1951) Origin and generation of waves, Proc. 1st Conf. on Coastal Eng.,1-4.

11. 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.
12. 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.
13. Tucker, M.J. (1991) *Waves in Ocean engineering : Measurement, Analysis, Interpretation*, Ellis Horwood Series in Marine Science, E. Horwood, New York, , 431p.
14. Zakharov, V.E. and L.A. Ostrovsky (2009) Modulation instability: The beginning, *Physica D*, 238, 540-548.
15. 梁乃匡、林文宗(1978)「薇拉颱風波浪實測與推算之比較」，第 2 屆海洋工程研討會論文集，第 23-27 頁。
16. 梁乃匡(1982)，「颱風湧浪的預報方法」，第 6 屆海洋工程研討會論文集，第 5.1-5.19 頁。
17. 合田良實(1990)，“港灣構造物の耐波設計”，鹿島出版社。
18. 許明光、曾俊超、高家俊(1993)，「台灣地區『瘋狗浪』之調查及成因初探」，第 15 屆海洋工程研討會論文集，第 525-534 頁。
19. 蔡政翰、林盈成、曾相茂(2001)，「群波與瘋狗浪」，*海洋工程學刊*，第 1 卷，第 1 期，第 71-82 頁。
20. 陳冠宇(2002)，「瘋狗浪的可能機制」，*海洋工程學刊*，第 2 卷，第 1 期，第 93-106 頁。
21. 錢維安(2006)模糊-類神經混合網路之颱風波浪推算模式，國立交通大學土木工程研究所博士論文。
22. 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。
23. 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，第 10 卷，第 2 期，第 87-120 頁。
24. 許城榕、陳炫杉、陳陽益(2011)「有限水深波譜風浪及湧浪劃分」，第 33 屆海洋工程研討會論文集，第 133-138 頁
  25. 許城榕、陳炫杉、陳陽益(2012)「風浪及湧浪方向頻譜劃分應用於海象預報」，101 年天氣分析與預報研討會論文集，海象測報與應用，中央氣象局，第 467-472 頁。
  26. 滕春慈、呂理弘、范揚沼、張志強(2012)「風湧浪觀測之分析研究」，101 年天氣分析與預報研討會論文集，海象測報與應用，中央氣象局，第 439-441 頁。
  27. 陳蔚瑋、何良勝、張憲國、劉勁成、江玟德(2013)「以 M5 最小化模式樹建立颱風波浪推算模式之研究」，第 35 屆海洋工程研討會論文集，第 149-154 頁。
  28. 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>)
  29. 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>)
  30. 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。
  31. 莊文傑、曾相茂、張憲國、林珂如(2014)，“瘋狗浪之預警\_概念可行性評估報告”，民眾自主防減災創意徵集，國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心主辦。
  32. 張高瑋 (2015)，“考慮海陸風及湧浪特性的波高與風速之迴歸分析”，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
  33. 陳盈智、董東璟、蔡政翰、蔡仁智、滕春慈、朱啟豪(2015)「以實測資料探討颱風湧浪對異常波浪發生之影響」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 89-94 頁。
  34. 莊文傑、曾相茂(2015)「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。
35. 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)”，交通部運輸研究所，MOTC-IOT-103- H2DA001a 基本研究報告，共 373 頁。
  36. 林琿、閻國年、宋志堯(2000)，“東中國海潮波系統與海岸演變模擬研究”，科學出版社，中國，共 266 頁。
  37. 郭一羽 (2001)，“海岸工程學”，文山書局。
  38. 莊文傑、江中權(2005)，“臺灣海峽的水深地形對潮波振盪之影響研究”，MOTC-IOT-93-H3DA004 基本研究報告，交通部運輸研究所臺灣技術研究中心，共 438 頁。
  39. 莊文傑、江中權(2006)，“臺灣四周海域旋轉潮波系統之同潮圖」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，pp.325-330。
  40. 莊文傑、曾相茂、江中權(2006)，“潮汐資料之補遺及其在暴潮位萃取之應用」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，國立中山大學，臺灣海洋工程學會，第 277-282 頁。
  41. 莊文傑、林立青、張永欣(2007)，“氣象潮位的萃取及其在暴潮預報的應用」，第 29 屆海洋工程研討會論文集，國立成功大學，臺灣海洋工程學會，第 207-212 頁。
  42. 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。
  43. 莊文傑、張憲國、曾相茂(2014)，“臺灣七大商港海域之潮流橢圓特性」，海洋工程學刊，第十四卷，第三期，第 177-200 頁。
  44. 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>)
  45. 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>)

46. 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)”, 交通部運輸研究所, MOTC-IOT-103- H2DA001a 基本研究報告, 共 373 頁。
47. 莊文傑、曾相茂(2015), 「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。
48. 莊文傑、曾相茂(2015), 「臺灣五大商港海域之波浪觀測與長浪之辨識」, 2015 天氣分析與預報研討會論文集, 中央氣象局, 第 5-11-L\_1-6 頁。
49. 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。
50. 莊文傑、曾相茂(2016), 「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。
51. 莊文傑、曾相茂(2016), 「臺灣海域之東北季風與國內五大商港海域之長浪特性」, 2016 天氣分析與預報研討會論文集, 中央氣象局, 第 A5-11\_1-6 頁。
52. 蔡政翰、董東璟、蔡仁智(2016), 「台灣附近的瘋狗浪和異常波浪」, 海洋及水下科技季刊, 第二十六卷, 第四期, 第 3-8 頁。
53. 滕春慈、朱啟豪、林芳如、陳琬婷(2016), 「氣象局瘋狗浪與異常波浪之預測與預警」, 海洋及水下科技季刊, 第二十六卷, 第四期, 第 9-14 頁。
54. 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, 第二十六卷, 第四期, 第 22-31 頁。
55. 董東璟、陳盈智、彭仁平(2016), 「長浪引起瘋狗浪之案例分析」, 海洋及水下科技季刊, 第二十六卷, 第四期, 第 32-37 頁。
56. 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」, 2017 天氣分析與預報研討會論文集, 中央氣象局,

第 5.7\_1-5 頁。

57. 莊文傑、曾相茂(2017)，「臺灣海峽南段西南季風波浪之觀測特性」，第 39 屆海洋工程研討會，第 89-94 頁。
58. 氣象局(2017)，「氣象百科」，交通部中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/me000.htm>
59. 莊文傑、曾相茂(2018)，「臺灣東部近海颱風與東北季風波浪之時頻演化特性」，2018 天氣分析與預報研討會論文集，中央氣象局，第 7-4-L\_1-6 頁。
60. 張憲國、莊文傑、劉勁成(2018)，「水位資料來源對波浪統計及波譜分析的影響」，第 40 屆海洋工程研討會。

