

108-104-0287

出國報告(出國類別:開會)

出席 ISOPE-2019 國際海上工程研討會

服務機關:交通部運輸研究所

姓名職稱:陳鈞彥助理研究員

派赴國家:美國

出國期間:108年6月14日至6月27日

報告日期:108年7月29日

108-104-0287

出國報告(出國類別:開會)

出席 ISOPE-2019 國際海上工程研討會

服務機關:交通部運輸研究所

姓名職稱:陳鈞彥助理研究員

派赴國家:美國

出國期間:108年6月16日至6月27日

報告日期:108年7月29日

出席 ISOPE-2019 國際海上工程研討會出國報告

著 者：陳鈞彥

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.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 108 年 7 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 12 冊

定 價：120 元

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：38 含附件：無

報告名稱：出席 ISOPE-2019 國際海上工程研討會

主辦機關：交通部運輸研究所

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

交通部運輸研究所/孟慶玉/02-23496755

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

陳鈞彥/交通部運輸研究所/港灣技術研究中心/助理研究員/04-26587132

出國類別：1.考察2.進修3.研究4.實習5.其他

出國期間：108 年 6 月 14 日至 6 月 27 日

出國地區：美國夏威夷

報告日期：108 年 7 月 29 日

分類號/目：HO／綜合類（交通類）

關鍵詞：國際海上工程研討會(Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference)、海岸工程(Coastal Engineering)、海洋與極地環境工程(Ocean and Artic Environment Engineering)

內容摘要：

本報告為參加國際海洋與極地協會(ISOPE)於美國夏威夷州檀香山市主辦之第29屆(2019年) 國際海上工程研討會的彙整報告，報告內容主要包含研討會之議程、論文研討與心得。

第29屆(2019年)海洋與極地工程國際研討會(ISOPE-2019)於6月16日至6月21日在美國夏威夷州檀香山市舉辦，超過千人參與，參與學者來自50個以上國家，超過1300篇摘要投稿，接受論文發表共151篇，論文探討內容涵蓋海岸工程、環境工程、

大地工程、海洋科技、海洋離岸風機工程、海嘯研究、水下探勘、水下載具、海底管線、造船技術、再生能源、先進航行技術、AI技術、極地科技等領域。我國亦有學者發表文章，對促進國際學術交流與吸取國外經驗有相當大的助益，職藉本次參加研討機會，可充分瞭解目前國際海岸、海洋工程界之研究方向及現況，並提升與本身業務有關之工程技術及學術交流，除參與論文研討外，本報告亦針對重要議題提出心得分享。

本文電子檔已上傳至公務出國報告資訊網

摘 要

本報告為參加國際海洋與極地協會(ISOPE)於美國夏威夷州檀香山市主辦之第29屆(2019年)國際海上工程研討會的彙整報告，報告內容主要包含研討會議程、論文研討、與會心得等方面。

本屆國際海上工程研討會(ISOPE-2019)於6月16日到6月21日在美國夏威夷州檀香山市舉辦，與會人員超過千人，研討會議題涵蓋海岸工程、環境工程、大地工程、海洋科技、海洋離岸風機工程、海嘯研究、水下探勘、水下載具、海底管線、造船技術、再生能源、先進航行技術、AI技術、極地科技等領域，與會學者來自歐、美、亞、澳等各地超過50個國家，協會由超過1300篇投稿摘要中，評選出737篇論文參與發表，分151個場次發表。除參與論文研討外，本報告亦針對重要議題提出心得分享，此次會議我國亦有多學者參與並發表文章，對於促進國際學術交流及吸取國外經驗有相當大的助益。藉由參加論文研討機會，可深入及充分瞭解目前國際海岸、海洋工程界之研究方向及現況，並提升與本身業務有關之工程技術和學術交流。

本報告內容計分四章，第一、二章分別為參加本次研討會之目的與過程，第三章為參與論文研討分享，第四章為本次參加研討會後之心得與建議。

出席 ISOPE-2018 國際海上工程研討會出國報告

目次

行政院及所屬各機關出國報告提要.....	I
摘要.....	III
目次.....	IV
一、目的	1
二、研討會會場與行程概述.....	5
三、研討會概述及心得.....	9
四、建議.....	40

一、目的

國際海上工程研討會(Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference) 是由國際海洋與極地協會(The International Society of Offshore and Polar Engineers, 簡稱ISOPE)所主辦的學術研討會議, 主要探討海洋工程、海底管線、海域環境變遷、極地開發、海洋能源等工程及技術問題, 並以提升工程技術與學術交流為其成立宗旨, 對外發行學術期刊, 為國際海洋工程界之知名協會, 多年來促進學術與工程技術交流, 提供先進科技對工程界貢獻良多。

此國際海洋與極地協會創始於1989年9月15日, 屬於非營利之國際科學和教育組織, 總部設於美國加州。成立之初有美國、英國和挪威三個辦公室, 如今會員已有30多個國家加入, 目前則已經有超過50個國家以上是經常性參與其會務和活動, 該協會自1991年起每年舉行一次年會, 是目前世界上最大型近岸、海岸工程、與海洋技術上之國際研討會, 並輪流在世界各國舉辦。

本次參與藉會議期間論文之發表及與其他國家學者專家研討機會, 除可推廣本國研究成果外, 並可了解其他國家於海洋領域研究發展現況, 以作為未來相關研究工作推展之借鏡與參考, 特此感謝所長給予此機會參與國際學術交流。

二、研討會會場與行程概述

2.1 研討會議簡介

本年度ISOPE國際海上工程研討會於美國舉辦。會議地點位於夏威夷州歐胡島檀香山市，會議場址在檀香山市區希爾頓飯店(Hilton Hawaiian Village)的國際會議會場(包括大型會議廳及各中小型會議室)，由臺灣可搭班機直飛檀香山國際機場，會議舉行時間為6月16日至6月21日，研討會議程概要如表2-1所示。

本屆研討會超過1300篇摘要投稿，經委員嚴格審查後，評選出737篇論文接受發表，分151個場次發表，會議註冊及大小型專題研討共計有6天，共151個場次，本次會議議場希爾頓飯店，其2至3樓設置多間會議室，近千人的大型會議廳設置在會場2樓，中小型會議室分布在會場2樓及3樓，每個小型會議室可容納數十人同時與會，每日約有10間會議室同時進行研討，雖然會議之規模龐大，主辦單位在人力及設備安排妥當，使會議順利進行，圖2.1為報到台前留影照片，研討會開幕現場與專題演講現場照片如圖2.2及圖2.3所示。

表2-1 會議議程表

日期	議程內容
6月16日	報到與交流活動
6月17日	開幕典禮、專題演講及論文發表研討
6月18日	專題演講及論文發表研討
6月19日	論文發表研討、研討會晚宴、優秀論文頒獎
6月20日	論文發表研討
6月21日	研討會閉幕



圖 2.1 現場報到台前留影



圖2.2 會議開幕典禮現場照片 (大會提供)



圖2.3 研討會專題演講(非線性波浪)現場照片

2.2 會議主題概述

2019年ISOPE國際研討會之論文，包含歐美亞澳超過50國家、737篇論文參與發表，論文涵蓋如：近海工法與技術、大地工程、環境工程技術、海岸流體力學、海洋與海岸工程、海洋能源科技、近海與極地管線及立管平臺技術、自動監測與通信技術、造船工程等理論分析與技術研發之相關領域成果發表。同時舉辦7場專題研討會，包括全球能源展望、海洋和北極科技的挑戰、現今的波浪模擬發展、俄羅斯的極地冰帽環境回顧、氫脆化模擬、極地風險管理、數位孿生技術與海域升導管。

本年度年會發表之議題涵蓋範圍與本所港研中心研究相關或未來發展有關研究論文議題簡述如下：

- 1.海岸流體力學：海岸波浪、水動力學、透水與不透水性結構、漂沙與海岸侵蝕、海岸管理。
- 2.大地工程：土壤力學、土壤改良、軟弱土層、大地災害、土壤液化、

基礎工程。

- 3.環境科學：環境監測、碳排放、環境水質。
- 4.再生能源科技：離岸風機支撐結構、離岸風機基礎、離岸風能模擬分析、風能管理、波浪能源探討、潮汐與海流能源。
- 5.水下技術：儀器觀測、水下無人載具、自主水下載具、水下機器人、水下推進器。
- 6.海嘯與安全：海嘯生成與溢淹、力學分析、數值模擬、觀測分析。

本次研討會之詳細論文集以隨身碟方式提供給與會人員，相關論文摘要可至<http://www.isopec.org/publications/publications.htm> 網址內參閱。

三、研討會概述及心得

有關本次會議內容包含海洋各研究領域，因會議場次眾多，僅就研討期間所參與的部分會議，與本所港研中心業務有關的海象模擬、海象觀測、近岸工程、相關研究議題作分享。

3.1 海象模擬與颱風相關研究

此篇發表論文題為：「Response of Wave Characteristics to Binary Typhoons in South China Sea」(波浪特徵對中國南海雙颱風的反應)，由中國與加拿大的Cheng與Perrie等人共同發表，介紹2016年10月中國南海，莎莉嘉颱風(Sarika)與海馬颱風(Haima)產生的波浪特性，以數值模型模擬雙颱風引起的複雜波浪，分析雙颱風相互作用下風浪和湧浪的分佈及特徵變化，特別是在交互作用較強的區域，該研究亦運用衛星遙測波浪資料驗證。

與單一颱風相比，雙颱風引起的波浪不僅更強，範圍更廣，且表現出更複雜的行為，大多數雙颱風都是夏秋兩季發生的，在颱風季節，西北太平洋大量溫暖的海水蒸發，蒸發的水蒸氣為颱風的形成提供了良好的條件，Dong和Neumann(1983)分析了35年的數據，表明太平洋西北地區平均每年發生1.5次雙颱風，而大西洋是0.33次，如今，隨著氣候變遷致害天氣有增加之趨勢。然而，對雙颱風引起的波浪的研究較少，Ritchie和Holland(1993)、Demaria和Chan(1984)研究了使用不同模型的雙氣旋間的相互作用，研究結果表明，雙氣旋的相對運動對其初始距離，相對強度和相對地理位置非常敏感。在統計研究中，Hoover(1961)和Brand(1970)的研究顯示，為了產生相互作用，雙氣旋之間的距離應在700-800海里之內，但是氣旋產生的波浪傳播範圍比此距離寬得多，且波浪間交互作用的距離也可能比這個距離大得多，在季風盛行且地形複雜的南海(如圖3.1)，雙颱風現象幾乎每年都會發生，交互作用下的波浪特性仍值得探索。

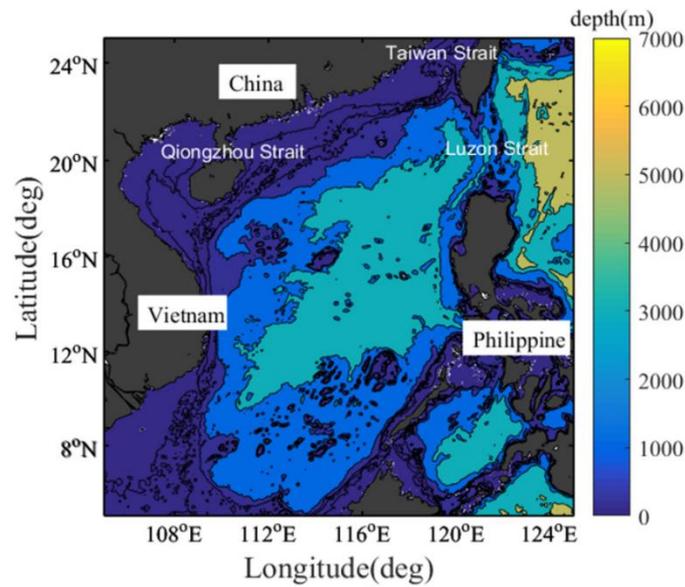


圖3.1 中國南海水深地形圖

由於缺乏南海颱風季節中的現場記錄和歷史統計，颱風波浪的形成和傳播研究主要依靠數值模擬方法，第三代波浪模型目前廣泛用於波浪模擬，包括WAM (Group, 1988)、WW3(Tolman、Chalikov, 1996)和SWAN(Booij等人, 1999)等數值模型。WW3已成功應用於全球海洋中不同規模的區域。

