

107-088-0280

出國報告(出國類別:開會)

出席 ISOPE-2018 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:謝明志研究員兼科長

派赴國家:日本

出國期間:107年6月9日至6月18日

報告日期:107年8月28日

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：41 含附件：無

報告名稱：出席 ISOPE-2018 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：

謝明志/交通部運輸研究所/港灣技術研究中心/研究員兼科長/04-26587111

出國類別：1.考察2.進修3.研究4.實習5.其他

出國期間：107 年 06 月 9 日至 06 月 18 日

出國地區：日本北海道札幌

報告日期：107 年 08 月 28 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)、大地工程(Geotechnic Engineering)、海岸工程(Coastal Engineering)、風能發電(Wind power)、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)於日本北海道札幌市主辦之第 28 屆(2018 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(2018 年) 國際海上工程研討會(ISOPE-2018) 於 6 月 10 日到 6 月 15 日在日本北海道札幌舉辦，與會人員超過千人。研討會議題涵蓋近海工法與技術、

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、造船工程等領域，與會學者來自歐美亞各地超過 50 國家，協會由超過 1440 篇投稿摘要中，評選出 747 篇參與發表，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。此次會議我國有多位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)於日本北海道札幌市主辦之第28屆(2018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(2018年) 國際海上工程研討會(ISOPE-2018) 於 6 月 10 日到 6 月 15 日在日本北海道札幌舉辦，與會人員超過千人。研討會議題涵蓋近海工法與技術、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、造船工程等領域，與會學者來自歐美亞各地超過50國家，協會由超過1440篇投稿摘要中，評選出747篇參與發表，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。此次會議我國有多位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；第三章則是研討會心得包含論文研討與參與感想概述；第四章提出本次參加研討會的建議事項。

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)所主辦的年度性研討會議，主要探討海洋工程、海底管線、海域環境變遷、極地開發等所涉及工程問題，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。成立之初共開闢了美國、英國和挪威三個辦公室，而其參加會員資格開放給對於在海洋工程及極地工程有興趣的人員，目前主要是以海洋工程和極地工程相關領域之學者專家所組成。最初會員來自30幾個國家成員，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。該協會從1991年後每年舉行年會一次，是目前世界上最大型近岸及海岸工程技術上之國際研討會，並輪流在世界各國許多主要城市舉行。其主辦國際研討會議的主要目的計有下列三項：

1. 促進近海與極地領域相關科學研究及技術的開發，並促成國際合作和共同參與。
2. 即時的提供近海與極地領域相關科學新知和資訊的交換。
3. 透過協會可以提供從事近海與極地的相關工程，在施工與維護技術上之支援。

自1991年至2018年，歷屆國際海上工程研討會議之舉辦國籍及城市則如下表1-1所示。藉由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，並可獲知與擷取別國於海洋

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。職
幸獲蒙吳前所長核准前往參加研討會，特此深感致謝。

表1-1 歷屆國際海洋與極地工程研討會舉辦國籍及城市

年度	屆次	國家	城市
1991	1	United Kingdom	Edinburgh
1992	2	USA	San Francisco, California
1993	3	Singapore	Singapore
1994	4	Japan	Osaka
1995	5	Netherlands	Hague
1996	6	USA	Los Angeles, California
1997	7	USA	Honolulu, Hawaii
1998	8	Canada	Montréal
1999	9	France	Brest
2000	10	USA	Seattle, Washington
2001	11	Norway	Stavanger
2002	12	Japan	Kitakyushu
2003	13	USA	Honolulu, Hawaii
2004	14	France	Toulon
2005	15	Korea	Seoul
2006	16	USA	San Francisco, California
2007	17	Australia	Sydney
2008	18	Canada	Vancouver
2009	19	Japan	Osaka
2010	20	China	Beijing
2011	21	USA	Maui, Hawaii
2012	22	Greece	Rhodes
2013	23	USA	Anchorage, Alaska
2014	24	South Korea	Busan

表1-1 歷屆國際海洋與極地工程研討會舉辦國籍及城市(續)

年度	屆次	國家	城市
2015	25	USA	Kona, Hawaii
2016	26	Greece	Rhodes
2017	27	USA	San Francisco
2018	28	Japan	Sapporo