## 附錄 1 期末報告審查簡報資料

## 颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用

- 研究人員：莊文傑<sup>1</sup>、曾相茂<sup>2</sup>

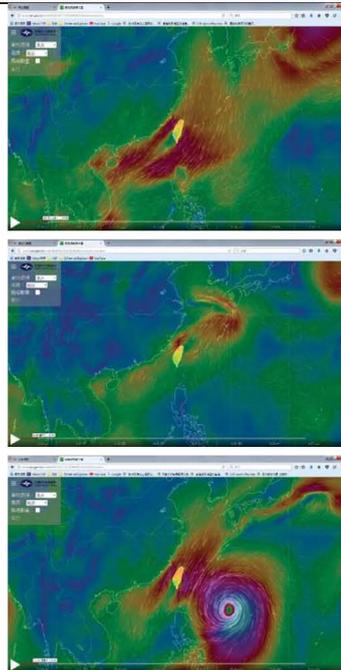
- 1. 研究員
- 2. 退休研究員

### 簡報內容

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 研究成果與討論
- 結論與建議

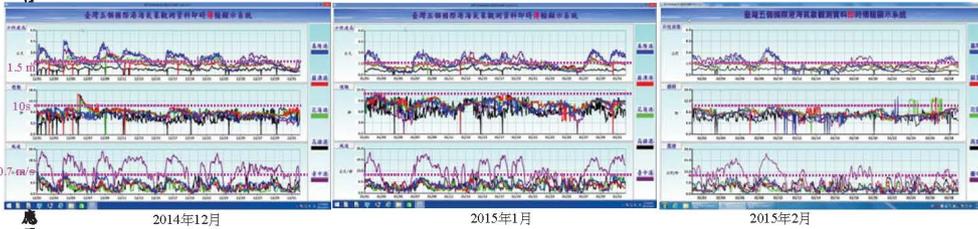
### 研究緣起與目的

- 問題與挑戰：
  - 臺灣環島近海經常面對季風與颱風波浪；
  - 每年夏季期間，臺灣東北部、東部及東南部海岸經常發生瘋狗浪侵襲事件；
  - 近岸產生詭異大浪(coastal freak waves)的原因，尚無定論！
  - 發生瘋狗浪之時、地，迄今尚難預測！
  - 欠缺預警準則及對應防範措施！
- 研究方法與目的：
  - 瘋狗浪侵襲事件與颱風長浪密切關聯！
  - 應用本所在國內五大商港近海之海氣象監測紀錄與分析資訊，綜合檢視季風與颱風期間之風、浪逐時變動特性，據以掌握颱風長浪逐時演化之特性，進而對長浪危險度作分級，藉以建置瘋狗浪侵襲之預警準則，並研提對應之防範措施。



## 冬季\_東北季風波浪特性

- 檢選2014年12月~2015年2月冬季之東北季風盛行期間，分月依序以藍、紅、綠、黑、紫色彙整基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、臺中港等國內五大商港海域既有波浪與風速之逐時監測紀錄。
- 圖中，波浪之波高與週期，分別係為示性波高(H)與尖峰週期(T<sub>p</sub>)；而風速，係為10分鐘平均風速。



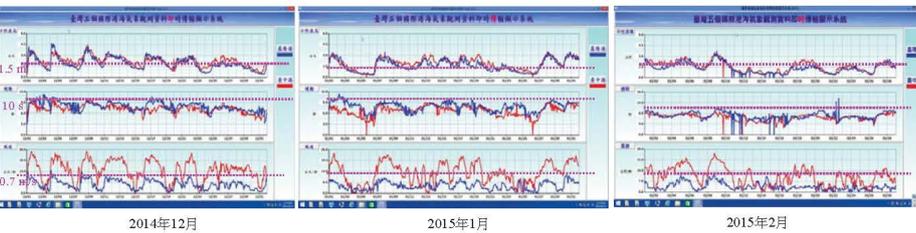
應用

- 風速：5級 (8.0~10.7 m/s)；有葉小樹搖擺，波峰泛白沫，形成中浪(2m)。
- 臺灣環島五大商港之季風，儘管地理區位不同，風速強弱彼此有所差異，惟起伏變動趨勢卻約略相近似，**風速並以臺中港最強勁**，一般可大於5級或8.0~10.7 m/s，較強勁之風速，約可達10級或24.5~28.4 m/s。因此，臺灣海域冬季受大陸冷高壓天氣系統影響之程度，似乎可以**臺中港作代表**，並以其風速之強弱，作為簡易地判別指標。
- 季風波浪之波高演化特性：**基隆港與臺中港**，較大之風浪波高，可超過4.5公尺，且全冬季之波高大小，彼此皆甚相近似，並皆會**隨臺中港超過6級或10.8~13.8 m/s風速之強弱而陳現相似地高低變動趨勢**；而分別位處在臺灣東北部與東部之**蘇澳港與花蓮港**，全冬季之長浪波高，彼此亦具有相近似之大小，只不過隨臺中港風速強弱而變動高低之趨勢並不明顯；而位處在臺灣西南部之高雄港，因地理位置洽對東北季風具有屏障與遮蔽優勢，故不僅風速微弱，波高亦最小。
- 季風波浪之週期時變性：在五大商港近海，除了在2014/12/6~7期間受**哈格比(HAGUPIT)**颱風、2015/1/17~19受**米克拉(MIEKKHALA)**颱風、2015/2/13~15受**無花果(HIGOS)**颱風之颱風湧浪影響外，**尖峰週期(T<sub>p</sub>)之長短**，一般約介在**5~10秒間**，**最長不及12秒**，隨風速強弱之變動幅度不大，惟仍與臺中港風速超過6級或10.8~13.8 m/s約略具有關聯。

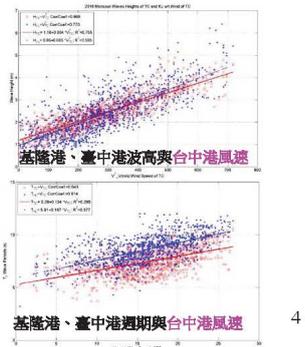
3

## 東北季風與區域風浪之關聯性基隆港、臺中港

- 檢選2014年12月~2015年2月冬季之東北季風盛行期間，分月依序以藍、紅彙整**基隆港、臺中港**海域既有波浪與風速之逐時監測紀錄。
- 圖中，波浪之波高與週期，分別係為示性波高(H)與尖峰週期(T<sub>p</sub>)；而風速，係為10分鐘平均風速。



- 風速時變性：儘管**基隆港、臺中港**地理區位不同，但季風風速之強弱起伏變動趨勢卻甚相似；惟風速之大小，皆以**臺中港較強勁**，一般可**大於5級或8.0~10.7 m/s**，較強勁之風速，約可達**10級或24.5~28.4 m/s**，且約為基隆港之三倍。這事實說明，區域性之地形，對風速影響極大。故若欲藉風速以充分反映東北季風影響臺灣海域之程度，則**臺中港實際上優於基隆港**。
- 長浪時變特性：儘管**基隆港與臺中港**之地理區位不同，但波高之大小與週期之長短，彼此卻皆甚相當，且明顯皆會**隨臺中港風速之強弱而起伏變化**其中，較大之示性波高，約皆可達4.5公尺；**波高與臺中港風速之變動明確相關**；而較長之尖峰週期，多在12秒以下，普遍約介在**5~10秒間**。
- 臺灣環島海域冬季之季風長浪，確實具有總體性，且季風與其衍生長浪之特性，**實際應皆可以臺中港作代表**。

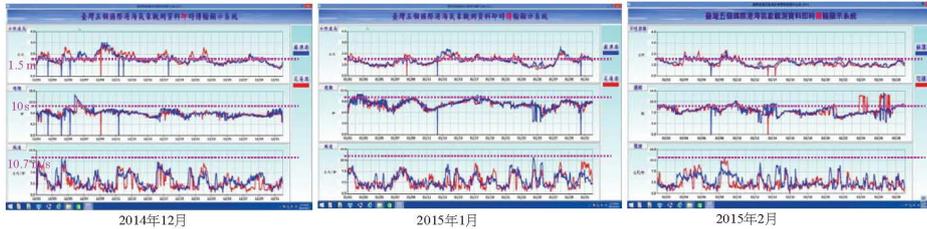


4

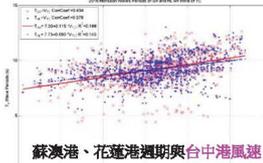
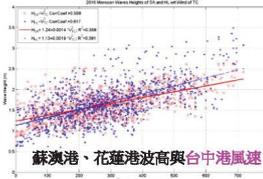
颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用

### 東北季風與區域風浪之關聯性\_蘇澳港、花蓮港

- 檢選2014年12月~2015年2月冬季之東北季風盛行期間，分月依序以藍、紅、綠整蘇澳港、花蓮港海域既有波浪與風速之逐時監測紀錄。
- 圖中，波浪之波高與週期，分別係為示性波高(H)與尖峰週期(T<sub>p</sub>)；而風速，係為10分鐘平均風速。



