

# 發展海象災防應用技術與資訊服務

范揚洺<sup>1</sup>

薛炳彰<sup>1</sup>

高家俊<sup>1</sup>

陳進益<sup>2</sup>

滕春慈<sup>2</sup>

國立成功大學近海水文中心<sup>1</sup> 中央氣象局海象測報中心<sup>2</sup>

## 摘要

為了提升海象觀測與預測的應用價值，本研究逐年發展「海象災防應用技術」，並配合「臺灣海象災防環境資訊平台」展示各式海象資訊，包括海洋溢油漂流預報、海難漂流預報、海岸潮線預報、颱風波浪、颱風暴潮、航海風浪流況、航行安全指標、海運航線波候、帆船潮流、海岸長浪海溫、漁業海溫、海嘯即時分析、氣象海嘯即時分析、海平面變化趨勢以及海洋熱含量等，提供即時、正確、多方的海象觀測、預測資料以及加值資訊，增加政府執行各項災害性海象事件的預警與防災能力，有效降低各種災害之損失，增加中央氣象局在災防環境的服務效能。

本研究目前已開發四項作業技術包括航行安全指標、海運航線波候、海岸長浪海溫、海嘯即時分析，航行安全警示模組可即時提供未來浪況對各類船隻的影響程度，以增進航行作業安全；海運航線波候模組提供歷史波浪統計值，做為規劃航線參考依據；海岸長浪海溫模組提供長浪預報訊息，以提高海濱遊憩安全；海嘯即時分析模組是即時提供海嘯等異常海水位監測功能及提供國家防災單位迅速完整的海水位監測資訊。此外，本研究增進去年(106年)已開發技術，包括增進海洋溢油漂流預報模組的持續漏油技術與展示設計、颱風海象(波浪)模組的自動擴充颱風波浪資料庫程序等。又由於前述技術須連結即時與歷史海氣象監測與預報資料，方能確保資訊的合理性，因此本研究同時建置「西北太平洋海象資料庫」，逐年彙整臺灣海域海象監測網與國際間西北太平洋海域之海流、波浪、潮位、海水位高度及海溫等海洋環境現場觀測、遙測及預報資料，今年已參考18個國際資料來源，調查30種物理量，其中已建立成功浮球與東吉島波浪站的波浪與海流資料品管準則與品管程序技術發展。

關鍵字：海象災防應用技術、西北太平洋海象資料庫、臺灣海象災防環境資訊平台、海象災害

## 一、前言

臺灣位於颱風容易侵襲的亞熱帶區域之太平洋西岸，惡劣的海象災害如颱風波浪、暴潮溢淹、甚至是海嘯衝擊等，容易造成外洋的船隻觸礁、碰撞甚至傾覆，造成油污溢油，對於住在海岸的居民生命財產也造成威脅，因此海氣象資訊對於海上航行安全、海岸結構設計等影響極大。為了有效的災害應變以及維護民眾的生命安全，行政院103年6月5日核定「強化臺灣海象暨氣象災防環境監測計畫」。中央氣象局為執行「建構臺灣海象及氣象災防環境服務系統」計畫，積極發展海象災防應用技術來建置「海象災防環境資訊系統」(以下簡稱「海象資訊系統」)，以提升海象觀測與預測的應用價值，因此規劃成立臺灣海象災防環境資訊平台(以下簡稱「海象資訊平台」)，提供即時、正確、多方的海象觀測與預測資料，增加政府執行各項災害性海象事件的預警與防災能力，有效降低各種災害之損失。

本研究目標為建立「臺灣海象災防環境資訊平台」(以下簡稱「海象資訊平台」)，提供資訊服務。平台包括「西北太平洋海象資料庫」，蒐集國內、外可公開的海氣象資料，整合即時與歷史海氣象監測資料與預報資料，並經由品管系統確保資料正確性。為了提供更加多樣的資訊服務與決策的災害應變資訊，也包括「海象災防應用技術系統」的發展。海象資訊平台正式運作後，本技術服務提供災防應變機關使用，例如：海巡署、環保署、漁業署、觀光局、水利署、航港局等相關單位。