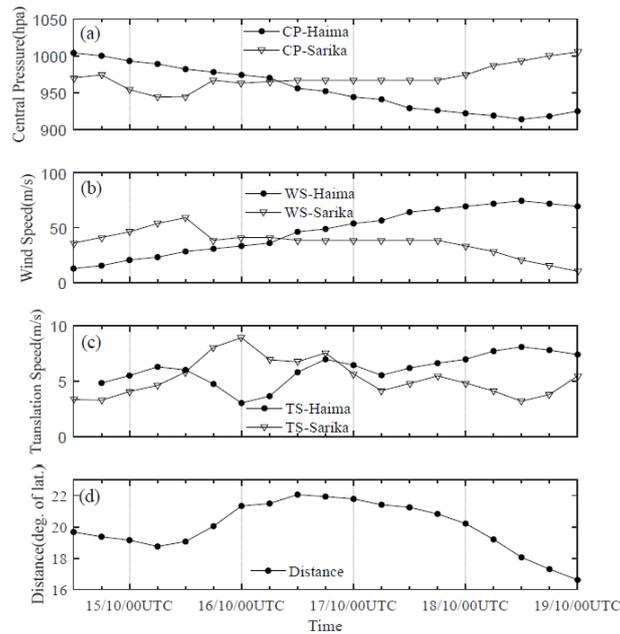


圖 3.2 莎莉嘉與海馬颱風之氣壓、風速、速度、颱風眼距時序圖

圖3.2顯示了在南海雙颱風持續影響期間的颱風中心壓力、風速、移動速度和颱風眼距的時間序列，考慮到雙颱風的廣泛影響，探討南海的北部地區在10/15至10/22期間受到颱風的影響。從圖3.2可看出，莎莉佳颱風的最大風速自進入南海以來一直在緩慢下降，中心壓力正在緩慢增加，同時，海馬颱風的移動速度比莎莉嘉颱風快，因此，從10/17莎莉嘉颱風登陸，雙颱風間的颱風眼距一直在減小(圖3.2d)，這種距離的縮短可能會加劇不同颱風產生的波浪之間的相互作用。

雙颱風的過程分為三個階段(如圖3.3)，第一階段從10/13至10/15，莎莉嘉颱風形成一個熱帶低氣壓，從菲律賓以東的海域上空向西北偏西移動，當天升級為熱帶風暴，保持其西西北向的軌跡，10/15升級為颱風，在襲擊呂宋島之前一天達到最大強度，最大持續風力為176km/hr，中心壓力為945 hPa，10/14海馬颱風在卡羅琳群島周圍形成了一個熱帶低氣壓，向西北偏西移動，12小時後升級為熱帶風暴，此時尚未對南海造成影響。

莎莉嘉颱風從10/15到10/19間，稱為第二階段，進入南海後，莎莉嘉逐漸向西北方向移動，強度減弱並在10/18越過海南島，隔天在中國和越南邊境附近降為熱帶風暴，18小時後在中國南部消散。海馬颱風向西北移動，於10/16升級為颱風，兩天後，海馬升級為強颱風，在10/18 18:00達最大強度，最大持續風速為213 km/h，菲律賓東部海域的中心壓力為900 hPa，在這個階段，海馬颱風正在接近呂宋海峽的東側。

第三階段是莎莉嘉颱風和海馬颱風登陸之間，從10/19至10/22，在此階段莎莉嘉颱風已經登陸中國，隔天海馬颱風襲擊呂宋島，並在西北偏西方向進入南海，向西北方向轉移後襲擊中國南部，10/21降級為熱帶風暴，並在中國南部減弱至熱帶低氣壓，6小時後轉為溫帶氣旋，逐漸轉向東方並進入東海之後，於10/2日本南部小笠原群島以東海域消散。

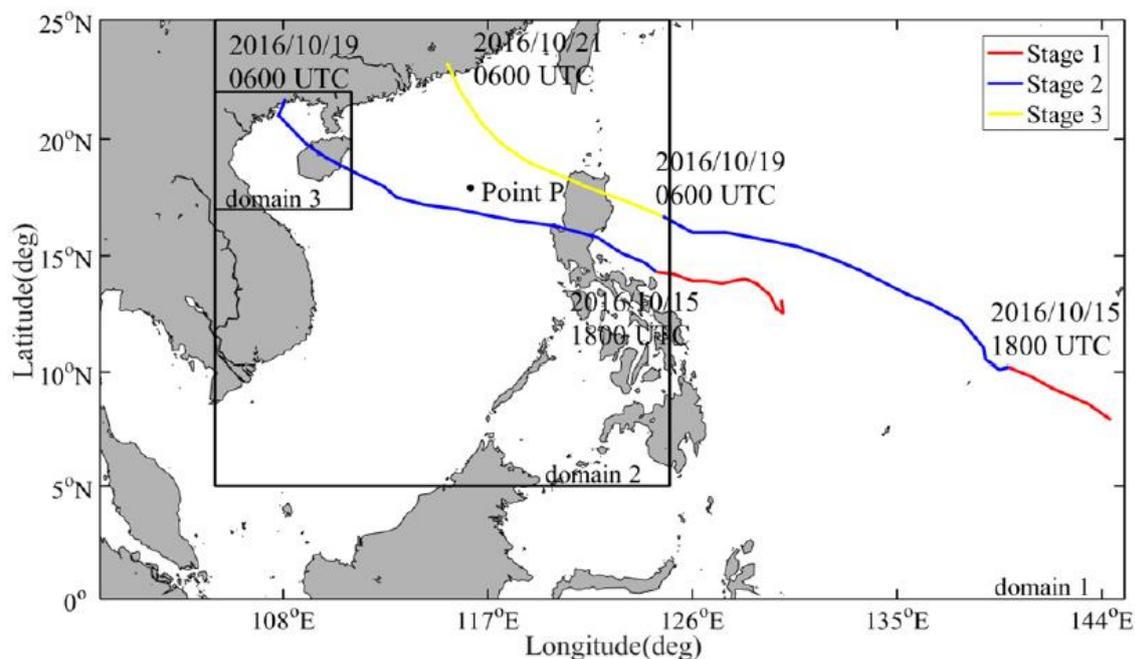


圖 3.3 莎莉嘉與海馬颱風路徑圖

該研究利用WaveWatch3(以下表示為WW3)模型進行波浪模擬。WW3是由Tolman和Chalikov(1996)在NOAA / NCEP開發的第三代波浪模型。並應用美國國家太空總署(NASA)提供的交叉校正多重平台(CCMP)資料集來驅動該研究中的波浪模擬,間隔為6小時的CCMP再分析數據結合了來自QuikSCAT, WindSat, SSM/I, SSMIS和其他星載儀器和儀器觀測的交叉校準衛星微波風觀測,以變分分析法(VAM)產生高解析度網格分析(0.25°)。應用在10/11至10/22雙颱風期間的風場數據,其中包含雙颱風的整個過程,我們將聯合颱風警報中心(JTWC)最佳軌跡數據與CCMP風場進行了比較,並確認CCMP風場的颱風結構(如圖3.4)。

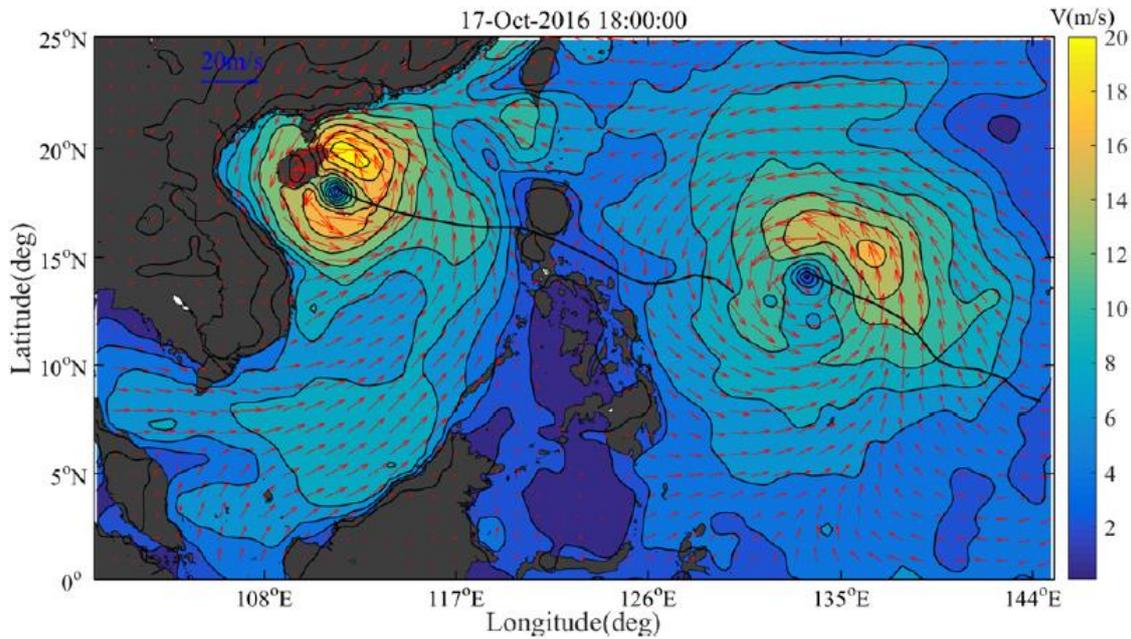


圖 3.4 CCMP 風場與雙颱風風速等值線圖

為模擬南海雙颱風莎莉嘉和海馬產生的較精確波，應用波浪模型中的多重網格系統，計算區域根據雙颱風通道來選擇，粗解析度區域(15')為95°E至145°E和0°至25°N，如圖3.3之domain-1所示，中解析度區域(5')嵌在第一個區域內，從105°E到125E°和5°N到25°N，覆蓋南海的大部分深水和雙颱風通道(如圖3.3之domain-2)，最後的細解析度區域(1')嵌在第二個區域，覆蓋整個北部灣(圖3.3之domain-3)，從105°E到111°E和17°N到22°N，目的是研究雙颱風引起的湧浪傳播。對CCMP風場進行內插，以符合三個不同尺度之空間和時間的解析率，研究區域的水深來自ETOPO 1，對於各參數範圍，方向解析度為10°，共36個方向，25個頻率，從0.04180Hz到0.41172 Hz，增量為 $f_{n+1} = 1.1f_n$ ，底部摩擦參數則應用JONSWAP經驗公式。

該研究中使用的衛星高度計數據是從法國 AVISO(Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic)下載，近實時沿軌跡高度計的示性波高數據用來與模擬結果比較，有十二個衛星在雙颱風期間穿過南海地區。圖3.5為在南海(圖3.3之domain-2)雙颱風期間之經過的衛星軌道，圖3.6為沿軌道(編號0229、0012)的模擬示性波高分布，明顯看出模擬結果與衛星數據非常吻合。

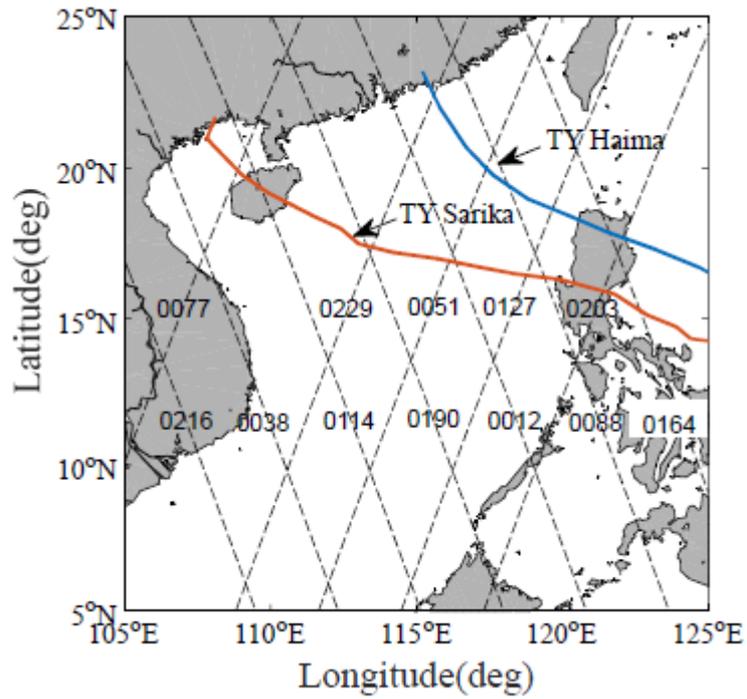


圖3.5 Jason-2衛星軌道(虛線)與颱風路徑

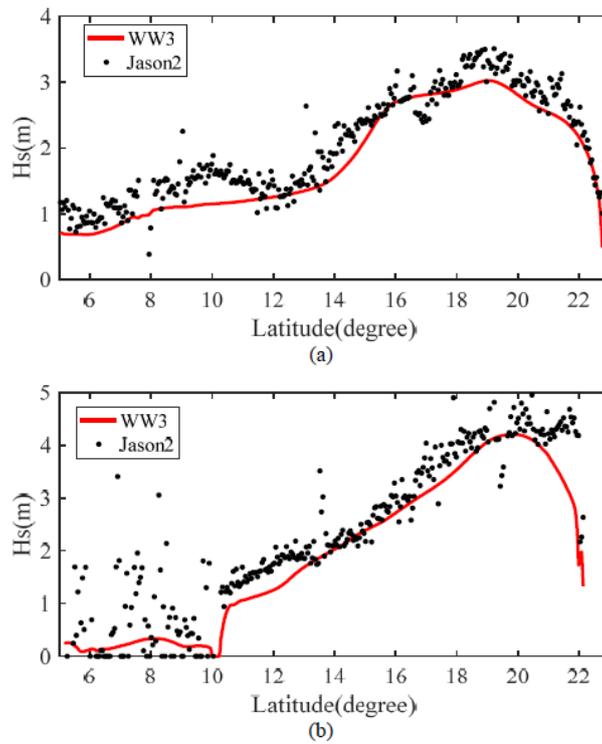


圖 3.6 遙測與模擬示性波高之沿衛星軌道分布比較

船舶或浮標等直接測量數據在南海地區非常少見，特別是在颱風等極端天氣下。然而，因位衛星遙測技術的發展，將Jason-2衛星高度計數據用於該研究中的模擬驗證。WW3之模擬數據和衛星高度計數據之間比較結果，其相關係數、偏差和均方根誤差等統計結果如表3.1所示，顯然偏差的上升和下降的衛星軌跡結果均為負，表明WW3的模擬值小於高度計測量值，但差值非常小。相對於衛星軌道中的最大示性波高，其均方根誤差在可接受的範圍內，兩者的相關係數均大於0.93，表示在南海的雙颱風過程中WW3模式計算結果是可靠的。