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日本舉辦。會議地點位於日本北海道第一大城札幌，會議場址在札幌市區朗登飯店(Royton Sapporo Hotel)的國際會議會場(包括大型會議廳及各中小型會議室)，會場外貌及會議地點札幌市位置如圖2.1所示，由臺灣可搭班機直飛札幌新千歲機場，或飛旭川、函館等地再轉陸運抵札幌，大會建議的住宿旅店都在札幌車站及大通公園附近。會議舉行時間為6月10日至6月15日，研討會議程概要如表2-1所示。



圖2.1 會議地點

本屆研討會投稿極為踴躍，論文經委員嚴格審查後，共蒐錄來自超過50個國家747篇論文，會議註冊及大小型專題研討共計有6天，共151個場次，本次會議議場朗登飯店，外觀建築氣勢宏偉，其2至3樓設置各式規模會議室，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，會場簡約隆重，雖然會議之規模龐大，但議事安排順暢，支援人力及設備充足，會議之進行十分順利。會議開幕典禮於2樓大廳舉辦，現場報到地點設在會場2樓大廳前，圖2.2為報到台前留影照片，大會開幕典禮現場照片如圖2.3及圖2.4所示。

表2-1 會議議程概述表

日期	議程概述表
6月10日	報到
6月11日	開幕典禮、工程技術論文發表及研討會議
6月12日	論文發表及研討會議
6月13日	論文發表及研討會議、研討會晚宴
6月14日	論文發表及研討會議
6月15日	研討會閉幕



圖2.2 現場報到台前留影

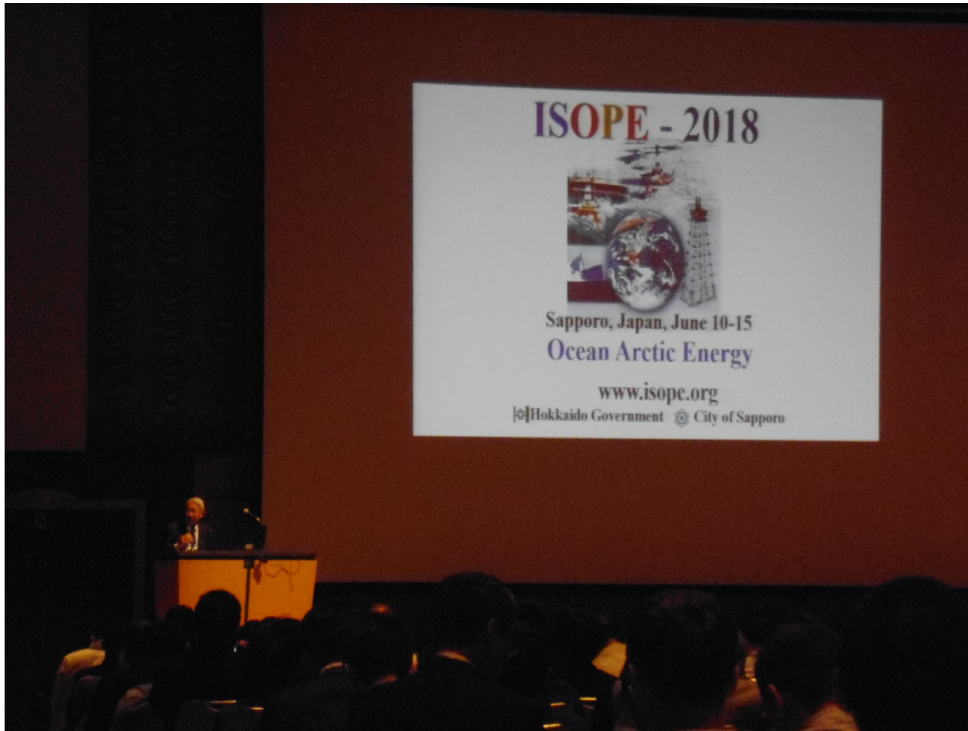


圖2.3 會議開幕典禮現場照片1



圖2.4 會議開幕典禮現場照片2 (大會提供)

2.2 會議主題概述

2018 年ISOPE 國際研討會之論文，本年度包含歐美亞洲超過51

國家、747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。同時舉辦特定9場專題研討會，包括全球能源展望、中國南海開發海上平台浮托技術創建及應用、北極開發的近期發現與重要議題、離岸風機支撐結構問題探討、北極海開發的技術挑戰、鋼鐵冶煉加工氫脆化及氫捕捉技術探討、北極圈運輸規劃建構、蘇俄極區再生能源的利用前景、日本甲烷水化研究發展現況等研究探討。