本文除第一章為前言說明本研究的源由及目標外，第二章將描述「海象資訊平台」災防應用的設計，第三章將闡述「西北太平洋海象資料庫」資料來源調查與品管程序發展，而第四章將描述「海象災防應用技術系統」的建置。第五章將敘述現階段執行成果。

## 二、「海象資訊平台」的介面設計

為了強化平台介面設計，本研究彙整國內外海象防災應用或展示平台，藉此加強各模組細部設計，以達到預期效益。

### (一)軟硬體架構

本研究於開發時期，除了規劃設計各種介面之外，在需要查驗資料正確性與部分資料轉化需求之下，建立本平台之開發版網站，其系統與軟體架構符合中央氣象局之規範，用以未來完成各項防災模組及測試後，順利將主要之模組程式轉移至中央氣象局。開發版平台之軟硬體架構如圖1所示。

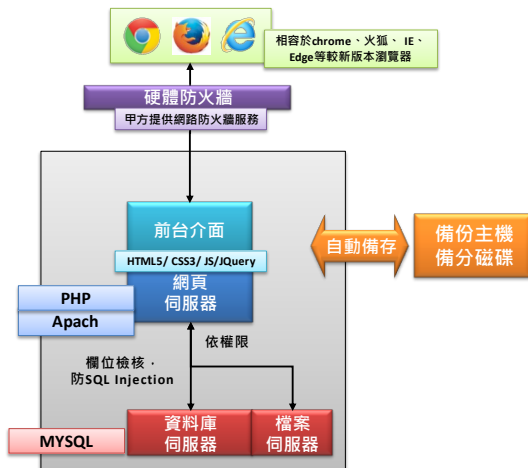


圖1 本平台之軟硬體架構圖

本資料庫為本案暫存及開發期資料庫(用於將中央氣象局資料以及國內外蒐集之資料做儲存或資料轉化)與網頁專用資料庫(屬於本案開發時期之臨時網站，以及各種模組程式之運行環境，亦包含python程式運行環境)。部分西北太平洋海象資料須事先處理之部分，亦由本資料庫進行處理與儲存，再透過API執回中央氣象局資料庫。

本網頁提供各模組開發時期之偵錯與測試使用，採用HTML5、Javascript、JQuery、CSS3技術做設計與建構，並符合響應式網頁設計(RWD)，能於行動裝置上做舒適瀏覽。平台將定時採用異碟備存方式進行資料之備份，並將須事先處理之西北太平洋海象資料透過API或FTP回傳至中央氣象局主機。

### (二)「海象資訊平台」防災應用需求的細部設計

介面設計如圖2至圖6所示，圖2是航行安全警示模組的介面設計，在地圖中以三種顏色表示波浪的安全程度，由使用者輸入船型，系統會事先依據不同的船型能夠承受的耐浪級數計算警示指標，透明色表示該船隻得以航行舒適，黃色表示警告，紅色則代表航行可能會過度搖晃而且有危險。圖8是海運航線波候模組的介面設計，用以提供歷史波浪統計值，以做為規劃任務航線參考依據。使用者先選擇欲查詢的波浪參數，再選擇手繪航線或選擇現有藍