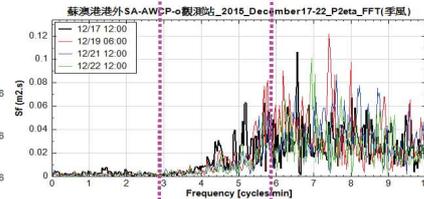
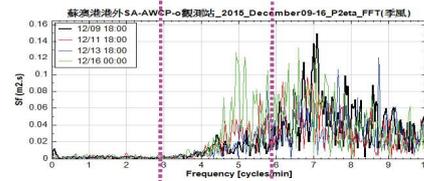
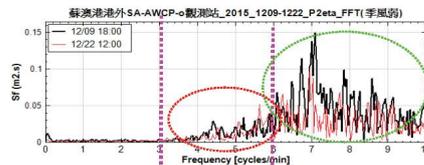
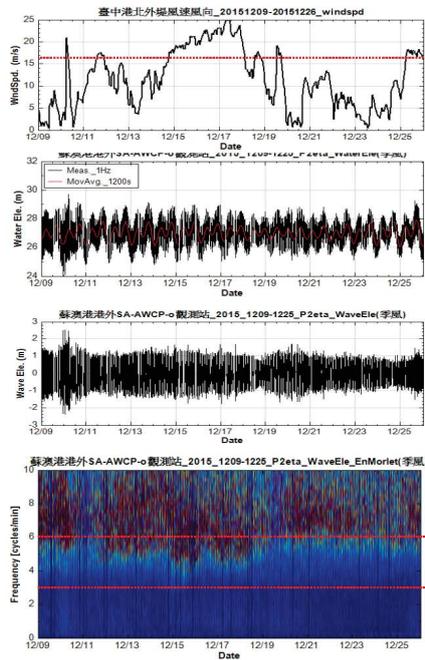
- 風速時變性：儘管蘇澳港、花蓮港地理區位不同，但季風風速之強弱起伏變動趨勢，近似一致；風速之大小，兩港亦甚相當，一般皆小於5級或在10.7 m/s以下。部分時期，如2015年2月20~28日，更明顯可見具有日週期特性之海陸風。
- 長浪波高與週期之時變特性：儘管兩港之地理區位不同，但波高大小與週期長短，除了受颱風湧浪影響而略具些微差異外，彼此仍極相近似；較大之示性波高，一般小於3.0公尺；而較長之尖峰週期，亦多在12秒以下。
- 在東北季風天氣系統之總體影響下，臺灣東部海域冬季風與其衍生長浪之特性，蘇澳港、花蓮港實際上彼此可互補替代。



5

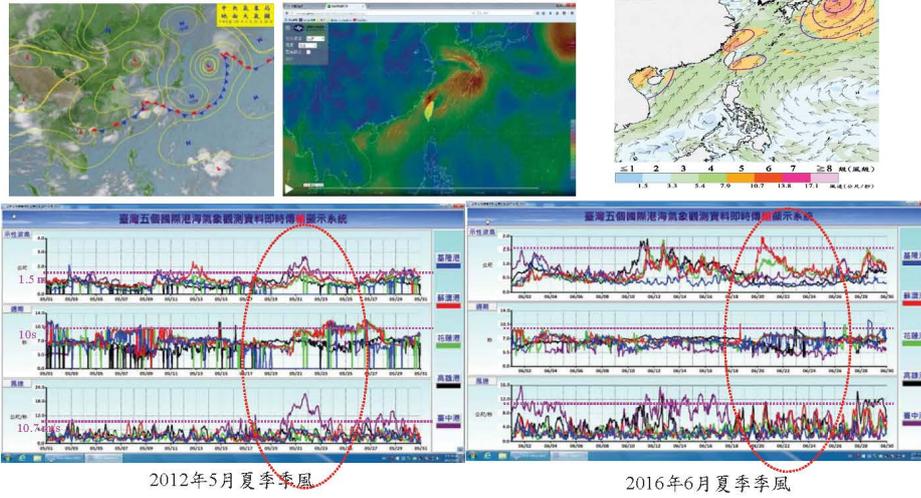
颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用

### 東北季風波浪之演化歷程\_蘇澳港



於2015年12月9日至26日東北季風期間在臺中港北外堤頭監測之風速(上)與蘇澳港近海監測風浪所得轉換壓力紀錄後之原始1Hz水位時序訊號(中上)及去除潮汐後之原始水位時序訊號(中下)與其對應之波浪演化時頻分析圖(下)

### 夏季西南季風波浪特性



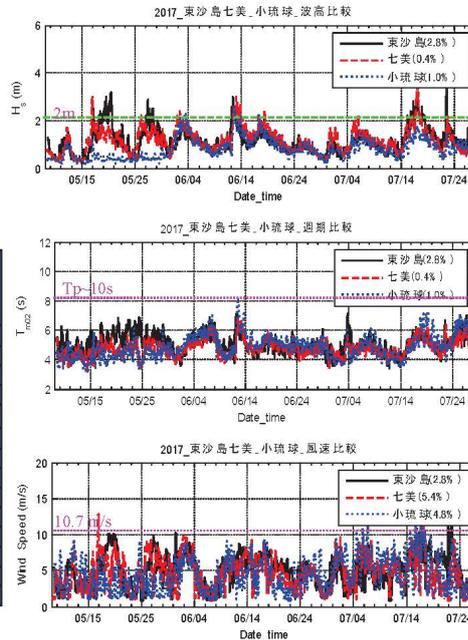
- 風速大小，因主要源生於海陸間之溫差，故明確具有海陸風特性，以致平均風速普遍偏弱，通常不及8.0 m/s，季風盛行期間，風速約可達5級或8.0~10.7 m/s，但較強勁風速，鮮少會超越10.8~13.8 m/s或6級。
- 示性波高普遍低於2公尺，較大者亦不過3公尺；
- 尖峰週期大多在10秒以下，且通常小於8秒；

### 西南季風與區域風浪之關聯性

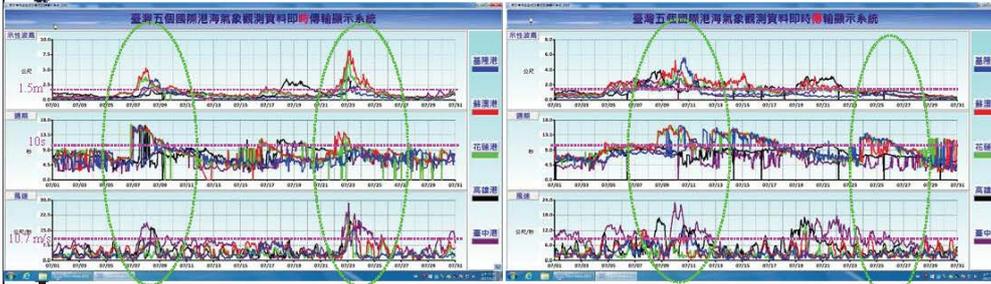
在臺灣海峽南段海域，無論天氣是否受鋒面影響，季風是否強盛，波浪與風速一般皆甚和緩！

- 示性波高普遍低於2公尺，較大者亦不過3公尺；
- 二階譜週期大多在8秒以下，且通常小於6秒；
- 風速，因主要源生於海陸間之溫差，故明確具有海陸風特性，以致平均風速普遍偏弱，通常不及8.0 m/s，季風盛行期間，風速約可達8.0~10.7 m/s (5級)，但較強勁之風速，鮮少會超越10.8~13.8 m/s或6級；

測站 (%)	示性波高 (m)		
	< 1.0	< 2.0	< 3.0
東沙島	48.32	91.59	99.84
七美	45.48	95.33	99.69
小琉球	74.35	98.69	100.00
測站 (%)	二階譜週期 (s)		
	< 6.0	< 8.0	< 10.0
東沙島	90.95	100.00	100.00
七美	97.77	100.00	100.00
小琉球	90.33	99.95	100.00
測站 (%)	平均風速 (m/s)		
	< 7.9 (4級)	< 10.7 (5級)	< 13.8 (6級)
東沙島	89.41	99.41	100.00
七美	90.98	99.13	99.89
小琉球	90.35	99.19	99.95