表 3.1 模擬與觀測結果統計誤差比較

Orbit	Statistical parameters		
	CC	Bias(m)	RMSE(m)
Track 0229	0.931	-0.258	0.306
Track 0012	0.939	-0.389	0.525

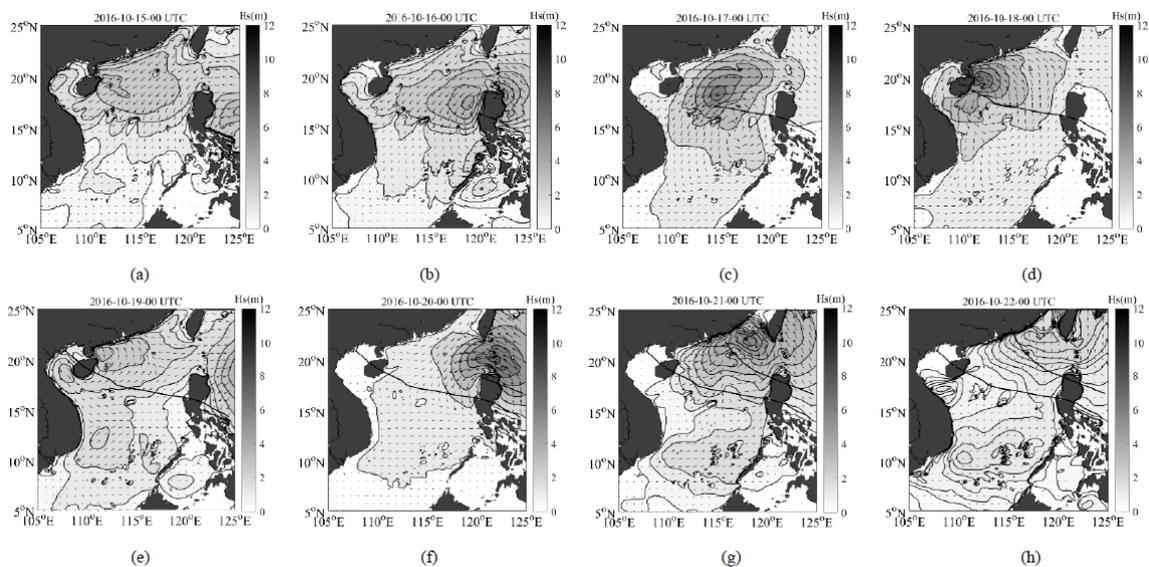


圖 3.8 雙颱風期間示性波高空間分布圖

雙颱風通過期間示性波高的空間分佈如圖3.8所示，從莎莉嘉颱風進入南海的前一天到海馬颱風登陸後的第2天，雙颱風莎莉嘉和海馬在南海的影響持續了大約9天，颱風產生的波場主要取決於颱風中心的距離

和最大暴風的半徑，遠離颱風中心的地區主要受到湧浪的影響，波浪方向主要由南海北部的風向決定。在第一階段，莎莉嘉颱風進入南海前，南海北部的波浪主要由初始風驅動(圖3.8a)，該區域產生的最大示性波高達4.08m，主要波向由東北向西南。

於第二階段，莎莉嘉颱風於10/15登陸呂宋島，強度同時達到最大，主要波浪由莎莉嘉颱風沿海岸傳播產生，然後通過呂宋海峽進入南海，當它從陸地重新進入海洋時與南海產生的波浪混合(圖3.8b)，在莎莉嘉颱風向西北移動期間，示性波高持續增加(圖3.8c)，其最大值在10/18登陸海南島前達到7.6m(圖3.8d)，大部分波浪能量在颱風登陸後消散，另一部分沿海南島南岸或瓊州海峽傳播並進入北部灣(圖3.8e)，12小時後，莎莉嘉颱風進入了北部灣，在北部灣18小時的移動期間，莎莉嘉進入海洋時最大示性波高達4.55m，之後示性波高逐漸下降，與最大風速的下降相對應(圖3.2)。

於第三階段莎莉嘉在10/19時登陸中國時，海馬颱風在西北太平洋產生的波浪開始通過呂宋海峽進入南海(圖3.8e)，隔天強颱風海馬引起的波浪達到峰值強度，最大示性波高達7.91m(圖3.8f)，當強颱風海馬登陸廣東，大部分產生的海浪最終在中國南部沿海傳播並消散(圖3.8g)，從圖3.8f-h可看出海馬颱風在其路徑左側產生的波浪與莎莉嘉引起的剩餘波浪相互作用，即使莎莉嘉已離開，關於雙颱風引起的波相互作用的詳細討論如下。雷州半島和海南島阻止了莎莉嘉颱風產生傳播到北部灣的大部分波浪，如圖3.8所示，波浪進入北部灣有三種方式，一種是從海南島傳播和繞射，第二種是越南海岸的傳播和折射，最小的部分是通過狹窄的瓊州海峽。海馬颱風產生的巨浪沿呂宋海峽分佈。斯瓦特線表明，比起莎莉嘉颱風，海馬颱風引起的波浪在研究區域具有更寬廣的範圍和更強的影響。

該研究選用之WW3模式採用波譜分割方法，該方法源於數位影像處理分水嶺演算法(Vincent和Soille, 1991)，用於將2-D頻譜分成若干個頻譜分區，使用風速和風向的各個分量的波浪分級標準來識別風和波浪，風浪與湧浪示性波高在雙颱風通過期間的空間分佈如圖3.4所示。

颱風產生的風浪主要集中在颱風的右前方，颱風眼的小區域完全不受風浪的影響(圖3.9)，莎莉嘉產生的大部分風浪主要影響南海的北部區域(圖9a-e)，南部區的風浪可能是由於當地的風造成(非颱風影響)。湧浪則和風浪分布相反，颱風通道左側出現最大示性波高，颱風眼左側的波浪以湧浪為主(圖3.10b-g)，與風浪相比，在雙颱風期間湧浪影響整個研究區域，而風浪主要影響颱風通道附近，特別是在颱風軌跡的右側。

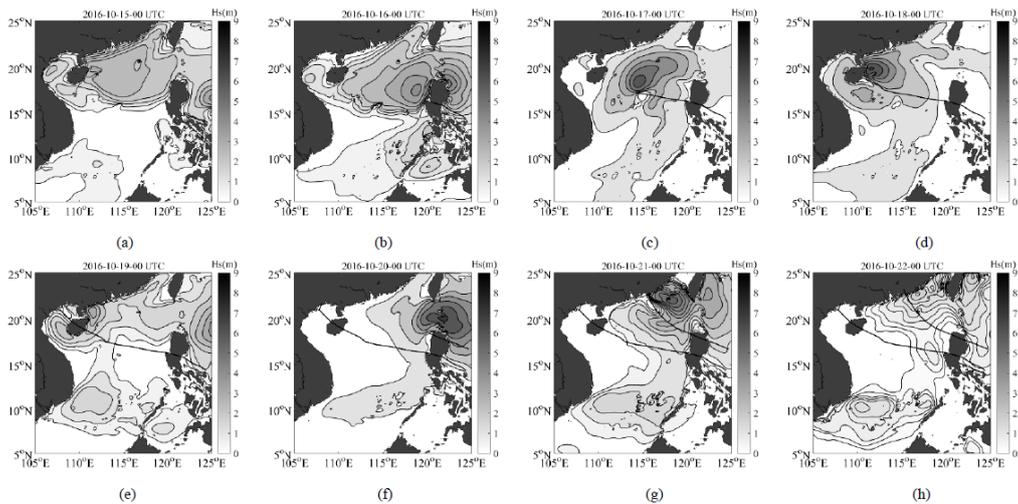


圖 3.9 雙颱風期間風浪每日示性波高等值線圖

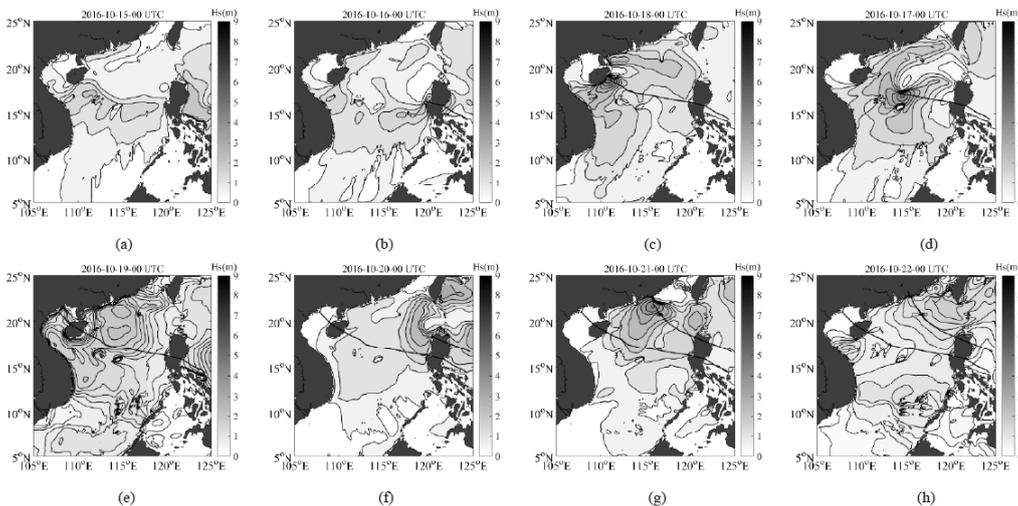


圖 3.10 雙颱風期間湧浪每日示性波高等值線圖

當莎莉嘉颱風在西北太平洋移動時，湧浪主要分佈在南海中部(圖3.10a)，當莎莉嘉颱風在南海內移動時，整個domain-2中存在湧浪(圖

3.10b-d)，在莎莉嘉颱風登陸大陸之後，湧浪延伸了到南海的最南端。莉嘉颱風向東傳播產生的湧浪影響呂宋海峽並與海馬颱風生成的風浪混合(與圖3.9e和圖3.10e比較)，這表示雙颱風產生的波浪間存在相互作用。

為探究雙颱風影響下波浪詳細結構變化，選擇P點(116.23°E 17.18°N，圖3.2)，它位於兩個颱風的通道之間，經歷了莎莉嘉與海馬產生的波浪的相互作用，詳細模擬和分析二維方向波譜，圖3.11顯示了方向在P點的方向波譜演變，莎莉嘉颱風在10/16時靠近這個位置，海馬颱風在10/20靠近這位置。在颱風莎莉嘉進入南海(第1階段)之前，P點處風速很小，波浪方向主要在250°(西南方向)，如圖3.11a，莎莉嘉颱風進入南海(第2階段)後，P點的頻譜能量達到最大值(圖3.11b)，主要波向約與風向相同，表示該位置由風浪主導，圖3.11c-d顯示了漸變波模式的變化由風浪到湧浪的主導，莎莉嘉颱風在10/18侵襲P點後漸弱，二維波譜顯示三個峰，兩個小的湧浪波譜傳播分別至呂宋海峽和台灣海峽，最後的小風浪頻譜來自10/18後的局部風(西南方向240°)，如圖3.11。