色公路航線，以手繪航線為例，使用者先選擇示性波高，再以滑鼠繪製航線A點至B點後，系統預設顯示航線上示性波高的十年鬚盒圖，如圖3右側下方所示。使用者也可透過時間軸選取月鬚盒圖。鬚盒圖的資料來源是根據WW3波浪模式過去十年的波浪模擬資料，統計「月」與「年」的波浪統計值。圖4是海岸長浪海溫模組的介面設計，用以提供臺灣沿海海岸的國家風景區安全警示，使沿岸遊憩民眾可獲取即時海象資訊，並透過警示分級直觀地顯示海象狀況。在地圖中以三種顏色表示臺灣沿岸12個國家風景區包括北海岸、東北角海岸、澎湖、宜蘭海岸、馬祖海岸、東部海岸、雲嘉南濱海、大鵬灣、台江、墾丁、海洋國家公園(東吉島)以及花蓮海岸等海岸安全，透明色表示區域附近海象狀況適合遊憩，黃色表示要注意安全，橘色則表示海岸浪況不佳有危險。使用者若選擇圖中左側的特定風景區，例如東北角海岸，系統會自動放大地圖，且範圍設定在東北角暨宜蘭海岸國家風景區管理處轄區內的海岸線共102.5公里，如圖5所示。此外，使用者可設定增加表層海溫預報與風場預報圖層，對從事海泳、風帆等海上活動是重要的資訊，其中表層海溫預報資料來自OCM3海溫預報，風場預報資料來自WRF風場預報。圖6是海嘯即時分析模組的介面設計，以地圖的方式呈現各潮位站的位置，使用者可透過介面設定時間、測站以檢視所需的異常水位變化資料，介面中也將各潮位站以三種警示顏色分級，呈現水位的危害程度。介面的右側為選取測站的潮位時序列變化，紅色為15秒一筆的觀測水位，綠色為六分鐘一筆的觀測水位，藍色為天文潮位預報，紫色為觀測水位扣除天文潮後的水位，也就是經過濾波處理後的資料，若是有類似海嘯波的波浪訊號，將以不同顏色的警示燈號呈現在潮位測站文字上，警示顏色與界定值參考自中央氣象局網頁(警特報顏色燈號種類與定義：

[https://www.cwb.gov.tw/V7/prevent/alert\\_color.pdf](https://www.cwb.gov.tw/V7/prevent/alert_color.pdf))，黃色表示濾波處理後的水位高度低於一公尺，橘色為一至三公尺，紅色為三公尺至六公尺水位。

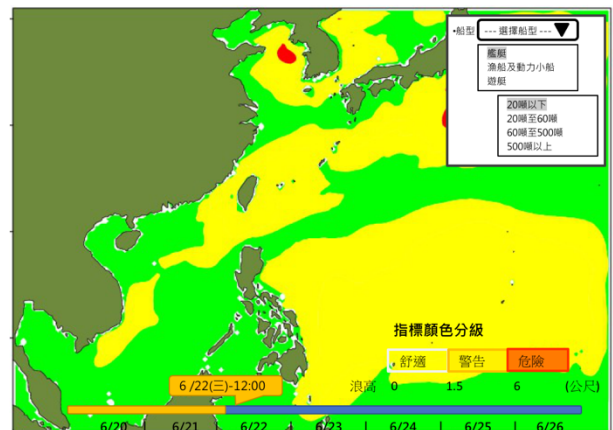


圖2 航行安全警示模組介面設計示意圖

### 三、「西北太平洋海象資料庫」資料來源調查與品管程序發展

為了提供巨量數據做為災防產品即時連結使用，本研究逐年蒐集中央氣象局現有、國內公開可下載、國外公開可下載的海象資料。海氣象資料如海流、海表面流場、海表高度、海表溫度、水下、溫度、風速、波浪、長浪、潮汐、潮位、潮流、海表、氣象、可見光等，不同資料來源有不同的格式，包含衛星遙測、觀測以及預報等，於自動化下載之前，須確認不同格式的資料是否方便進行整合。此外，資料來源若非來自中央氣象局，即便是公開可下載資料，為避免二手傳播之學術倫理問題，在資料公開展示或下載前，本研究團隊將與資料源單位聯繫取得同意，或是以圖或動畫等加值的方式呈現資料庫內容。