## 夏秋季\_颱風波浪(長浪)特性



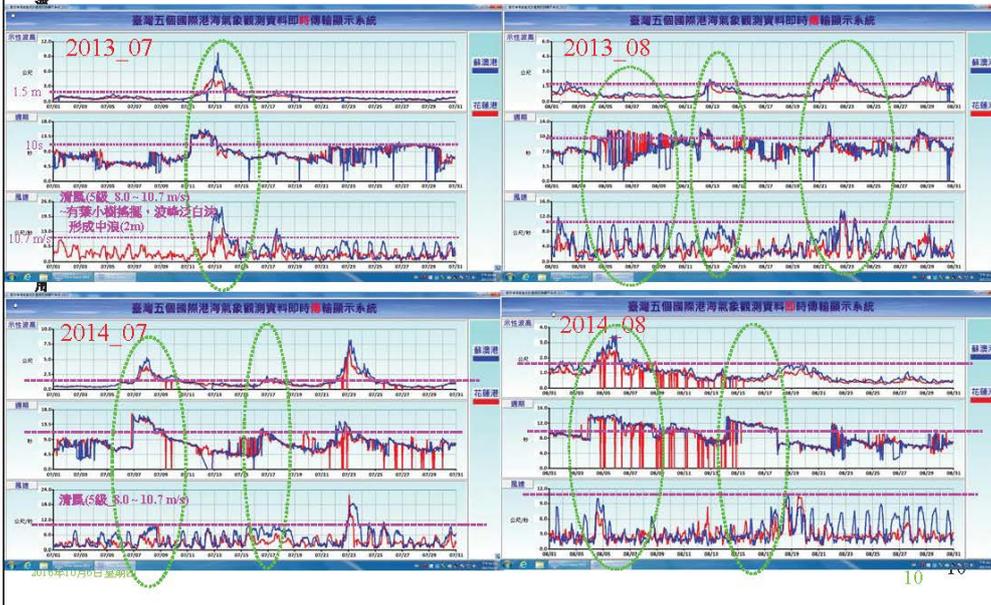
- 在颱風形成前，除了季風期之外，各港之風力，大多皆以具有日週期變動性之海陸風為主要，且隨天氣晴朗程度之變化，每日較小風速，約在2 m/s以下；較大風速，則約介在6-10 m/s間，並且約發生於每日正午(12時)之前後約2小時。這意謂，在颱風影響前，天氣大多是風和日麗，晴空萬里。
- 在颱風初生時期，由於長浪之影響尚未能及於臺灣近岸海域，故各港域之經常波浪，僅單純由海陸風支配，風浪較微弱，以致示性波高偏小，普遍不及1公尺，尖峰週期亦偏短，大多小於10秒，海況可謂風平浪靜。

颱風強度	颱風近中心附近最大風速			
	時公里(km/hr)	秒公尺(m/s)	時海里(kts)	相當蒲福風級
輕度颱風	62 ~ 117	17.2 ~ 32.6	34 ~ 63	8 ~ 11
中度颱風	118 ~ 183	32.7 ~ 50.9	64 ~ 99	12 ~ 15
強烈颱風	184以上	51.0以上	100以上	16以上

就近期對颱風長浪演化歷程之研究觀察，概略可判別：一般經常性風浪之尖峰週期，不及10秒；受熱帶低壓影響下，尖峰週期約可達10秒；而當颱風長浪之能量較一般經常性風浪優勢時，則輕度颱風所衍生之尖峰週期可達約12秒；中度颱風約14秒；強烈颱風則約可高達16秒以上！

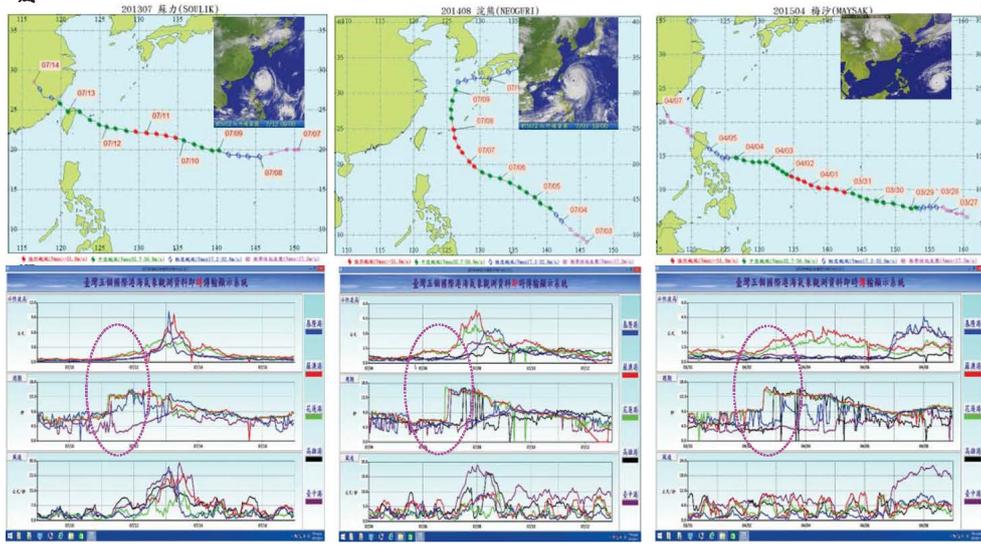
## 颱風長浪的區域關聯性

- 蘇澳港、花蓮港，示性波高(H)<sub>上</sub>、尖峰週期(T)<sub>中</sub>、10分鐘平均風速<sub>下</sub>。
- 示性波高之相關係數約均可達0.87以上；尖峰週期約0.62以上。



颱風

### 颱風長浪之獨特演化歷程



蘇力颱風(2013/07)

沈熊颱風(2014/07)

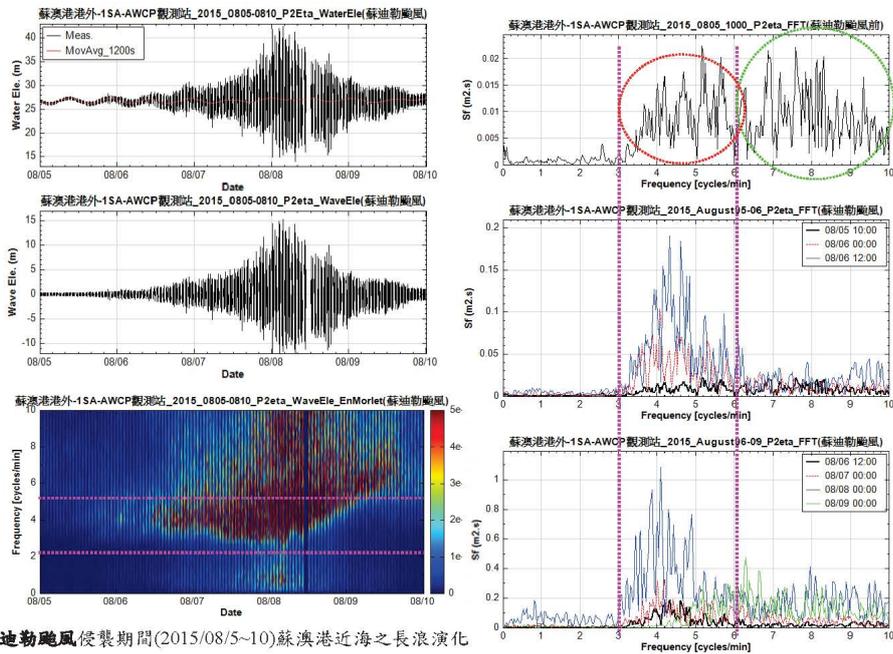
梅沙颱風(2015/03)