茲將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、颱風暴潮、透水與不透水性結構、漂沙與海岸侵蝕、島礁、船舶與港灣、海岸管理。
2. 大地工程：土壤力學、土壤特性、土壤改良、軟弱土層、大地災害、土壤液化、數值模擬與分析、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：感應器及觀測、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、波力推估、數值模擬、遙測分析。

本次大會有關詳細論文集以光碟方式提供給報名人員，相關論文摘要可至<http://www.isopec.org/publications/publications.htm> 網址內瀏覽。

三、研討會概述及心得

有關本次會議內容包含海洋領域各式主題，由於會議場次眾多，僅就參與部分會議，與本所港研中心業務有關的港灣大地工程及地震海嘯防災相關研究議題，並參訪當地港灣及地標建築等心得作一分享。

3.1 海域能源探勘工程相關研究

本次參加研討會，在相關專題及演講中，第一個深刻印象是開幕典禮上大陸學者所發表的中國海洋石油工程股份有限公司(China Offshore Oil Engineering Corporation, COOEC)與其母公司-中國海洋石油有限公司(China National Offshore Oil Corporation, CNOOC)在南海油氣田開發之海上平台浮托技術創建及應用，此專題演講題目為：南中國海浮托建構技術(Floatover Installation Technology in South China Sea)，介紹了中國海洋石油產業及工程研發單位在南海海域所從事的浮托建構工程技術。

圖3.1為此專題演講的大綱，演講內容除了簡介浮托建構技術外，主要介紹4種在中國南海所使用的浮托技術，包括：T型下水大型駁船浮托技術、動態定位浮托技術、低甲板浮托技術及雙併大型駁船浮托技術，相關圖片及說明如圖3.2所示。

浮托技術是一種海上上部結構安裝方法，可以將大型平台上部結構安裝如同一個組合套件，而無需使用重型起重船機進行單元分批吊裝。自1983年該技術首次成功應用於18,600噸的生產平台上部結構的安裝以來，各種利用浮托概念的設施已被開發並陸續應用於海上各種固定和浮動平台基礎上部組合構件的安裝上，包括管架、重力式平台、張力支架平台、半潛式平台等，從早期的高甲板腳架配合單元方案，到主動/被動載荷傳遞系統和浮托駁船的各樣配置，浮托技術的發展，提供了多樣安裝以及拆卸的解決方案，可適應各種海上平台上部結構尺寸和海床條件。