在莎莉嘉颱風登陸(第3階段)之後，圖3.11f中的風來自海馬颱風，在海馬到來前即引起了西南方向較高的波譜能量，在東向的小波譜能量是莎莉嘉颱風的湧浪殘餘引起，之後的一段時間內海馬颱風登陸，此期間的波譜特性是在空間分佈很廣，海馬颱風產生了波浪在通過呂宋海峽時變形(圖3.7f)，並演變為兩個中心距離相近的波浪形式(圖3.7g)，這就是東向和東北方向有兩個譜峰的原因(圖3.11g)，這兩個譜峰隔天隨這海馬颱風遠離而分離。另一個有趣的發現是莎莉嘉和海馬的波譜能量大約經過前12小時18小時達到它們的高峰，如圖3.11b和圖3.11f所示。

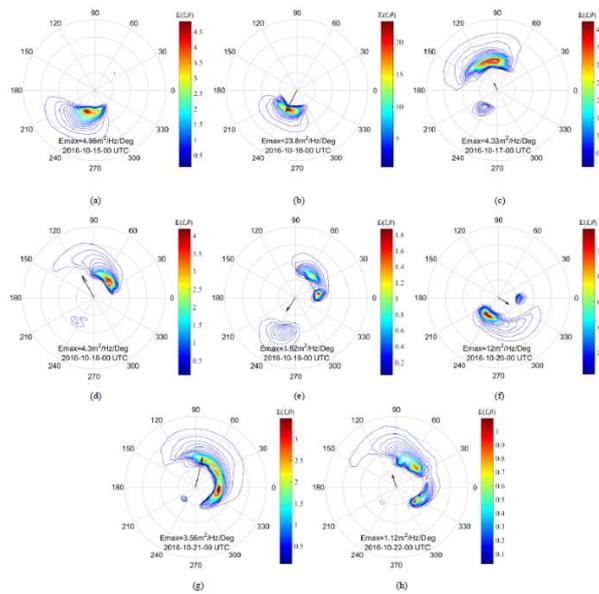


圖 3.11 雙颱風期間 P 點每日波譜變化

在這研究中，利用了具有多個網格場域系統的 WW3 模型，且研究了波浪特徵對雙颱風的響應，採用 Jason-2 衛星高度計沿衛星軌道近實時數據於驗證模型的可靠性，統計分析衛星高度計和模擬結果支持了 WW3 模型的合理性。

雙颱風風莎莉嘉和海馬持續影響南海自 2016 年 10/15 至 10/22，並對波場產生持久而複雜的影響。在分析南海的雙颱風產生的示性波高分佈後，我們發現了由颱風產生的巨浪只能通過其中的通道進入的北部灣南部。向西的波浪不能真正對北部灣造成了毀滅性的影響，因其受到海南島和越南海岸線的折射封鎖，除非是一個強颱風直接登陸。

雙颱風的波浪相互作用通過探索頻譜劃分方法將波分為風浪和湧浪。颱風產生的風浪主要集中在颱風路徑的右側，而湧浪恰恰相反，分佈在颱風通道和颱風眼的左側。起源於南海北部的湧浪在一天之內將傳播到整個南海，並且南海中的湧浪在這種雙颱風的影響持續更久。

對二維定向波譜的研究表明，最大波譜能量通常可以在颱風到達之前 12-18 小時發生。二維定向波的多個光譜峰值模式莎莉嘉颱風和海馬颱風的路徑之間的光譜是複雜的。

3.2 極端海象觀測研究

本次研討會中亦有多篇關於海象觀測的論文，讓職感到印象深刻的一篇題為：「Extreme Sea State Measurements by Stereo Video System」(立體影像系統進行極端海象測量)，由法國、義大利與德國學者Guimarães、Benetazzo等人共同發表，研究起因為由於海洋波浪對於風輸入和耗散之間能量平衡的理解現今仍不完整，在這種背景下，新的現場觀測仍然揭示了有關海平面動力學的重要信息，波浪破碎是波浪能量消散的主因，但我們對這種現象仍未完全了解，為將碎波觀測範圍擴展到暴風雨條件，在極端海象的地點進行了探討海洋的活動，獲得的測量結果揭示了暴風雨條件下海面的重要方面，並提供了獨特的資料集來探索海面。

該研究在DIME(Dimensioning and MEt ocean)計畫的框架內，研究團隊首次在北大西洋嘗試監測極端海況，選擇位於法國西北部具有歷史的海上近岸燈塔為天然實驗室，燈塔名為La Jument(-5.1337W，48.4223N，如圖3.12)。這座燈塔位於岩石平台上，在其西邊界突然陡降，西面的水深從燈塔500公尺外的-60公尺到燈塔50公尺外的-30公尺，該區域的水位對大潮階段極為敏感，大潮潮差為6公尺(Ardhuin等，2012)。潮汐與近岸地形相互作用，在大潮期間產生超過3 m / s的強烈潮流(Ardhuin等人，2009年，由近距離的HF雷達測量)。這座燈塔高度暴露在極端海象，在HOMERE資料庫的分析(Boudiere等，2013)表明，La Jument附近50公尺深位置的10年示性波高為11.8米，等於或大於大部分法國海峽和大西洋海岸線一帶的100年的示性波高。因此，這個地方的自然特徵為調查極端海況，結構對極端事件的抵抗力以及從深水到淺水的波流交互作用創造了良好的環境。



圖 3.12 La Jument 燈塔位置圖

立體影像系統和安裝在燈塔頂部(約在海面上50m)的X波段雷達用於觀察燈塔附近的波浪與海流。在La Jument的實驗設置如圖.13所示，該實驗還考慮了聲波感測器用於立體影像重建區域中的波高，週期和波向(AWAC)位置以及距離燈塔約3km外的Datawell Waverider浮標。

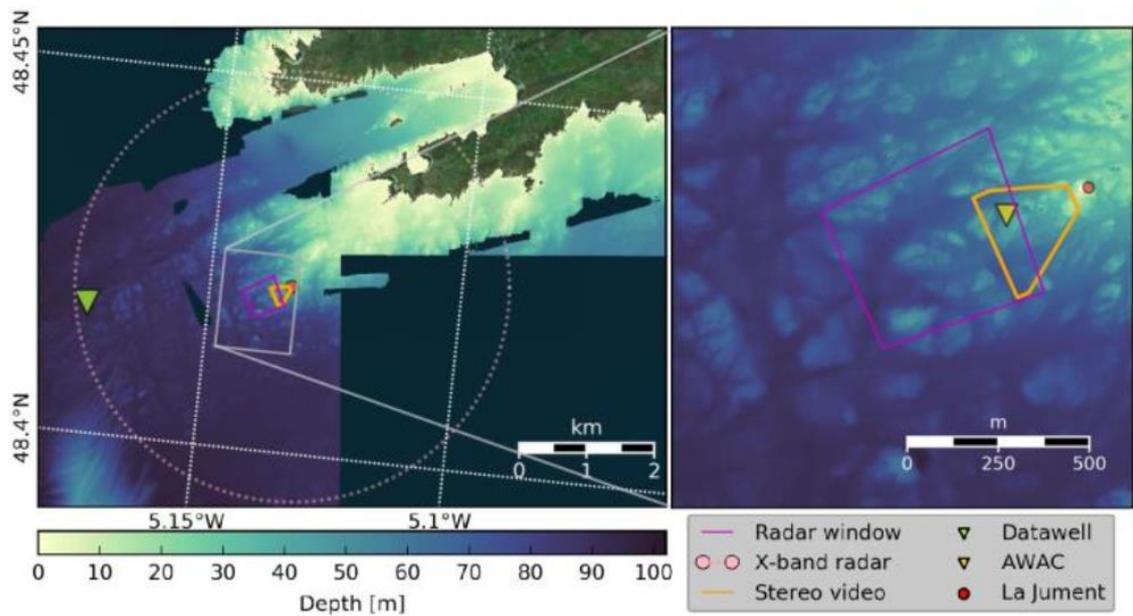


圖 3.13 海象觀測實驗之影像及雷達設置圖

立體影像系統由一對同步的500萬像素(2048x2456像素)BM-500GE JAI相機和廣角鏡頭組成(與Guimaraes，2018年使用的相同)，以

10Hz頻率記錄，使用的立體影像重建的主要原理由Benetazzo(2006)、Leckler(2013)和Bergamasco等人(2017)提出，他們在兩個不同的攝像機同時捕獲的圖像之間找到對應的點(即像素)，將左相機圖像(iL, jL)中的每個像素，與右相機圖像(iR, jR)中的相對應像素連結起來，對於每一對對應點，對極幾何給定的相機參考系統中海表平面高程位置(x, y, z)，變換到世界參考系統(x - y 平面為水平的， z 軸朝上， $z = 0$ 在當地平均海平面上)，因此，每對像素產生在海面上的3-D點雲，然後將點雲網格化產生離散化的表面高程圖，通常用於波浪分析， x 軸為沿著兩相機的水平軸， y 軸指向遠離相機的位置，而 z 軸是垂直向上。覆蓋的區域和表面解析度主要取決於實驗設置和目的，觀測影像的預期精度也是在採集期間相對於平均海平面的相機設置和位置的函數(Benetazzo, 2006)。

從時間和空間表面高程 $z(x, y, t)$ ，可以用三維波數頻率能譜表示海面 $E(k_x, k_y, f)$ ，這種頻譜的已經由杜甘等人(2001)，用於光強度的光譜表示過，Gallego等人(2008)、Fedele等人(2012)、Fedele等人(2013)、Leckler等人(2015)、Guimaraes (2018)、和Benetazzo等人(2018)，此概念後來被類似的立體影像系統用於海面高程。例如，在1024幀的時間間隔上應用傅里葉變換，並在所有重疊時間間隔上，對三維傅立葉變換的模數平方求平均。在高程圖 $z(x, y, t)$ 施加三維漢明窗函數(Hamming window) $h_3(n)$ 之後獲得頻譜值 $E(k_x, k_y, f)$ ，更傳統的頻譜表示 $E(f)$ 或可以通過積分 $E(k_x, k_y, f)$ 或直接從任意點 $z(x, y, t)$ 測量樣本求得。

本研究使用的碎波偵測方法結合了自動泡沫識別(使用Mironov和Dulov的影像記錄，2008)，和立體影像獲取的表面高程資訊(Leckler, 2013)，Mironov和Dulov(2008)提出的圖像演算算法，設定白帽偵測的固定像素閾值來消除人類對泡沫檢測的影響，該檢測的下一步由Leckler(2013)立體影像處理獲得，獲得碎波高程和速度，考慮到泡沫在影像中色塊隨時間的演變，我們將其分為主動或被動碎波，當白色像素的數量隨時間擴展並且以超過1m/s的速度移動時，它被認為是主動碎波，由此可以研究頻率高於1.5 Hz的宏觀碎波，然而在這項工作中，只關注在產生大泡沫色塊的風暴事件中觀察到的較大碎波。

為驗證立體影像系統和X波段雷達的觀測結果，在50m水深處佈置

了一個聲波感測器(AWAC)來量測波高、週期和波向，然而，在一些風暴過後設備被摧毀。因此，為了評估三維軸向的預期量化誤差，應用了Rodriguez和Aggarwal方法(1990)。垂直的量化誤差以2-D圖顯示(如圖3.14)。

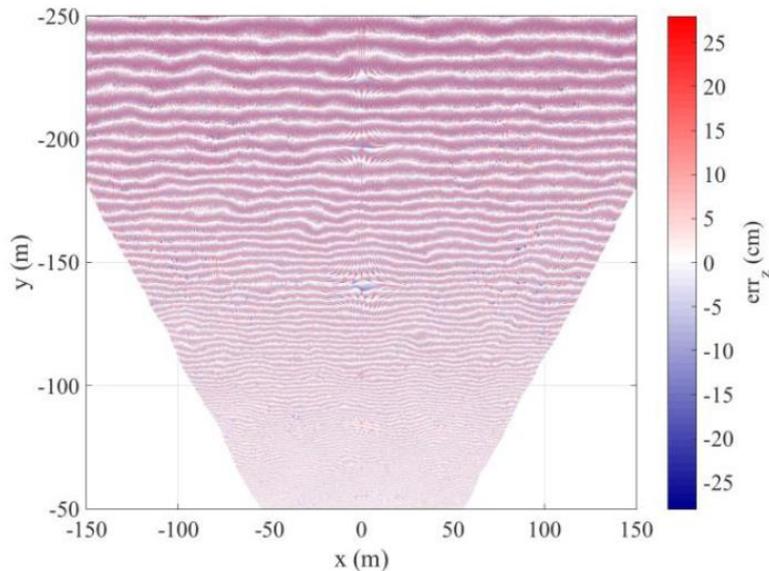


圖 3.14 影像觀測海面高程誤差圖

X波段船用雷達可用於觀測海面波浪在空間和時間資訊，因此可以測量表面波特徵，如波長與相位速度，從而可以測量表面流(Senet等人，2001、Huang等人，2016)，表面流由觀測到的相位速度差異得出，而相位速度由表面波的頻散關係式給定，對從表面漂移海洋雷達取回的表面流的進行的深入驗證，顯示均方根誤差小於0.04 m/s(Lund等，2018)。