► 颱風長浪之群波傳播速度約為 809 km/day；

※ 就近期對颱風長浪演化歷程之研究觀察，概略可判別：一般**經常性風浪之尖峰週期，不及10秒**；受熱帶低壓影響下，尖峰週期約可達10秒；而當颱風長浪之能量較一般經常性風浪優勢時，則輕度颱風所衍生之尖峰週期可達約12秒；中度颱風約14秒；強烈颱風則約可高達16秒以上！

颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用

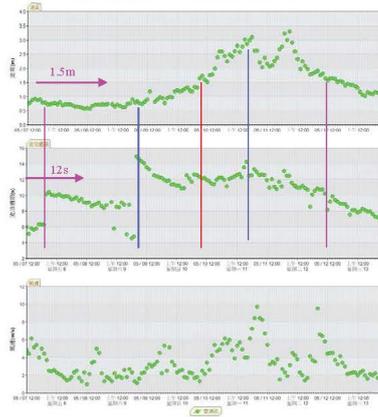
### 颱風長浪尖峰週期之演化歷程



蘇迪勒颱風侵襲期間(2015/08/5~10)蘇澳港近海之長浪演化

## 颱風長浪的辨識\_2015/05紅霞颱風

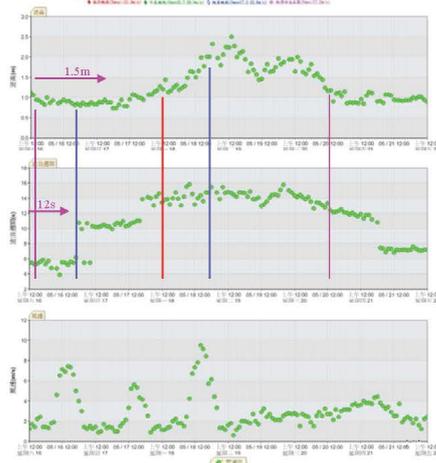
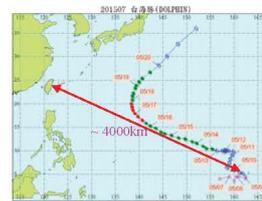
- **颱風形成**：颱風形成時皆屬輕度颱風等級，近中心附近10分鐘平均之最大風速，應達17.2~32.6 m/s。
- **颱風波浪傳播速度**：在原生海域係屬深水波，波浪之主頻週期( $T_p$ )通常會大於10秒 ( $T_p \sim 0.729 U_{19.5}$ ; Tucker, 1991)。若 $T_p \sim 12$ 秒，則群波傳播速度約為 **809 km/day**。
- **長浪演化歷程與辨識**：
  - ◆ **近岸風力之海陸風特性**(具日週期性)甚明顯，較強風力可達約10m/s，但風力對波高與週期之影響仍甚有限。
  - ◆ 自5/04颱風形成之位置及時間起，依颱風波動傳播速度估計，**長浪應約於5/07傳達蘇澳港近海**。由於長浪僅處於前導波群到達階段，以致近海波浪屬於**經常性風浪**，**波高小於1公尺**、**週期小於8秒**。
  - ◆ 5/07後至約5/09，隨著颱風接近，長浪開始群聚成長，惟波高仍維持小於1公尺，但主頻週期已增長至8~10秒。
  - ◆ 5/09 6:00，由於先來後到長浪之堆疊擁擠，主頻週期因而自10秒躍昇，示性波高，亦隨即逐漸增大，並於5/10 8:00，超越1.5公尺。
  - ◆ 自波高大於1.5m之後約10小時，即約於5/11 6:00，由於長浪之持續堆疊擁擠，終致使長浪成熟飽滿，外加颱風近岸所引起之風浪，因而，示性波高可達2.5公尺以上，且最大可達3.5公尺。
  - ◆ 於5/11 18:00之後，示性波高逐漸降低、主頻週期自大於10秒持續減小，長浪已明顯在減衰消退，終至5/13 12:00後，海面再次回復至波高小於1公尺、週期小於8秒之經常性風浪。



2015年9月15日星期二

## 颱風長浪的辨識\_2015/05白海豚颱風

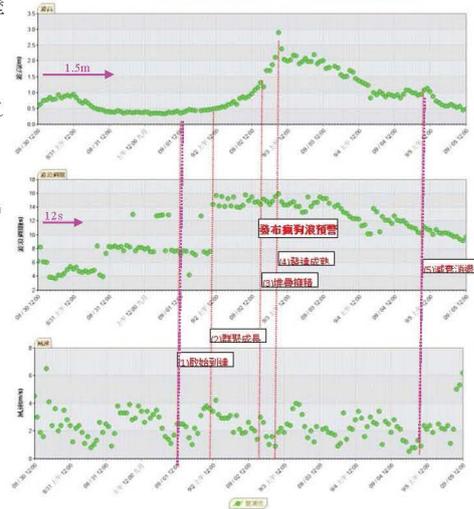
- **颱風波浪傳播速度**：在原生海域係屬深水波，波浪之主頻週期( $T_p$ )通常會大於10秒 ( $T_p \sim 0.729 U_{19.5}$ ; Tucker, 1991)。若 $T_p \sim 12$ 秒，則群波傳播速度約為 809 km/day。
- **長浪演化歷程與辨識**：
  - ◆ 近岸風力之**海陸風特性**(具日週期性)甚明顯，較強風力可達約10m/s，但風力對波高與週期之影響仍甚有限。
  - ◆ 自5/10颱風形成之位置及時間起，依颱風波動傳播速度估計，**長浪應約於5/15傳達蘇澳港近海**。由於長浪僅處於前導波群到達階段，以致近海波浪屬於**經常性風浪**，**波高小於1公尺**、**週期小於8秒**。
  - ◆ 5/15後至約5/17 12:00，隨著颱風接近，長浪開始群聚成長，惟波高仍維持小於1公尺，但主頻週期已增長至8~10秒。
  - ◆ 5/17 16:00，由於先來後到長浪之堆疊擁擠，主頻週期因而自10秒躍昇至14秒，示性波高，亦隨即逐漸增大，並於5/18 12:00，超越1.5公尺。
  - ◆ 自波高大於1.5m之後約10小時，即約於5/19 00:00，由於長浪之持續堆疊擁擠，終致使長浪成熟飽滿，因而，示性波高可達2.0公尺以上，5/19 01:00最大示性波高更達2.5公尺。
  - ◆ 於5/20 00:00之後，示性波高逐漸降低、主頻週期自大於10秒持續減小，長浪已明顯在減衰消退，終至5/21 03:00後，海面再次回復至波高小於1公尺、週期小於8秒之經常性風浪。



2015年9月15日星期二

## 颱風長浪演化之五個共通歷程

- ▶ 在西太平洋海域，當有西向行進之颱風形成時，對臺灣近海而言，不論其是否為發佈警報之颱風，皆會衍生長浪，且其均可透過蘇澳港近海監測波浪之主頻週期( $T_p$ )及示性波高( $H_s$ )之逐時演化歷程，清楚地**在時域上**直接作辨識。
- ▶ **經常性風浪**，波高小於1公尺、週期小於10秒。
- ▶ **颱風長浪**在近海之演化歷程，依據波高與週期之變化，可區分為五個重要共通歷程階段：
  1. **啟始到達**：自颱風形成之位置及時間起，可應用**每天約800公里**之深水群波傳播速度估算；
  2. **群聚成長**：波高仍維持小於1公尺，但主頻週期已增長至8-10秒。
  3. **堆疊擁擠**：主頻週期自10秒躍昇至12秒以上，示性波高逐漸增大，並起越1.5公尺。
  4. **發達成熟**：主頻週期維持在12秒以上，示性波高具有相對之最大值，一般會達2.0公尺以上。
  5. **減衰消退**：示性波高自相對之最大值逐漸降低、主頻週期自大於10秒持續減小，終至海面再次回復至波高小於1公尺、週期小於10秒之經常性風浪。