圖3.1 中國南海浮托建構技術專題演講大綱

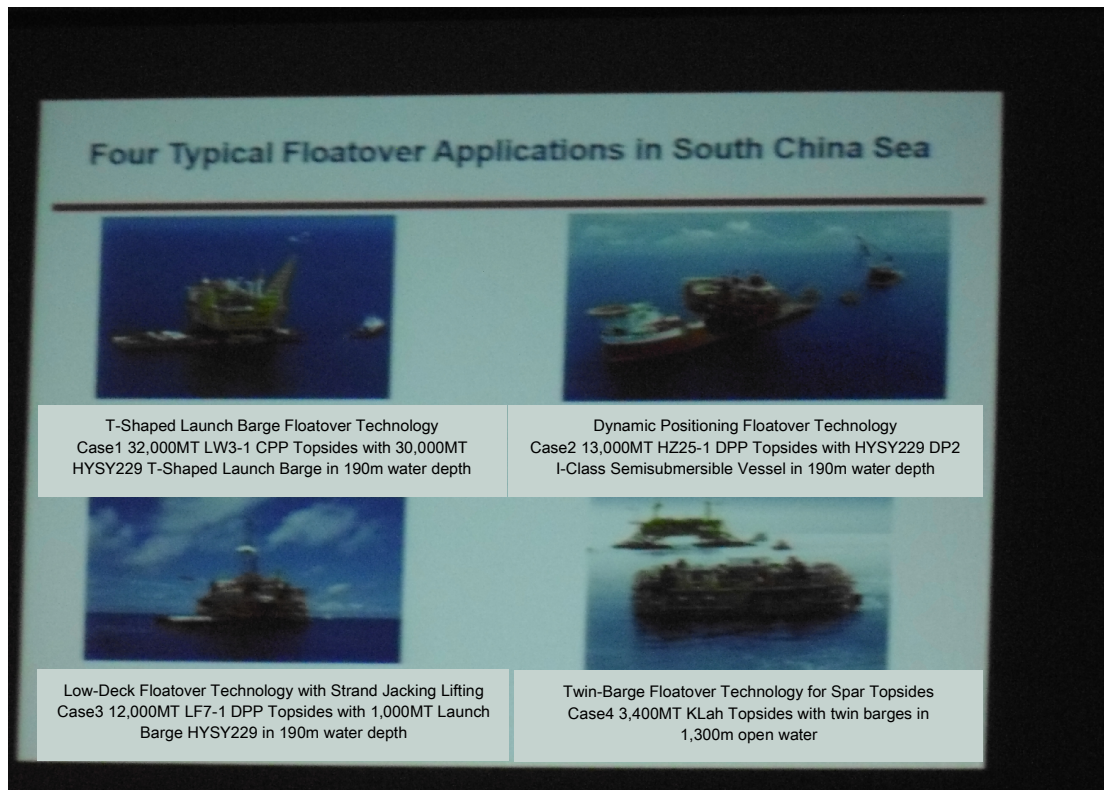


圖3.2 在中國南海所使用的4種浮托技術

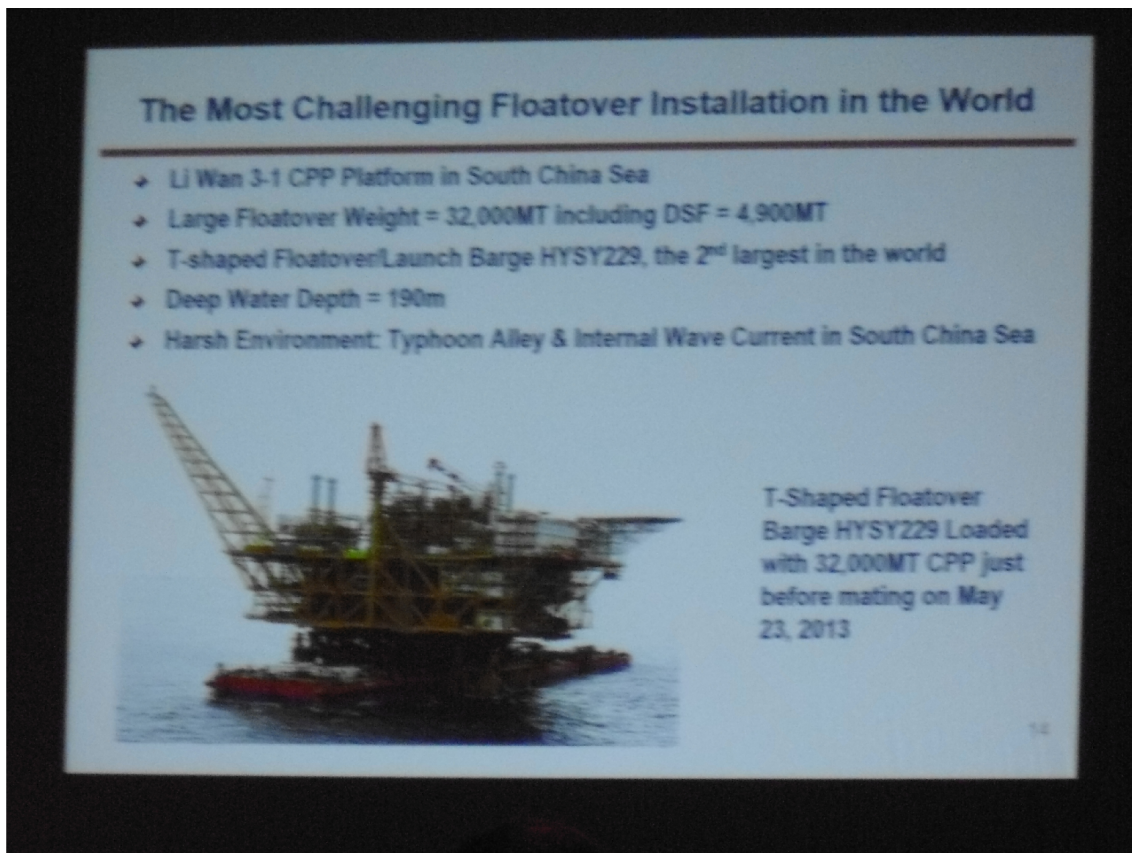


圖3.3 世界最大的浮托安裝挑戰

在這4種浮托技術的運用上，中國在南海所曾經面對的世界最大的浮托安裝挑戰，為圖3.3所示：2013年南海荔灣3-1中心平台組塊安裝工程，該工程浮托重達3.2萬噸，甲板支撐框架(Deck Support Frame, DSF)重達4千9百噸，為中國首處1500米水深油氣產田，作業所用T型下水大型駁船HYSY229為全球第二大，且作業環境嚴峻，須面對南海颱風路徑及內部的強大波流。開發團隊面對重大挑戰及各方質疑，終能成功開採出深水油氣，誠如雙贏雜誌所言：荔灣3-1實為中國深水油氣產田人才隊伍初長成（雙贏，2014年8月，張光明）的重大里程碑。荔灣3-1中心平台組塊安裝施工現場照片如圖3.4所示。