在2017年12月至2018年3月期間記錄了幾次風暴事件，最重大的一次發生在2018年1月3日至4月4日，在這些日子裡，在潮汐的不同階段記錄了8次採集，示性波高(Hs)在7.2m~10.51m之間，下表3.2中列出了相機在這些日子中捕獲主要風暴事件的波浪參數。

表 3.2 主要暴風事件觀測紀錄表

Date	Hs [m]	Tp [s]	U [m/s]	U10 [m/s]	Hmax [m]	>1.2Hs [%]
2018/01/03 09:39:38	10.03	13.3	0.77	17.9, W	20.12	3.7
2018/01/03 10:30:51	10.51	15.4	0.69	15.5, W	22.02	2.1
2018/01/03 11:09:47	8.33	12.5	0.36	15.5, W	12.43	1.4
2018/01/03 11:54:37	9.63	12.5	1.08	15.5, W	16.60	2.0
2018/01/04 09:40:17	7.34	11.1	0.65	15.0, W	15.09	4.5
2018/01/04 10:45:19	7.18	10.5	0.79	14.7, W	14.7	2.2
2018/01/04 11:43:01	7.52	11.1	0.52	14.7, W	19.69	1.4

最令人印象深刻的碎波事件之一是在2018/01/03 09:38am拍攝，這個特殊的波高約19m，波浪直接在燈塔結構上破碎(圖3.15)，水垂直漂移上立體攝像機至約42m高，在這特殊事件中，Filipot等人(2019)觀察到燈塔頂部的水平加速度超過2m/s，這是由於的波浪經過燈塔結構荷載造成的。

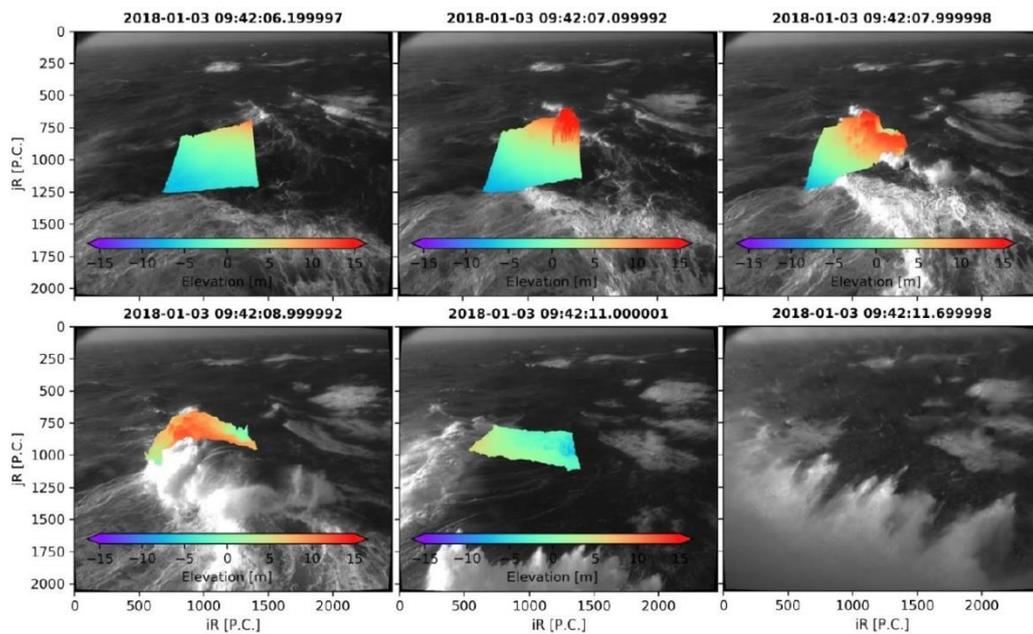


圖 3.15 極端波浪之碎波偵測範例圖

在這個實驗中，在相機前面記錄了幾個超過15m(從波峰到波谷)的碎波，觀測到的最大波高約22米，以超過1.2H_s的波高來量化瘋狗浪的百分比(Benetazzo等，2017)，在中低潮之間觀察到最高比例的瘋狗浪。為了更仔細地觀察在La Jument周圍發生的最大和瘋狗浪的可能性，使用立體影像數據集來分割波峰周圍的海面區域(Benetazzo等人，2018、2015)，圖3.16顯示了單一瘋狗浪的最大波峰高度(C_m)大於1.25H_s的例子，這一波高記錄在離燈塔約80m處，在平均海平面以上18.1m處達到峰值，波峰到波谷的高度為24m。

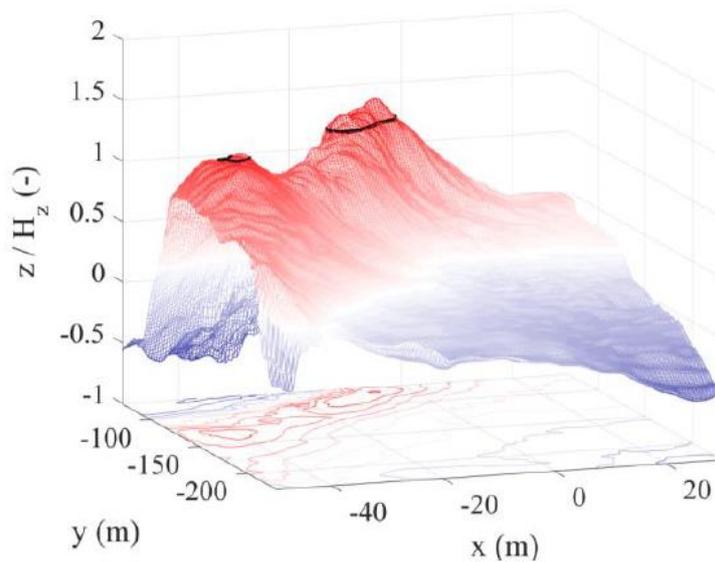


圖 3.16 以示性波高標準化之海面高程圖

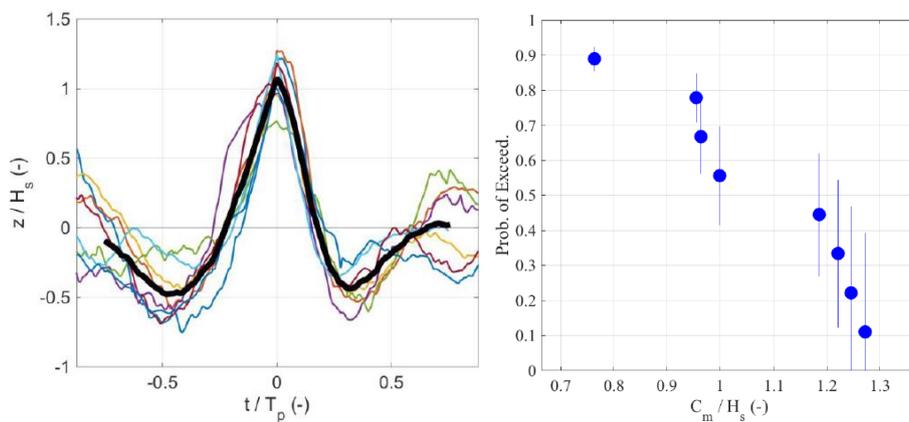


圖 3.17 觀測波形標準化與超越最大波高機率圖

圖3.17顯示了在2018/01/03在UTC時間09:39am記錄的波形，波峰高於0.7Hs，高達1.45Hs(平均1.06Hs)，與典型的開放水域海浪相比，觀測到的所有波峰非常陡峭(波峰到波谷的半週期約為3.6秒)並伴有圓形和淺波谷，因此最低波谷與最高波峰之間的比例平均為0.3，在最大高程附近，波浪剖面似乎有明確定義的形狀，與Slepian模型(Lindgren, 1972)的預測以及之前在海洋環境中使用立體相機的實驗結果一致(Benetazzo等, 2017)。對於這些海況，我們量測的波浪方向相反的海流達2.5 m/s，因此，有助於波浪的尖銳和Hs增加的觀測，考慮到兩次紀錄之間幾乎均勻的近海波浪條件，海流可能是觀察到的大部分波浪尖銳與Hs增加的原因，這可能不是唯一的解釋，仍需進一步調查，雖然這可能與風暴事件間的碎波統計數據和能量消散直接相關，然而，對燈塔前方觀測到大的碎波分析仍在進行中。

該實驗的主要成果仍未到來，未來期望從這些結果中能估計由大的碎波而消散的能量，包括發生的統計數據及其相關的波浪幾何形狀，這是了解風暴事件中能量平衡的一個關鍵，在深水中，已知非線性群調變(例如Boudiere等, 2013)被認為是主要波浪破碎的主要驅動過程，在淺水中，當波浪高度達到水深一定比例時，波浪的淺化和縮短導致波峰不穩定性和破碎(例如Catalan等人, 2011)。然而，在中間水深中，這兩種效應可能是競爭性的，並且在這種情況下關於碎波性質知之甚少。

La Jument燈塔的立體影像實驗提供了一個獨特的資料集來研究極端事件中的波浪作用。在2017至2018冬季期間，記錄了幾次風暴的通過，其中示性波高超過7m，波浪高度達到20m，觀察到的許多極端碎波被歸類為瘋狗浪，儘管「正常」的碎波已經很大，先前的觀察顯示，研究極端波浪破碎以及波水流交互作用的潛力很大，此處提出的結果仍然是初步的，但第一次分析強調了進一步了解極端條件下海面動力學的重要性。該實驗在今年初冬季改進後再次部署，期望未在風暴事件期間進一步觀測。

3.3 海岸保護相關研究

本研討關於海岸保護研究的論文，其中「Sediment Grain Size Distribution behind a Detached Breakwater in Bengkalis Island Indonesia」(印尼Bengkalis島離岸堤後漂沙粒徑分布研究)，由日本的Basir、Hiraishi等人共同發表，以現場調查與數值模式分析離岸堤後之漂沙侵淤行為，頗值得參考。

該研究從現場調查評估和數值方法討論於離岸堤後的沉積物粒徑分佈，安裝在Bengkalis島北部的現有離岸堤稱為Selatbaru海岸，以地面調查和攝影測量組成的地理資訊為基礎，對於粒徑測量，使用影像和雷射分析方法，選擇Xbeach的一維跨海剖面模式，該模型可用來定義空間變化的沉積物粒徑，通過此功能，可以模擬在各種粒徑條件下，灘線對波浪與潮汐作用之反應，分析現場調查活動與沈積物粒徑分佈數值模擬之間的關係將有助於確定海岸侵蝕的恢復過程，特別是在印度尼西亞Bengkalis島的熱帶海岸。

Bengkalis島距離主要島嶼Sumatra海岸8公里，位於馬六甲海峽西側，土地總面積約為900平方公里，其中70%以上的土地被泥炭土覆蓋，厚度超過1米，該島地勢低窪、沼澤，泥炭形成，降水量大。當Bengkalis島受到侵蝕導致海岸線撤退時，特別是在與馬來西亞直接相鄰的海岸線上，問題開始出現，嚴重的海岸侵蝕一直是個重要議題，紅樹林具有禦海岸侵蝕的天然屏障的功能，由於當地將林地轉為各種其他形式利用，包括農業、城市、工業發展，因此目前該地區的狀況受到嚴重侵蝕，當地政府除了開始保護紅樹林外，亦已採取措施，在2015年建造離岸堤來減少侵蝕速率，其中一處在Selatbaru海灘建造，從2017年7月和2018年3月拍攝的航拍圖像中，發現離岸堤後紅樹林的增長率超過了220% (見圖3.18)。最明顯的增長發生在海岸線附近，此結果表明，由於離岸堤構造而發生沉積，因此可在離岸堤周圍區域種植紅樹林，以減少海岸侵蝕，如上所述，離岸堤在保持沉積物輸送速度和沈積物沉積速率方面起著至關重要的作用，為紅樹林樹木的生長創造了良好的環境。