2015年9月15日星期二

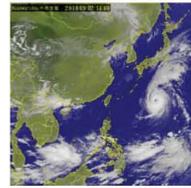
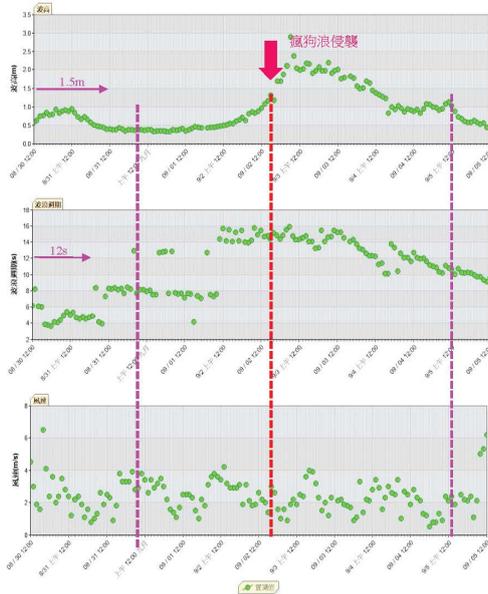
## 瘋狗浪與颱風長浪的關聯

- 瘋狗浪，好發於每年6至11月經常有颱風長浪影響之夏、秋季節。
  - ◆ 引發機制尚不明確；
  - ◆ 發生之時、空迄今仍難以預測或預報；
  - ◆ 每年均有侵襲事件，並造成民眾傷亡。
- ▶ **恆春嶺鼻頭礁岩海岸**，1987/10/23下午1時左右，屏東縣水利國小學童，9名學童被瘋狗浪吞噬。當時，即有生成於1987/10/22的**強烈颱風琳恩**(LYNN)，在菲律賓呂宋島東方距鵝鑾鼻數百公里之海面快速向西北西方向移動。曾發布**颱風警報**。
- ▶ **東北角鼻頭角海岸**，2013/11/9下午2時左右，樹林社區大學學員，受瘋狗浪侵襲，造成8死8傷的悲劇。據查，早於2013/11/04生成之**強烈颱風海燕**(HAIYAN)，正以63m/s之強大中心風速，快速接近菲律賓呂宋島南側海域，登陸後，西行進入南海。為**無警報颱風**。
- ▶ **宜蘭南澳海灘**，2018/9/2下午約3時許，在南澳神秘海灘及南方澳內埤海灘，有沙灘車教練帶著一對夫妻2車3人前往海蝕洞，突遭恐怖大浪將人車全部捲走；事隔約2小時左右，分別在，又有一對母子在海灘散步被突如其來的大浪侵襲而落海，另外尚有2人溺水。以上同一天接連發生之3起民眾落海事件，事後共造成6死1失蹤的悲劇。據查，當時即有**強烈颱風燕子**(JIBI)就在台灣東海面，以每小時20公里速度，向北北西往日本行進。為**無警報颱風**，但氣象局曾發布**長浪警報**。



### 瘋狗浪侵襲之關鍵癥候與潛勢(1/3)\_2018/08燕子颱風

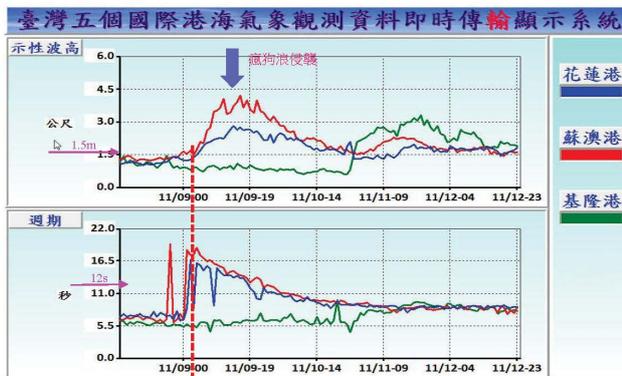
示性波高大於1.5公尺；尖峰週期大於12秒!



燕子颱風長浪，2018年8月30日至9月3日花蓮港量測波浪之示性波高、週期及風速之時序變化特性：

- 過境臺灣東側海域之無警報颱風
- 2018 9/2 15:00，於宜蘭南澳神秘海灘及內埤海灘引發瘋狗浪侵襲事件，6死1失蹤。

### 關鍵癥候與潛勢(2/3)\_海燕颱風期間



海燕颱風期間，花蓮港(藍)、蘇澳港(紅)及基隆港(綠)海象測站自2013年11月8日至12日所量測波浪之示性波高(上)與週期(下)之時序變化。

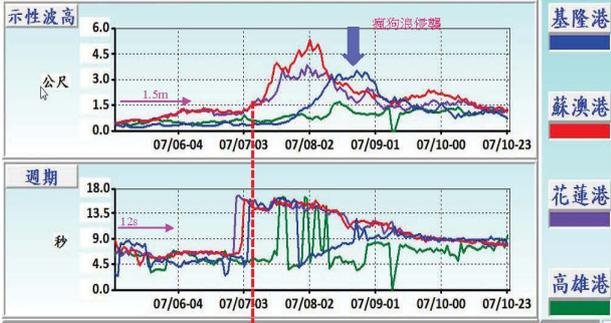
#### ■ 近岸湧浪之群聚堆疊效應與演化特性：

- 蘇澳港與花蓮港波浪週期之時變特性相似；湧浪之起衰時間近似。
- 過境臺灣南側海域之無警報颱風，但波高以蘇澳港較大。
- 2013 11/9 14:00，於鼻頭角近岸引發瘋狗浪侵襲事件。



### 關鍵癥候與潛勢(3/3)\_浣熊颱風期間

#### 臺灣五個國際港海氣象觀測資料即時傳輸顯示系統



► 浣熊颱風期間，基隆港(藍)、蘇澳港(紅)、花蓮港(紫)、高雄港(綠)海象測站自2014年7月5日至10日所量測波浪之示性波高(上)與週期(下)之時序變化。



#### 近岸湧浪之群聚堆疊效應與演化特性：

- ◆ 蘇澳港與花蓮港波浪週期之時變特性相似；湧浪之起衰時間近似。
- ◆ 過境臺灣東側海域之無警報颱風，波高以蘇澳港較大。
- ◆ 2014 07/08 17:00，在野柳地質公園觀景步道傳出瘋狗浪侵襲事件。

## 瘋狗浪預警與防災分級

#### ► 啟始警戒：

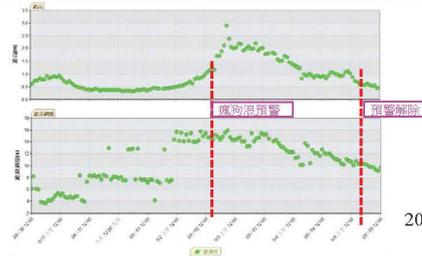
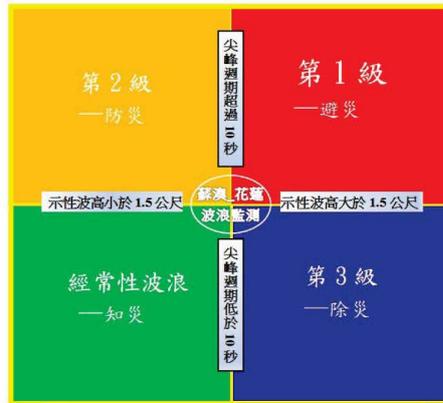
當有颱風形成，依其距臺灣之距離，以長浪傳播速度800km/day估算啟始到達時間，即可啟始警戒；

#### ► 預警之發布：

當颱風長浪處於堆疊擁積階段，尖峰週期自小於10秒突然躍昇，並持續維持在12秒以上，而且示性波高大於1.5公尺，即颱風長浪已明確具有引發異常大浪或瘋狗浪之調變不穩定特性時，應即發布瘋狗浪侵襲之預警。