本年度規劃調查海象資料內容與格式，共參考18個國際資料來源，調查30種物理量，包含：漂流浮標(GTS Drifter)、ARGO浮標、GTS船舶報告、波浪站(底碇式、浮球式)、港灣測站、潮位站、潮位海嘯站、地震、颱風最佳路徑、颱風預報路徑、岸基雷達波流儀、ADT與SLA衛星遙測、JASON-2、JASON-3衛星遙測、衛星遙測、AVHRR衛星SST遙測、GHRSSST集合衛星、HYCOM模式預報、日出日沒，調查內容包含資料來源單位、資料要素科學意義、空間解析度、時間解析度、起訖時段、資料即時性、更新延遲時間與資料格式，並進行彙整與格式設計，評估資料取得的效率與便利性。

又「西北太平洋海象資料庫」於資料發布與展示前，須建置海象環境資料品管準則與作業技術發展、開發救災環境資料即時品管技術，透過歷史防災資料的檢校，建立海象觀測資料的品管規範。此外，本資料品管技術是針對海象的觀測資料，而非預報資料進行驗證。

本研究除了使用中央氣象局固有資料，仍有其他國內外可公開下載之海象資料，針對不同資料來源進行品管技術發展，提供政府與決策機關參考，確保海象資料的品質與正確性，若是其來源已有可信任的品管規範也將調查參考評估本案「西北太平洋海象資料庫」的適用性，例如美國國家海洋暨大氣總署的整合海洋觀測系統有提供多種觀測資料的品管操作手冊。106年度已經針對TOROS環台岸基海洋雷達發展海表面流場品管技術，以及發展GTS漂流浮標波浪的品管技術。本年度對中央氣象局東吉島底碇波浪站發展波浪與海流品管技術，以及發展成功浮球式波浪站的波浪品管技術。

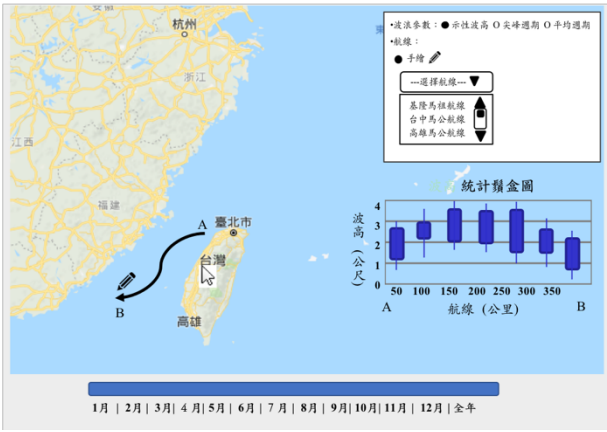


圖3 海運航線波候模組介面設計示意圖



圖4 海岸長浪海溫模組介面設計示意圖



圖5 海岸長浪海溫模組介面設計示意圖(續)

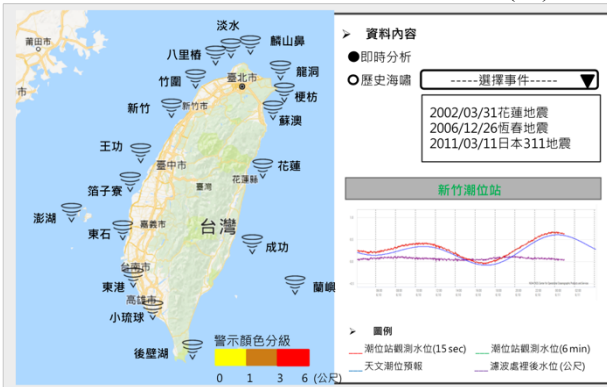


圖6 海嘯即時分析模組介面設計示意圖

本研究使用一年歷史資料進行品管技術發展，品管程序發展完成後，再以另一年的歷史資料進行品管正確度測試，使用資料的時間如表1所示。

表1 各測站使用資料的時間

項目	品管技術發展 使用資料時間	品管正確度測試 使用資料時間
東吉島底碇波	2016/1/1~2016/12/31	2017/1/1~2017/12/31
成功浮球式波	2016/3/1~2017/3/1	2017/3/1~2018/3/1
東吉島底碇波	2016/1/1~2016/12/31	2017/1/1~2018/12/31