FIELD SITE

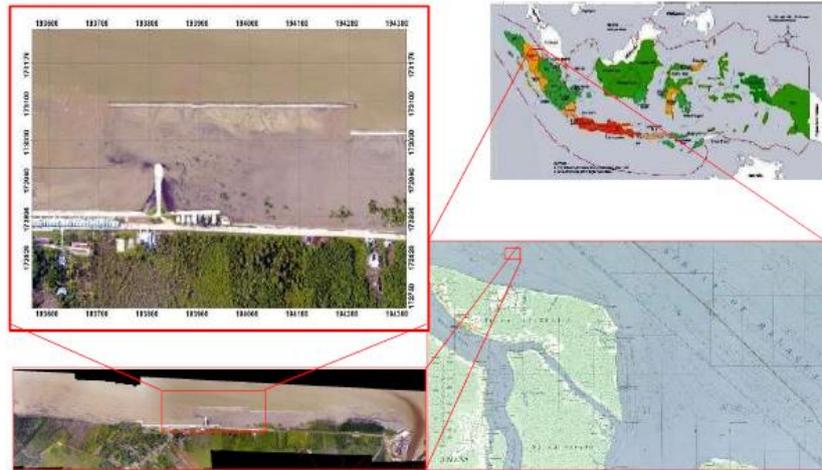


圖 3.18 研究區域圖

進行現場取樣測量以獲得粒徑分析數據，並採用篩分析雷射測量，使用樣品芯進行土壤取樣，並在分離的防波堤後進行，選擇9個點作為粒度分佈的代表，如圖3.19中可以看到九個採樣點位置，在擾動條件下，在0-50cm的深度進行沉積物取樣，取樣土壤以篩分析與雷射光測量粒徑，測量結果如圖3.20，根據空拍機攝影結果顯示，離岸堤後紅樹林區域增長超過220%(圖3.21)。



圖 3.19 堤後土壤採樣位置圖

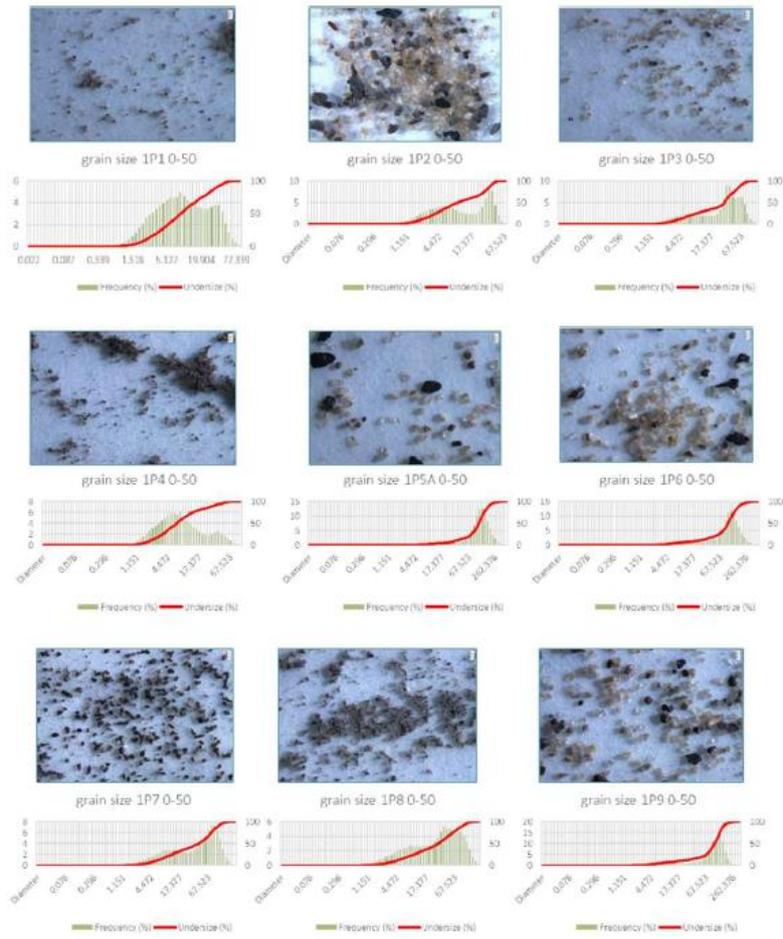


圖 3.20 粒徑分析與雷射測量結果

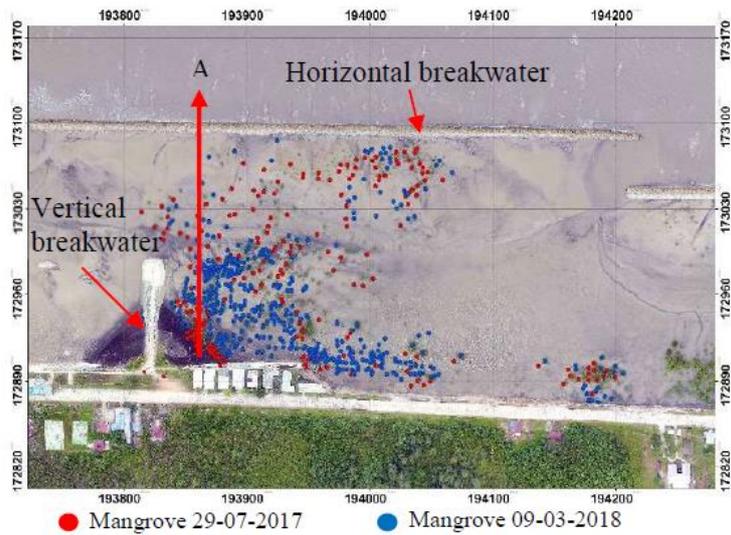


圖 3.21 離岸堤後紅樹林成長圖

圖3.21顯示紅樹林生長密集區域接近海岸，這是因為圖中左側突堤附近大量的淤沙。從離岸堤至岸邊的區域為陰影區，沿海泥沙傳輸是波浪和海流的函數，以及漂沙提供，與間隙相對的海岸線直接受到波浪折射的影響，隨後是漂沙的攪動，漂沙移動可能導致侵蝕，在圖3.22中，白色柱表示沉積，黑色柱表示侵蝕，結果是，在有突堤的情況下，我們觀察到沉積物的侵蝕。

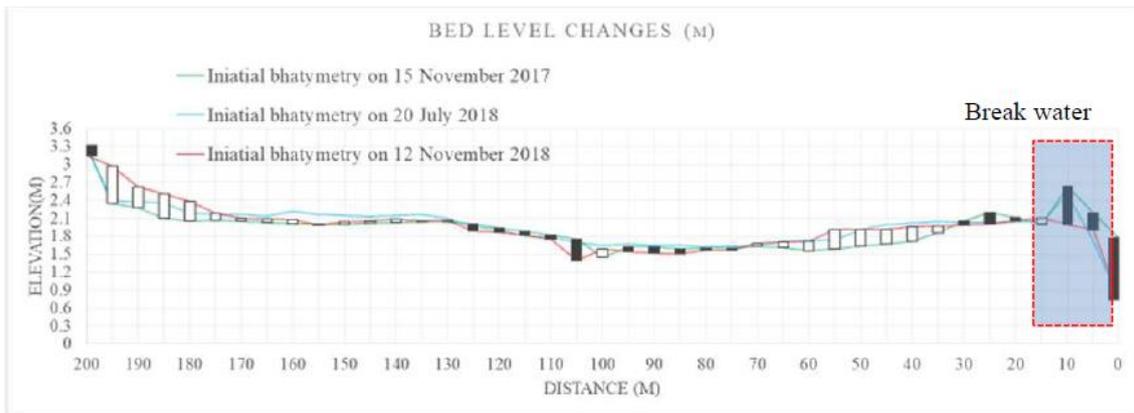


圖 3.22 沿圖 3.21 斷面 A 之底床高程變化測量結果

XBeach模型 (Roelvink等人, 2009) 最初設計用於模擬風暴對沙丘和離岸沙洲的影響，它結合了波浪作用平衡和非線性淺水方程式來解決高頻和低頻波動，由輻射應力控制的波浪模式用於描述長波，漂沙運移由平流-擴散方程式模擬，潮汐和波浪是最重要的兩個水力因子，當深水波向海岸線傳播時，會經歷折射和淺化，波浪防波堤的位置可能已經開始破碎，當波浪沖經過防波堤時，波浪能量會通過防波堤上的碎波而消散，在防波堤處，一部分波浪能量將被反射，另一部分將被消散在防波堤的表面上，剩餘部分將透過溢流或通過該結構而傳播(Khuong, 2016)，當設置離岸堤時，一部分的海岸線將會淤積，一些部分可能遭受侵蝕。Xbeach模型在海上邊界通常受到波浪的驅動，對於波浪和水位數據，從安裝在研究區域的波高計獲得(見圖3.24)，Xbeach模型計算流程如圖3.23所示。

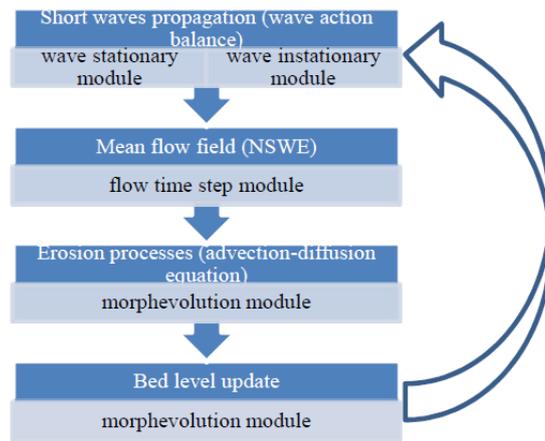


圖 3.23 Xbeach 模型計算流程

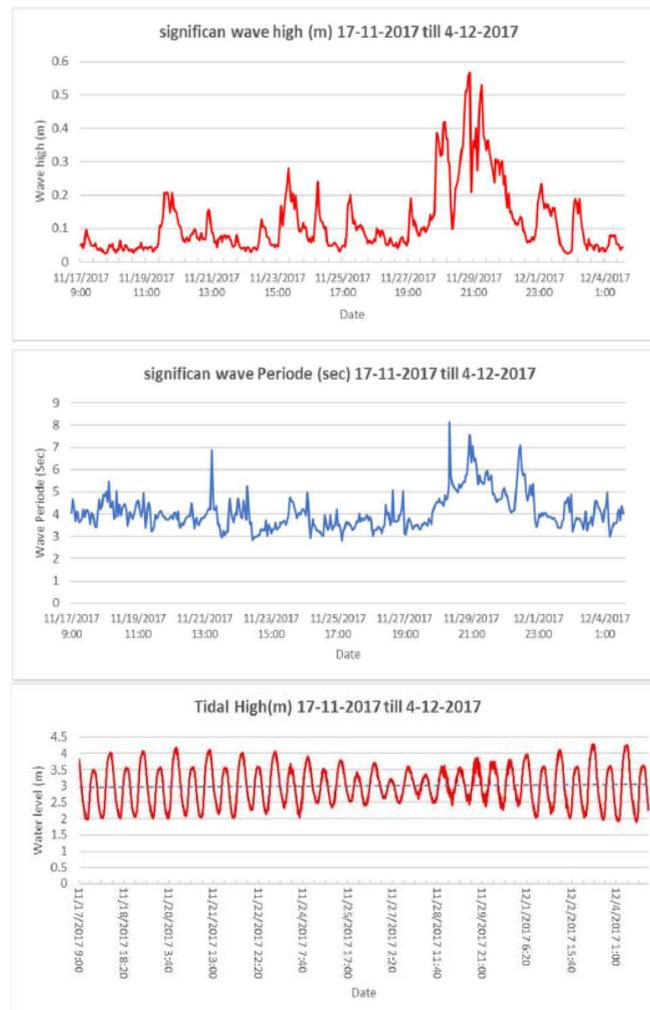


圖 3.24 波高計量測之示性波高、週期、潮位歷線圖

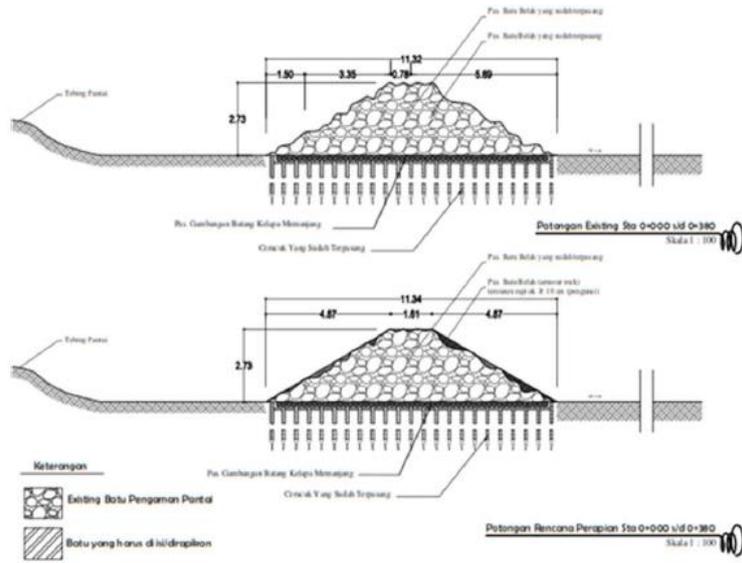


圖 3.25 離岸堤至岸邊剖面示意圖



圖 3.26 Xbeach 模式驗證結果

在12小時模擬與2017年11月15日和2018年11月12日水深測量後，以 case 1對初始建模工作(以圖3.25為建模依據)進行模型驗證，結果如圖 3.26所示。驗證結果表明，侵蝕和淤積的趨勢線表現出相同的特徵，即在離岸堤趾處發生侵蝕，淤積主要靠近海岸線，由驗證率定模型參數後，進行不同粒徑大小作為案例後續分析。