#### ► 預警之解除：

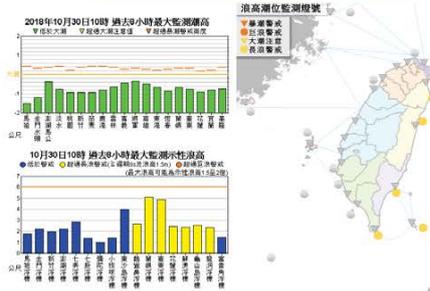
當颱風長浪自發達成熟進入衰退階段，尖峰週期從超過10秒以上，減降回歸至10秒以下，示性波高由大遞減至低於1.5公尺，亦即應已安全渡過瘋狗浪之侵襲潛勢期，故可解除預警。



## 預警措施與作為(1/2)

相關預警之配合作為與措施，建議如下：

1. 政府應充分開放及分享以蘇澳港或花蓮港為基礎之**颱風長浪即時監測資訊**，並儘速責成發布與解除「瘋狗浪警報」之權責機構。並責成相關海岸管理之機構及單位，**應針對颱風長浪之危害與防災分級**，妥適研擬防減災配合措施，並**落實預警作為**。
2. 現況，中央氣象局依據臺灣環島近海資料浮標之波浪監測分析結果，不定時會於局網針對臺灣各處海岸發佈颱風“長浪即時警示訊息”，藉以**警示近海長浪已具有極高之不穩定性與危險性**！因此，該訊息不應只在局網、媒體及廣播上作“靜態”陳現，建議政府應更積極主動地責成相關海岸管理機構及單位，在各休憩海灘及海岸之重要通道入口，甚或與休憩業者、風管處及海巡單位聯線，**建置“動態”的即時海象資訊**，特別是長浪警示資訊！尤其更應責成風管處及海巡單位，對於是在局網發佈長浪即時警示訊息之短暫期間內，應即**比照陸上颱風警報之發佈，具體落實並執行相關之禁制措施與作為!!!**



2018年10月玉兔颱風

## 預警措施與作為(2/2)

3. 在歷年曾發生瘋狗浪侵襲之海岸區域，除了既有之常設**靜態警示標誌**外，應配合「瘋狗浪警報」發布與解除期間，於通往海岸區域之服務區或關鍵通道入口處，**建設易於與警報發布與解除聯動之動態燈號、標誌與警示文字**；
4. 在重要之海岸公路或鐵路區段，建設可**動態起閉且與警報發布與解除資訊聯動之電子看板、布告與跑馬燈**；
5. 先在**高程不及5公尺之礁岩海岸**，建設標樁及劃設**虛擬警戒線**，並於「瘋狗浪警報」發布期間，**比照陸上颱風警報之發佈**，統整各式與公權力相關之人力與物力資源，藉以在警報發布至解除之約48小時期間內，**短暫禁止或勸離民眾進入警戒帶內從事各式休憩活動**。
6. 透過教育與媒體，**宣導颱風長浪在近岸之特殊演化歷程**，並藉實際案例或影片，闡釋瘋狗浪之突發性及其曾經對民眾生命財產所造成之危害。



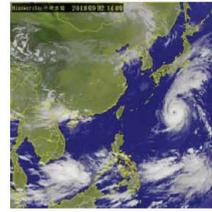
常設警示效能甚有限之靜態警示標誌



建設可動態起閉且與瘋狗浪警報發布與解除資訊聯動之電子看板、布告、跑馬燈、動態燈號、標誌與警示文字

## 結論與建議

- 針對臺灣近海，本文從國內五個國際港既有之風、浪觀測資料庫中，檢選並彙整冬、夏季之季風及部分曾發布及未曾發布海、陸颱風警報期間之長期連續波浪監測紀錄，再藉歷年風、浪之逐時觀測紀錄，配合颱風之移動路徑、位置、距東部海岸之距離及強度變動等資訊，陳示颱風長浪之實際演化歷程，並據以探索颱風長浪與季風波浪之共通演化特性，進而對神出鬼沒，但卻經常伴隨颱風長浪衍生之瘋狗浪，提供簡易之危險潛勢分級，建構預警判別準則，研提預警措施，藉期可有效防範瘋狗浪之侵襲，減小其危害，並達成颱風長浪相關災害防制之需要。



## 交通部運輸研究所/臺灣技術研究中心 106年度政府科技計畫期末報告審查



感謝 蒞臨審查；  
敬請 指教、賜正！

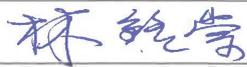
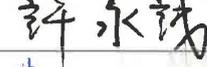
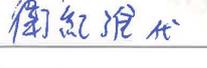
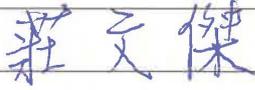
研究人員：  
莊文傑、曾相茂



## 附錄 2 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表

## 交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

- 一、會議名稱：MOTC-IOT-107-H3DA001c 颱風與季風波浪特性分析及其在瘋狗浪預警之應用
- 二、時間：民國 107 年 11 月 16 日(星期五)下午 13 時 30 分整
- 三、地點：本中心 2 樓簡報室
- 四、主席：蘇科長青和  記錄:傅怡釗
- 五、出席：

服務單位	姓名	簽名
臺灣大學榮譽教授	林銘崇 委員	
高雄海洋科技大學雄	張國棟 委員	
中山大學	李忠潘 委員	
浩海工程顧問有限公司	許永誠 委員	
港研中心	李政達 委員	
港研中心-計畫主持人	莊文傑 研究員	

- 六、主席致詞：略。
- 七、計畫主持人簡報：參見附錄一。
- 八、審查委員意見：參見後附委員意見處理表。
- 九、會議結論：
1. 經出席委員同意，本計畫期末報告內容審查通過。
  2. 報告書內容請依審查委員意見修正，並依規定期程提出報告書印製申請。
- 十、散會(下午 3 時)

審查委員評審意見與建議	處理情形
<p>一、林銘崇 委員 (評分：87)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 颱風長浪與颱風波浪之力學原理機制，可否明確釐清？</li> <li>2. 資料分析結果產生瘋狗浪時，相對於示性波高 1.5 公尺，最大波高值多少？</li> <li>3. 瘋狗浪預警之綜合提議，建議繼續多作實例驗證。</li> </ol>	<p>感謝林委員的出席審查。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝提示及指教。相關力學原理及其差異特性，已於第 1 章及第 3 章內文加強論述及闡明。</li> <li>2. 瘋狗浪的發生時間與地點，迄今仍難預測。惟依據歷年發生瘋狗浪侵襲事件之報導或紀錄，可確定其示性波高大多在 1.5 公尺以上；且尖峰週期在 10 秒以上。而上列波浪逐時監測紀錄之波譜分析資訊，係為公開性、易取得之海況資訊，但對應之最大波高值，因其必須申請、取得原始 1Hz 紀錄並透過個別波分析方可獲知，故目前並無明確資訊。</li> <li>3. 感謝肯定與嘉勉。目前在颱風期間，皆在試行辦理瘋狗浪預警並持續在作實例驗證中。</li> </ol>
<p>二、李忠潘 委員 (評分：86)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究由實測風、浪資料發現，在冬季 NE 季風期間，台中、基隆、花蓮、蘇澳等港的波高，均與台中港的風速相關，而與區域的風速較不相關，此現象反而相當有趣，值得對其原因進一步研究。</li> <li>2. 瘋狗浪預警分級，似可應用於已發生的海難事件，並統計其相關性，以驗證其應用性。</li> <li>3. 深水波(<math>kh &gt; \pi</math>, or <math>h/L &gt; 1/2</math>)之 <math>K_p(z=-h) = \cosh k(z+h) / \cosh kh _{z=-h} = 1 / \cosh kh = 2 / (e^{kh} + e^{-kh}) \approx 2e^{-kh}</math> (<math>\sim</math> 小於 0.07)，把它設定為 1 時，將把 <math>\eta</math> 大幅放大，可能誤判短波的比重。(P.2~16)</li> </ol>	<p>感謝李委員的出席審查。所賜教指正之意見處理如后：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝提示及指教。會持續推展相關研究。</li> <li>2. 感謝提示及指教。目前在颱風期間，對於預警準則之應用性，皆持續在試行辦理並作實例驗證中。</li> <li>3. 對於設置於底床上之 AWAC，其底床壓力與表面波動水位之轉換關係 <math>K_p</math>，本研究已於第 2.3 節內文中作深入探討。特別是在非深水波條件下，本研究提出 <math>f_c = \sqrt{1/h}</math> 作為 <math>K_p</math> 適用之界定頻率，而 <math>K_p=1</math> 僅適用於深水波條件或波動頻率高於 <math>f_c</math> 之情況，因為在此條件下，理論上，由表面波動水位所引致之底床壓力應甚微弱，甚且趨近於零，故令 <math>K_p=1</math>，實際並不會影響轉換</li> </ol>