資料品管分別採用合理性與連續性之品管原則，合理性的檢驗考量三類因素，一是「儀器限制」，指海氣象觀測數據不應超過量測儀器的測量範圍；二是「物理限制」，指觀測量不應超過量測地點的海氣象臨界條件，例如觀測到的波高不應超過當地水深的碎波極限，否則即視為不合理；第三類則參考歷年觀測極值，以訂定更合乎實際狀況之物理標準。基本上，合理性品管可說是最基本的資料品質檢驗。本研究採用歷史極值與物理限制作為品管標準。超過歷史極值給予標記A，而「物理限制」則依據各項物理觀測項目訂定，參考聯合國教科文組織(1993)對海洋環境資料訂定的品管標準，本研究採用波浪尖銳度(Wave steepness)進行合理性品管，意即  $H_s/T_z^2 > 0.22$  則此筆觀測資料參照上一年度訂定原則給予標記B。品管標準設定值如表2所示。

表2 品管標準對應表

項目	品管參數	品管標準
東吉島底碇波浪站	波高	波高極值品管標準為0.2公尺~ 10公尺。 波高三小時之連續性品管分別定義39公分、54公分、64公分。
	海流流速	海流流速之極值品管標準定義為2.5 m/s。 海流流速三小時之連續性品管標準為0.7公尺/秒、1.12公尺/秒、1.34 公尺/秒。
成功浮球式波浪站	波高	波高極值品管標準為0.2公尺~ 10公尺。 波高三小時之連續性品管分別定義30公分、39公分、46公分。

## 四、「海象災防應用技術」的建置

### (一) 航海風浪流況模組作業技術發展

本研究蒐集海上不同船隻之耐浪級數，包括國內漁船、遊艇及動力小船、大型船舶等，同時擬配合海象測報中心藍色公路預報作業化產製不同船隻之波浪警示分布圖，採用三種顏色(橘、黃、透明)

分級的波浪動態圖顯示西北太平洋海域的航運安全程度，提供航運人員航線之規畫參考，希望可以降低海上意外事故的發生。

船的設計強度與海洋環境設計參數有關，波浪週期影響波浪承載船隻的位置，當船長大於波長時，相對於浪的起伏反應較小，而橫向波的週期會避免與船隻橫搖(roll)的週期相同而產生共振現象，導致運動幅度增加，波浪碎波容易導致船體受損，而船隻航行方向與波向的角度亦會造成航行的危險，但這與操船有關。故海況對於船隻所造成的危險基本上是波浪尖銳度和波高的函數，因此對於每一種船隻而言都是不同的，通常小船在一定波高下，危險隨著週期變小時而增加。各類船型的耐浪級數詳述如下：

國內漁船製造若僅在國內海域作業均不需經過認證，且大都使用過去設計或經驗累積製造，因此對於船隻耐波性的數據較為缺乏，部分船公司宣稱可在8級以上風浪中作業，此時船依然有足夠的穩定性，且船隻結構強度可抗10級風浪。就目前漁船海上作業情形，一般的漁民出海與否都會先看風力，陣風在6級以上(蒲福風級)，塑膠漁筏就不會出海，9級以上漁船(CT3)就不會出海

([https://fishbar.com.tw/portfolio/news\\_setnet\\_fishery2/](https://fishbar.com.tw/portfolio/news_setnet_fishery2/))。而在大浪(7至8陣風9級)時，安檢所也不讓漁船出港。