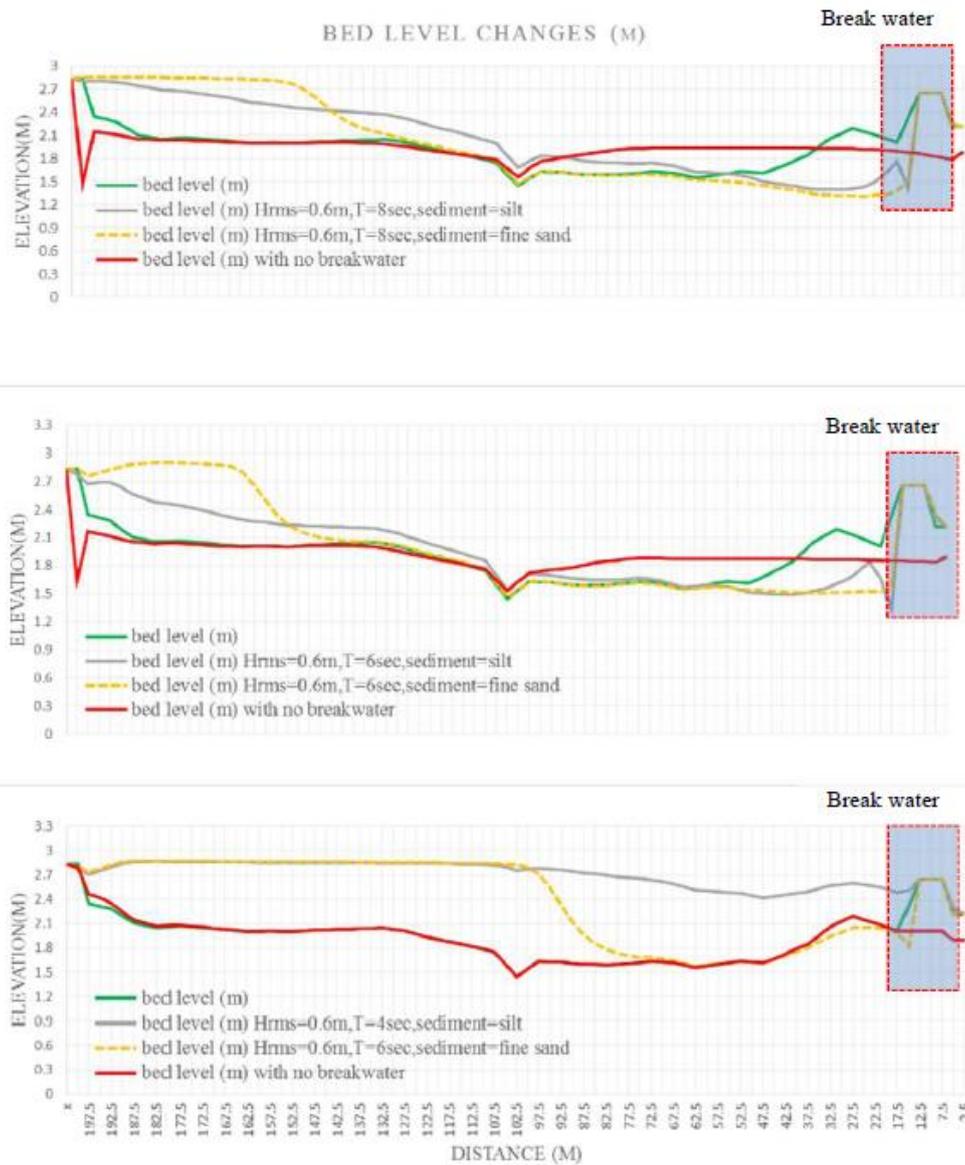


圖 3.27 底床高程變化模擬(上為 case1,4、中為 case2,5、下為 case3,6)

觀察到模擬結果變化對波浪週期和漂沙粒徑大小敏感，特別是底床高程變化。圖3.27中的初始床層輪廓由綠色實線表示，灰色表示淤泥，橙色表示沙。含有淤泥的模擬顯示出海岸線附近區域隨波浪週期的明顯變形；細砂模擬中的變形出現在海岸線周圍區域(x=200m至132m之間)，且變形程度大於淤泥，模擬淤泥(灰線)的case 3和case 6的最終床型傾向於平坦，並且顯示在離岸堤和海岸線之間發生沉積。

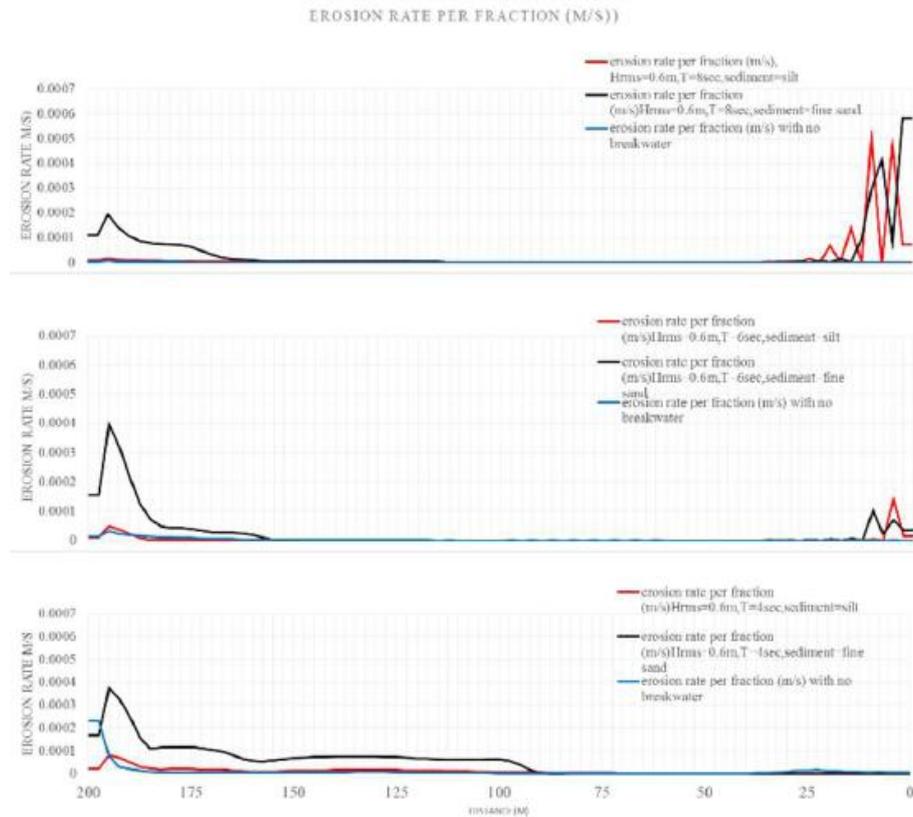


圖 3.28 侵蝕速率變化模擬(上為 case1,4、中為 case2,5、下為 case3,6)

為了進一步了解底床高程變化，圖3.28顯示了海岸的侵蝕速率，在細砂模擬中海岸線周圍區域(x=200m至165m)之最大侵蝕速率接近 4×10^{-4} ，對於淤泥，最顯著的侵蝕速率發生在離岸堤趾附近(x=30至x=50m)，侵蝕率約為 5.5×10^{-4} 。

該研究調查了離岸堤後的漂沙淤積的粒徑分佈，找出了漂沙侵蝕、淤積與紅樹林棲息地之間的相關性，使用在實地研究期間收集的流體動力學和地形條件主要數據，在Xbeach中創建一維數值模式，該模式能夠顯示灘線對各種參數(如粒徑和水位)變化的反應，驗證初始模型顯示了良好的結果，通常，侵蝕傾向於發生在離岸堤的堤趾附近並且在海岸線附近淤積，這項研究的結果解釋了海岸線上紅樹林的生長情況，除了阻擋外海波浪外，離岸堤還可以創造有利於紅樹林發育的新環境，因此離岸堤具有雙重功能，可保護海岸免受侵蝕危害。

3.4 其他相關研究

本次參與研討會，亦有學者分享關於海嘯之研究論文，題為：「Short-wavelength Tsunami Observation Using Deep Ocean Bottom Pressure Gauges」(運用深海海底壓力計觀測短波海嘯)，該篇論文由日本學者Yamamoto發表，從深海壓力計與海嘯預報系統探討短波海嘯。

深海海底壓力計可用於海嘯觀測，其對海嘯預報系統和海嘯理論認識有相當大的幫助，在這些研究，通常於長波近似條件下使用簡化的比例關係，海底壓力變化和海嘯波高之間成線性比例，然而，海底壓力變化透過海嘯波波數和水深乘積而衰減，為計算此衰減的影響，該研究探討即時海嘯預報中的短波海嘯。

近海海嘯觀測網分部廣泛，如太平洋海嘯警報中心(Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, DART)，極大地提高了對海嘯傳播的理論認識，例如確認頻散波(dispersive waves)存在。截至2019年3月，DART在全球海洋上設有51個站(如圖3.29)，在位於曾在歷史產生過破壞性海嘯的地區，以進行實時海嘯預報。各站位於水深範圍約在2,000米至6,000米(表3.3)，此外，最近密集的海上觀測網有助於發展的實時海嘯預報系統來降低災害損失，這些觀測網由許多海底壓力計組成，透過衛星網路或光纖電纜連接，以實時傳輸數據。

舉例來說，用於地震和海嘯的密集海底網絡系統(DONET，如圖3.30)由日本海洋研究開發機構(JAMSTEC)建造，並於2011年8月開始觀測。DONET由熊野灘(Kumano-nada)和(Kii Channel)的51個站點組成，用於監測南海海溝地震和海嘯，這些測站位置的水深約為1,000公尺至4,500公尺。數據實時傳輸到研究機構和大學，並提高日本氣象廳(JMA)的地震預警和海嘯預警精確度，DONET目前由國家地球科學和災害恢復研究所(National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, NIED)營運。

表 3.3 DART 觀測站於各水深範圍分布表

Depth range	2,000-3,000 m	3,000-4,000 m	4,000-5,000 m	5,000-6,000 m
Number of stations	9	12	16	14

see https://www.ndbc.noaa.gov/dart_metadata/dartmeta_public.php

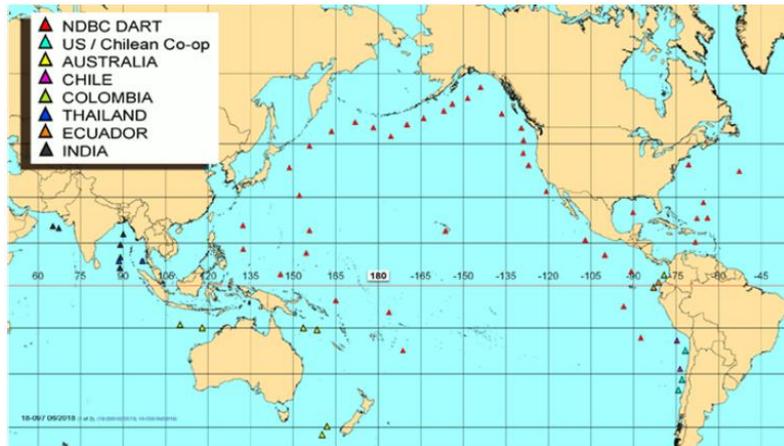


圖 3.29 DART 觀測站位置圖(NOAA 提供)

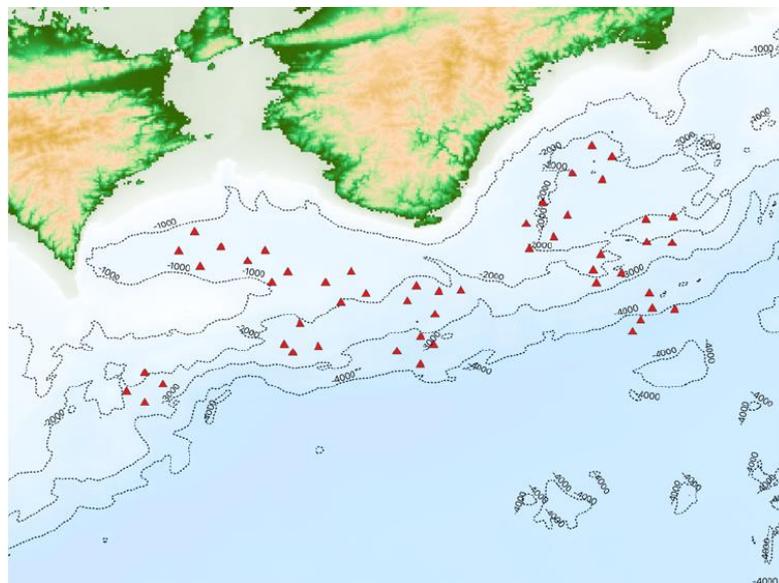


圖 3.30 日本 DONET 觀測站位置與水深等值線圖

NIED還建構了一個更密集的觀測網，稱為地震和海嘯的海底觀測網路(S-net)，如圖3.31所示，S-net由150個觀測單元組成，S-net是一條

密集的大型的離岸觀測網，沿著日本海溝和千島海溝，從北海道到千葉縣外，每個觀察單元位處水深100公尺至7900公尺，每個觀察單元具有兩組三分量伺服式加速感測器，一組三分量石英型加速感測計，一組三分量速度地震計。此外，還安裝了兩套石英型深度傳感器作為海嘯計。這些海底壓力計具有高垂直解析度(約1mm)和高取樣率(10Hz)。Nakamura等人在2018年的研究提到，這些觀測網能夠偵測到2017年9月8日墨西哥海岸發生的規模8.1地震引起的小海嘯，並利用S-net和DONET來傳播通過太平洋海底壓力數據記錄。