	結果，詳細之驗證，參見第 2.3 節之內文討論。
<p>三、張國棟 委員 (評分：89)</p> <p>1. 研究成果內容豐富充實，成果有實務應用的價值。</p> <p>2. 第 3~9 頁有提及台灣東部蘇澳港颱風波浪波高，通常比花蓮港大。其原因可能與颱風路徑有關，也與兩地海岸水深地形以及港型有關，值得進一步探究其原因。</p> <p>3. 有分別分析西岸(基隆與台中)及東岸(蘇澳與花蓮)在東北季風及颱風影響期間，在波高以及週期的相關性，波高大多在 0.8 以上，但週期相關性較低，尤其基隆與台中差異最明顯(有些月份負相關)，令人好奇其原因。</p> <p>4. 有提出良好的瘋狗浪預警措施與作為，也建議未來能進行實測，作為改進依據。</p>	<p>感謝張委員的出席審查。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 感謝肯定與嘉勉。</p> <p>2. 感謝提示及指教。所提建議，會衡量研究期程、人力之可行性，於後續年度之研究計畫中，參酌辦理。</p> <p>3. 感謝提示及指教。在東北季風影響期間，基隆與台中週期之相關性較低，應係波浪特性之代表週期，係採用尖峰週期作相關比較所致，若採用一階或二階譜週期等具平均特性之週期，其相關性應會有所提昇或改善，詳細之差異原因，會參酌於後續年度之研究計畫中，再辦理深入之探討。</p> <p>4. 感謝肯定與嘉勉。未來在颱風期間，對於瘋狗浪預警準則之合適性與應用性，會持續辦理驗證及改進。</p>
<p>四、許永誠 委員 (評分：89)</p> <p>1. 本計畫研究成果中針對瘋狗浪形成之判斷指標為示性浪高大於 1.5m，尖峰週期大於 10sec，是否可適用中央氣象局即時海況之測站，以利一般民眾參考應用。</p>	<p>感謝許委員的出席審查。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 感謝提示及指教。本研究依據以往對颱風長浪演化特性之研究觀察，再對照歷年之瘋狗浪侵襲案例，總合研提：若蘇澳港或花蓮港之示性浪高大於 1.5m；且尖峰週期大於 10sec 時，颱風長浪將因超越堆疊擁積之演化階段，而陳現極高的非線性與群波調變不穩定性，因而具有甚高之危險性及引發瘋狗浪侵襲之潛勢。惟因中央氣象局現況之即時海況資訊，波浪示性週期係以二階譜週期或稱平均週期為代表，故其係以示性浪高大於 1.5m；且平均週期大於 8sec 時，發布長浪即時警示訊息，供一般民眾參考應用。</p>

<p>2. 一般性海岸及港灣工程規劃設計，在分析冬、夏季季風波浪時，冬季示性波高採用 1.5m (T=10sec)，夏季示性波高採用 1.0m (T=8sec)，颱風波浪則因地而異，常常忽略異常波浪，故會造成局部災害之發生。</p> <p>3. 報告 P.5-7 頁，瘋狗浪之侵襲潛勢通常在 10 小時後進入強盛期，對海岸地區觀光活動之預警尚有不足，建議要再深入研究。</p> <p>4. 海洋港灣工程規劃設計針對異常性波浪之發生，常常無法確實掌握，未來應配合本計畫再深入研究，提供實務工程師參考應用。</p>	<p>有所差別的是，若應用尖峰週期，則可清楚且明確地展現颱風長浪之調變特性，但若應用二階譜週期或稱平均週期，則不易掌握颱風長浪之演化特性。</p> <p>2. 感謝提示及指教。異常波浪是指波動經常會發生之極端性，其不必然與颱風長浪或瘋狗浪相關。因而本研究研提當蘇澳港或花蓮港之示性浪高大於 1.5m；且尖峰週期大於 10sec 時，應發布瘋狗浪預警，該準則純為滿足預警需要，現實情況尚難以直接與異常波浪產生關聯。</p> <p>3. 感謝提示及指教。依循本研究研提之瘋狗浪侵襲危險分級，在海況達到預警基準且發布預警後，瘋狗浪之侵襲潛勢，通常將會於約 10 小時後，進入強盛期。這意謂政府及民眾，至少約有 10 小時之充裕知災時間，俾從容執行消災、減災、避災等預警作為，或施行自主防減災措施。儘管 10 小時之時間並不算長，但相對於發生瘋狗浪侵襲時、空尚無法準確預測之現況，其應可供海岸休憩活動相關之業管單位及民眾，作為防災及消災之參考。</p> <p>4. 感謝提示與指教。未來在颱風期間，對於瘋狗浪預警準則之合適性與應用性，會持續辦理驗證、改進及推廣。惟本研究研訂之瘋狗浪預警準則，純為滿足預警需要，現實情況尚難以直接與異常波浪發生之預測產生關聯。</p>
<p>五、李政達 委員 (評分：86)</p> <p>1. 有關 P.4-30 配合表 4-4 敘述漏植表 4-4 無法參照，內容建議修正。</p>	<p>感謝李委員的出席審查。所賜教指正之意見處理如后：</p> <p>1. 感謝提示及指教。表 4-4 已補列，相關內文論述亦已修訂。</p>

<p>2. 綜合觀察圖東沙島由圖 4-18 至圖 4-19，亦與 P.4-30 敘述不符，建議修正。</p> <p>3. 瘋狗浪預警及防災分級，將有助於國內災防的應用，惟本研究考慮 102 年 11 月 9 日海燕颱風事件做為瘋狗浪癥候，並以 EMD 模態分解解算情形，明顯且良好，建議能再考慮其他事件是否同樣能分析出相同特徵，以資佐證。</p>	<p>2. 感謝提示及指教。圖 4-18 至圖 4-29 主要在陳示東沙島與七美二資料浮標，其波高與風速之逐時變動相關性，P.4-30 相關論述已作檢視及校訂。</p> <p>3. 感謝肯定及指教。本研究重點在依據颱風長浪演化歷程之關鍵特徵，從尖峰週期在 10 秒之突昇性，與示性浪高大於 1.5m 所陳現極高的非線性與群波調變不穩定性，判定颱風長浪在近岸海域可能引致之危險性及引發瘋狗浪之侵襲潛勢，進而具體研提瘋狗浪預警準則。第 5.2 節內文以海燕颱風引發瘋狗浪侵襲事件之波浪紀錄為例，採用 EMD 分析，實際即在應用 IMFs，論證尖峰週期在 10 秒之突昇性，與示性浪高在大於 1.5m 所陳現極高的非線性與群波調變不穩定性之關鍵特徵。至於廣泛案例之搜集、分析，因其事涉大量原始 1Hz 波浪紀錄之繁複檢索程序，又限於對應瘋狗浪侵襲事件發生時、空紀錄之取得不易，故廣泛案例之佐證分析，尚難以推展，相關建議，會列入待後續研究參酌辦理。</p>
---	--