遊艇的耐浪級數在認證時都必須提供，然而蒐集不易，且符合不同國家認證之標準亦不相同，適用之海域亦不相同，舉例來說，適合波羅的海之船隻其計算生存(survival)海象條件為有義波高2.5m，若只依據遊艇等級來劃分，船籍特性資料不容易取得，且不同國家或不同認證規範均有不同。根據University of Southampton's Department of Ship Science及Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME)的研究，船隻在面臨危險之海洋環境大約在波高到達船長的三分之一且不碎波時，此時波浪已經有足夠能量去阻擋船隻導正的動量而導致危險，故40英尺為12英尺(3.6 m)，80英尺為24英尺(7.2 m)，120英尺為36英尺(10.8 m)，此處所指的波高應為單一波高，應轉為有義波高(或稱示性波高)，利用合田(1990)的提議， $H_{max}=(1.6\sim 2.0)H_{1/3}$ 推算有義波高，取保守值1.6得到40英尺為2.3 m，80英尺為4.8 m，120英尺為6.8 m。此研究超越認證及設計資料取得的困難，本研究建議可採用之，而藍色公路使用之交通船應可比照遊艇的規則使用。

此外，本研究提出應該以人員舒適度為臨界值，儘管人員舒適度因人而異導致無法清楚定義，例如cruiser forum提到週期(單位秒)等於或小於波高(單位英尺)時，人員將會非常的不舒服，而波浪週期是波浪高度的1.33倍時，人員將會非常的舒服。而漁船是一個工作船隻，就像海巡署艦艇是以搜救、執



法為任務一樣，前提均為考慮工作的達成及人員安全為目標，其船員的素質與一般人員不同，故不以舒適度為前提，因此對於漁船而言將只有二個燈號。彙整前述的結論整理如下方表3所示。

表3 不同船隻海上之航行警示條件

種類	船別	顯示燈號		
		●(橘色)	●(黃色)	(透明色)
顯示訊息		作業風險大	可作業	
漁船	CT0-CT2	5級(2m)		
	CT3	7級(4m)		
	CT4-CT6	8級(6m)		
	CT7、CT8	9級(7m)		
顯示訊息		作業風險大	可作業	
動力小船		CTR、CTS	4級(1m) 陣風6級	
種類	船別	顯示燈號		
		●(橘色)	●(黃色)	(透明色)
顯示訊息		危險	警告	舒適
遊艇	40英尺	2.3m	1m	
	80英尺	4.8m	1m	
	120英尺	6.8m	1m	

## (二) 海岸長浪海溫模組作業技術發展

本研究工作為建立長浪警示技術，透過觀測及模擬資料以及長浪警戒標準的判定，可用於判斷危險長浪，長浪海溫模組系統架構如圖7所示。長浪警戒標準判斷的資料來自中央氣象局的海象資料浮標站，以及模擬資料則為WRF風場資料以及WW3數值模式運算所得之波浪資料。此外，因應觀光局對於長浪及海溫的需求，除了前述長浪技術發展，海水溫度與風速可以提供近岸遊憩休閒活動參考，因此將配合「海象資訊平台」介面設計海溫與風速預報圖層展示。

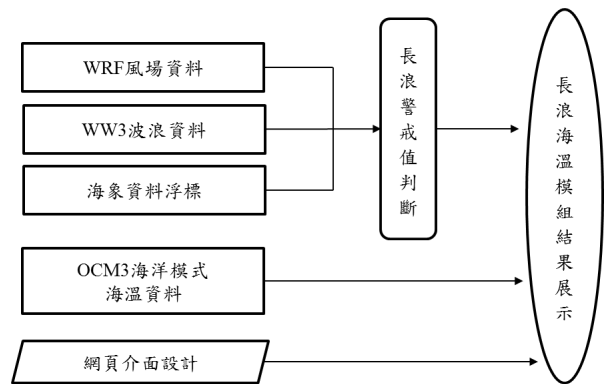


圖7 海岸長浪海溫模組系統架構示意圖

為了探討何種條件下的長浪容易造成危險，蒐集2008年到2017年間因天氣及海況因素而發生的船難事件總共有101筆，資料來源除了新聞收集外更參考國際海事組織(IMO)提供之歷年船難報告，保留有明確時間及地點以及海況資料的事件，最終選取77筆船難事件。海況資料採用歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)的ERA5重分析資料(ERA5 reanalysis dataset)，其空間解析度為0.36度，時間解析度為每小時，並提供全球的波浪模擬結果，其結果亦經過與實測資料驗證，確保一定的可信度。