圖 3.31 日本 S-net 觀測站分布圖

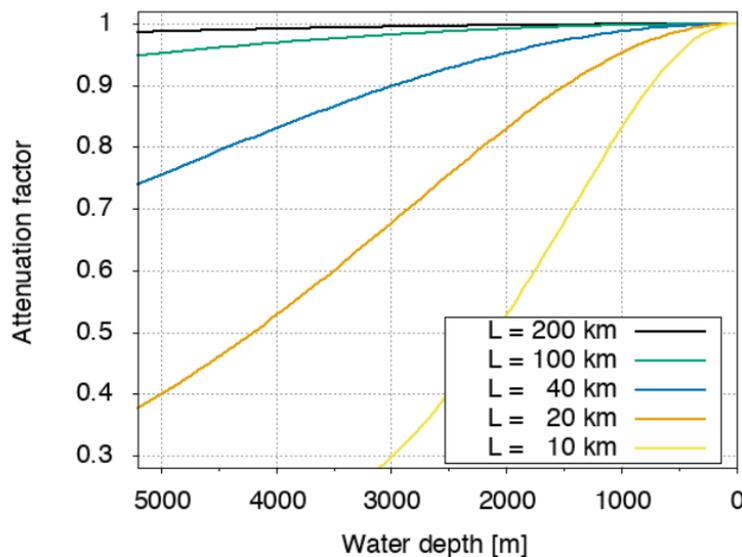


圖 3.32 衰減因子與海底水深關係圖

該研究根據線性勢能理論，海底壓力變化 ΔP 應透過衰減效應來平滑(衰減因子為波數與水深的函數)，該研究用線性勢能理論描述此衰減效應，並研究了觀測到的海嘯波形的影響(包括頻散波)。此外，討論海嘯預報演算法的效果，圖3.32顯示了不同波長下衰減因子與海底水深的關係，波長為幾十公里的短波海面擾動(圖3.32中的橙色和藍色曲線)受此衰減影響，例如，海底壓力變化的衰減係數降低至約50%對於波長20公里(在圖3.33橙色曲線)，對應於80.6秒的波形的波浪週期。在水深為4000公尺處，發生一個波長10公里的短週期波(例如82.6秒)，經過位於3000m深度的深海底壓力計上強烈衰減(圖3.32中的黃色曲線)。

2016年薩爾瓦多-尼加拉瓜外海地震(Mw 6.9)的地震海嘯發生在2016年11月24日18:43(UTC)，此地震海嘯由中美洲以外太平洋的深海底壓力計DART 32411觀測記錄，由頻散波組成(Tanioka等，2018)。根據海嘯波形的頻散特徵，比較模擬與觀測的頻散波形，估計斷層長度和寬度分別為30和15 km，然而，他們沒有考慮衰減效應來模擬DART 32411站記錄的海底壓力變化，該站位於3,284公尺的水深(圖3.33)。從圖3.32可看出，當波長L小於40km在3000m水深處時，衰減因子小於0.9，此外，如果海嘯由在該深度處具有大約L=10km的短波長分量組成，則衰減因子為0.3。

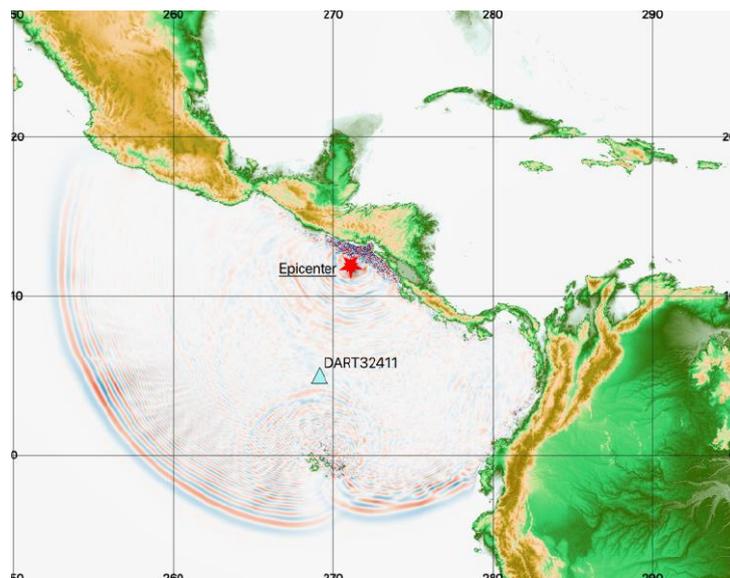


圖3.33 薩爾瓦多地震震央位置與波高分布圖

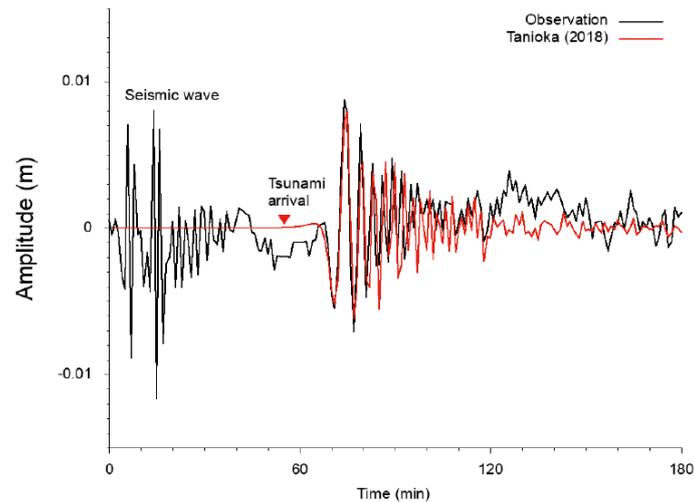


圖 3.34 DART3241 站之觀測與計算波形比較

海底壓力計DART 32411記錄的海嘯波形如圖3.34(黑色曲線)所示，通過去除全球潮汐模式推估的潮汐變化(NAO.99b模型，Matsumoto等人，2000)並應用了4,000秒的低切濾波器，以消除觀測記錄的差異和估計的理論潮汐變化值，直到地震發生後約20分鐘，第一次擾動為和高頻振盪地震動引起的Rayleigh波，在約40至60分鐘，觀察到的波形中，存在一未知的長周期波動。這些誤差能夠消除，是因為在地震發生大約60分鐘後開始產生第一次負的大浪海嘯。為了計算2016年薩爾瓦多-尼加拉瓜外海地震引起的頻散波，Tanioka等人(2018)提供了最佳的斷層參數，接著需要解決線性Boussinesq方程式，為求解Boussinesq方程式，該研究使用AGURS程式（Baba等人，2015），在觀測到的海上波形和合成頻散波形之間提供了良好的一致性(Baba等人，2017)，利用通用海洋水深圖(GEBCO)提供之2014年版，解析度達全球30角秒網格水深數據於海嘯之數值模擬。

計算DART 32411站的海嘯波形後，其斷層長度和寬度分別為30和15km，計算出的海嘯波形如圖3.35所示，計算出的海嘯波形似乎與Tanioka等人的波形一致。我們還確認模擬的頻散波形可很好地代表了觀測波形，然後，使用由JAGURS計算的波形模擬衰減波形。

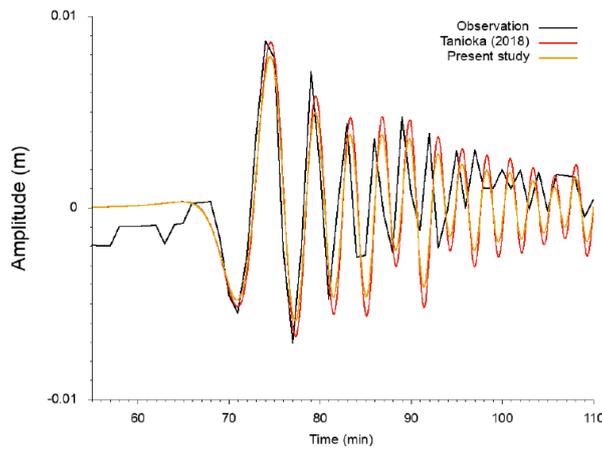


圖 3.35 觀測與原始計算、衰減波形比較

衰減的波形如圖3.35所示，由圖可知，我們確認第一個負向和下一個正向計算波(紅色)的幅度衰減(橙色)幾個百分點。因此，估計的滑動量應該增加幾個百分比。斷層長度為30 km的計算最佳斷層模型的地震矩為 $3.28 \times 10^{19} \text{Nm}$ ，因考慮到衰減效應而不是 $3.16 \times 10^{19} \text{Nm}$ ，此外，此結果表明，2016年薩爾瓦多-尼加拉瓜地震海嘯主要由數十公里組成，因為波形在幾個百分比的範圍內衰減(圖3.36)。該結果與 $30 \times 15 \text{km}$ 的斷層大小一致，使用位於3284公尺水深處的DART 32411站，衰減效應對海底壓力變化沒有太大貢獻。然而，使用更深的DART測站位置，衰減效應將導致幾十個百分比的幅度降低，例如，如果DART站位於5,000公尺水深且海嘯波形主要由40 km的波長組成，則衰減因子為0.7(圖3.32)。

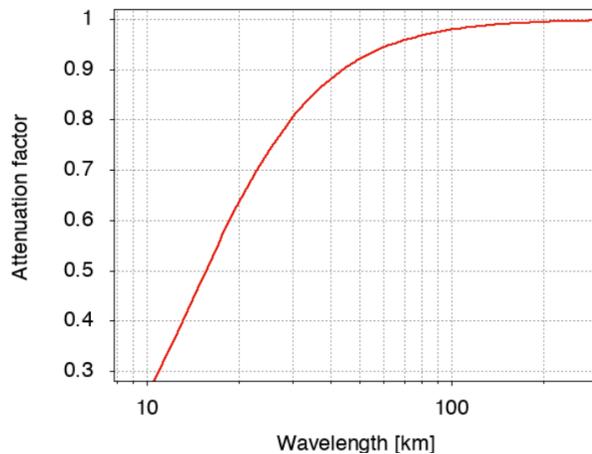


圖 3.36 DART32411 站之衰減因子與波長關係圖

四、建議

本次參與第29屆國際海洋與極地工程國際研討會，與會學者來自歐、美、亞、澳等各地超過50個國家，協會從超過1300篇投稿摘要中評選747篇接受發表，不僅參加人數非常踴躍，且能與各國專家學者就發表內容或相關議題作經驗交流，提升專業視野。議程6天共151個場次，在希爾頓飯店的國際會議會場舉辦，飯店內設有大型會議廳和許多會議室，會議室可容納數十人同時與會，雖然會議之規模龐大，主辦單位在人力及設備安排妥當，使會議順利進行。

與國內海洋相關之工程研討會相比，國際性工程研討會涵蓋面向更廣，亦能了解國際上海洋工程先進議題，藉此研討機會，可了解近來國外之研究方向與發展程度。因此，參加本次國際性之研討會對職個人業務、視野或資訊取得均有幫助與提升，總和以上心得，有以下幾點建議供參：

1. 海象預報無論是波浪或是水動力等模式，國外學者的模式應用與評估方法值得引用，但仍須針對我國港灣或近岸之局部地形審慎評估，以求能更加描述實際海象。
2. 目前職正辦理臺東海岸公路沿岸地形變遷因應對策研究，研討會中有關海岸保護領域的研究內容亦可在計畫中加入參考，以期能更完整考量緊臨公路之海岸侵蝕之議題。
3. 海象觀測數據不僅是數值模式應用的重要資訊，更是模擬預警的重要依據，針對我國重要港灣海域，建議持續投入觀測研究。
4. 參加此類大型的國際研討會，可瞭解國際上之研究之新發展，吸取專業新知，提升研究視野，對業務亦有幫助，建議鼓勵同仁參加。