描述海況的參數有很多種，包括波高、週期、波向、尖銳度等等，各項參數之間有一定的關係，例如尖銳度可由波高及週期求得，此外透過風湧浪分離便能分離各參數中風浪及湧浪的成分。為了探討各項參數對船難海況的重要性以及顯著性，本模組嘗試了各種參數組合。一般認為波高及週期為最主要需考慮的參數，然而光是只有波高和週期並不能夠完整表現出危險海況的特性(Niclasen et al., 2010)。前人研究建議考慮之參數另包括尖銳度、波浪方向分布、風湧浪頻率差、風湧浪角度差等等，Savina et al. (2003)認為波浪尖銳度必須與波高一同考慮才有作為指標的意義，因此提出尖銳指標(steeptness index, SI)，該指標可透過波高及尖銳度求得。

本研究分析船難發生時的波高分布，發現約四成事件發生於波高小於2米時，而該些事件發生時為湧浪主導海況，湧浪能量所占整體總能量高達八成以上，顯示湧浪主導的平靜海況也有發生危險的可能性，此外75%的尖峰週期落於6-10秒。分析湧浪成分顯示湧浪波高主要落於0.5-1米，此結果和Tao et al. (2017)相近，湧浪平均週期主要落在5-7秒(約50%)。本研究考慮不同海況參數，其中又以風湧浪波向夾角(dD)分別與湧浪平均週期(T<sub>m02s</sub>)及風湧浪週期差(dT)分布最為集中，因此本模組採用上述參數之聯合機率，透過多變數常態分佈(Multivariate Normal Distribution)計算其機率，計算90%機率涵蓋的分布範圍(如圖8綠線)可得各別參數之上下界。根據計算

結果本研究選用了湧浪平均週期、風湧浪平均週期差及風湧浪波向差三個參數，定義當湧浪平均週期大於4.6秒、風湧浪平均週期差小於4.1秒且風湧浪波向差小於74度時當作長浪警戒值，可表示如

$$"T_{m02s} > 4.6 [s] \ \& \ dT < 4.1 [s] \ \& \ dD \leq 74 [deg]"$$

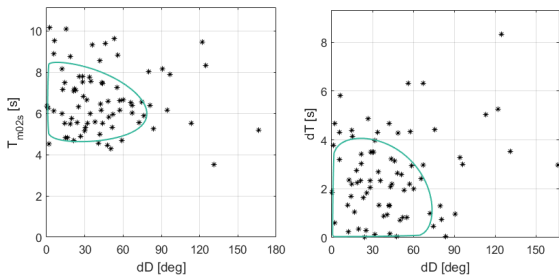


圖8 船難事件時風湧浪波向差分佈與湧浪平均週期(左)、風湧浪週期差(中)、湧浪尖銳指標(右)散佈圖及90%機率範圍(綠線圈選範圍)

### (三) 海嘯即時分析模組作業技術發展

本模組系統架構與發展示意圖如圖9所示，先即時取得潮位站觀測資料，再藉由本工作評估較適合的海嘯波分析方式即時分析水位，並獲得海嘯波相關訊號，經由自動警示門檻判斷，最後於即時展示介面上顯示海嘯警示燈號。此外，本模組亦包含「歷史海嘯查詢功能」與「設計海嘯條件測試功能」。

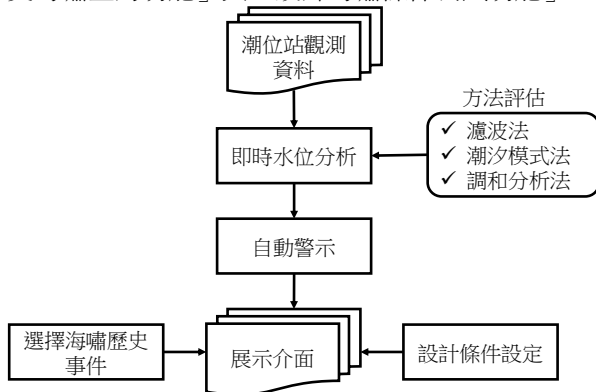


圖9 海嘯即時分析模組架構與發展示意圖

本研究採用「濾波法」、「潮汐模式分析法」及「調和分析法」等3種方式，針對潮位站觀測資料進行海嘯波訊號分析，透過分析國內既有潮位觀測站資料方式，達即時得知海嘯波之相關資訊，俾利做為未來海嘯防災之重要參考依據。以後壁湖觀測資料做為調和分析法之分析案例。圖10為帶通濾波法與調和分析法分析恆春地震事件海嘯波之比較結果，顯示調和分析除可即時預測天文潮水位資料，並可藉由計算實測與推估天文潮之資料差值，獲得異常水位(例如：海嘯波或暴潮)發生時間與異常水位高度。進一步分析兩種即時分析方法之均方根誤差，NAO99b推算之異常水位與濾波所得海嘯波結果之均方根誤差約9%；而由調和分析推算結果之均方

根誤差約5%。依目前分析結果可知，調和分析是針對各觀測站歷史資料進行率定，其推算結果會更符合臺灣近岸海域天文潮水位變化，使其差值較NAO99b推算結果更為穩定。

綜合比較上述3種分析方法，應均可由潮位觀測資料中有效離散出海嘯波訊號。濾波法可分析歷史觀測資料，求得海嘯波分布情況，且為減少雜訊影響，建議以「帶通濾波」法進行海嘯波訊號萃取方法；「潮位模式分析」與「調和分析法」均可達到即時分析異常水位(例如：海嘯波或暴潮)之需求，惟「調和分析法」用於分析臺灣近岸海域天文潮水位變化會更為穩定。

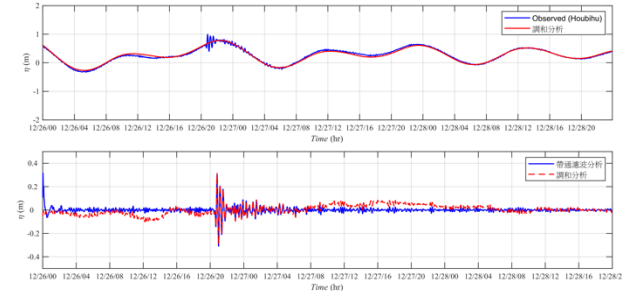


圖10 帶通濾波分析與調和分析結果比較(恆春地震事件)

## 五、現階段執行成果

參考國內外海象防災應用與展示平台，完成航行安全警示模組、海運航線波候模組、海岸長浪海溫模組以及海嘯即時分析模組的介面細部設計。

「西北太平洋海象資料庫」的資料來源調查共參考18個國際資料來源，調查30種物理量，其中，已建立成功浮球與東吉島波浪站的波浪與海流資料品管準則與品管程序技術發展。

已開發三項作業技術包括航行安全警示模組、海岸長浪海溫模組以及海嘯即時分析模組，包括提出不同船隻海上之航行警示條件與長浪警戒標準、建立海嘯即時分析方法。

## 六、參考文獻

1. Niclasen, B.A., Simonsen, K. and Magnusson, A.K., 2010. Wave forecasts and small-vessel safety: A review of operational warning parameters. *Marine Structures*, 23(1): 1-21.
2. Savina H, Lefevre JM, Josse P, Dandin P., 2003. Definition of warning criteria. In: MAXWAVE final meeting. Geneva, Switzerland.
3. Tao, A.F., Yan, J., Pei, Y., Zheng, J.H. and Mori, N., 2017. Swells of the east china sea. *Journal of Ocean University of China*, 16(4): 674-682.