圖3.4 荔灣3-1中心平台組塊安裝施工(取自雙贏-中國海洋石油公司
2014年8月-李佑坤/攝)

荔灣3-1深水氣田能順利生產，其中「海洋石油981」深水鑽井平台(如圖3.5所示)在荔灣3-1深水氣田開發過程中扮演了極為重要的角色，該鑽井平台創造了6個世界第一：

1. 首次採用200年頻率的風浪參數加上南海內波作為設計條件，大大提高了平台抵禦災害能力。
2. 首次採用3000米水深範圍DPS3(Dynamic Positioning System, level 3)動態定位、1500米水深範圍錨泊定位的組合定位系統，這是優化的節能模式。
3. 首次突破半潛式平台可變載荷9000噸，為世界半潛式平台之最，大大提高了遠海作業能力。
4. 中國大陸首次成功研發世界頂級超高強度R5級錨鏈，引領國際

規範的製定。同時為節約大量費用，也為大陸供貨商走向世界提供了有利條件。

5. 首次在船體的關鍵部位系統地安裝了感測器監測系統，為研究半潛式平台的運動性能、關鍵結構應力分佈、錨泊張力範圍等議題因此建立了系統化的海上科研平台，為大陸在半潛式平台應用於深海的開發提供了更寶貴和更科學的設計依據。
6. 首次採用了最先進的安全型水下防噴器系統，在緊急情況下可自動關閉井口，能有效防止類似墨西哥灣事故的發生。



圖3.5 「海洋石油981」深水鑽井平台照片

(取自中國海洋石油公司網站)

中國海洋石油公司的海域能源探勘發展策略，包括下列幾項大原則：1.公司自我發展並與國外公司合作，結合國內外成果推動發展，2.

藉由結合獨立研究及合作研究推動發展，3.組建效能強大的深海工作船隊，4.組建深海營建施工團隊，5.配合國家重大政策，6.與資本市場操作結合發展。中國海洋石油公司為一國營公司，撇開南海領海爭議，透過系列性發展介紹之下可感受到，中國海洋石油業界及研發單位在海洋資源開發的努力及成果，以及對未來規劃的企圖及策略，頗有值得師法之處。

3.2 港灣大地工程相關研究

本次研討會中有關大地工程部分的發表論文，有許多可值得研究參考的論點，在大地工程主題上所探討的議題甚多，大會雖名為海洋及極地工程研討會，但也廣泛接納一些較無直接與海洋極地相關的議題。而讓職最感印象深刻的，是其中有一篇關於轉爐石應用的論文，題目為「Strength behavior and hydraulic resistance properties of dredged marine clay stabilized with basic oxygen furnace steel slag」（浚挖海灣粘土經轉爐石穩定處理後的水力阻抗特性與強度行為），由韓國及日本學者共同發表，研究緣起是因每年全球各地在海港開發和維護航道的需求下，都浚挖出大量的粘性土壤，這疏浚的土壤被視為廢棄物，在過去幾十年中，疏浚土壤回收利用的可能性已成為一個重要議題。

另一方面，轉爐石(Basic Oxygen Furnace Steel Slag, BOS)是煉鋼過程產生的工業副產品，大部分已被加以運用，但其應用集中在土木和路基材料上，主要作為粗骨材(Coarse Aggregate)。因此，不僅有需要研究轉爐石作為骨材的回收利用，還需要擴展各種應用。

轉爐石基本上含有游離鈣(Free-CaO)，其化學成分和礦物學類似於波特蘭水泥。根據文獻，轉爐石可用作替代粘合劑或添加劑代替石灰和水泥以提高材料強度。最近在日本，經轉爐石處理的浚挖粘土已應用於沿海地區的填海造陸新生地填築和填加材料或潛堤上。儘管在日本有各種應用，但很少有關於轉爐石處理的海灣粘土的適用性研究，且沒有評估經穩定處理的海灣粘土的各種養治時間和水力阻抗性的強度發展。

本研究浚挖海灣粘土，取自日本本州西南端瀨戶內海邊的德山工業港，研究顯示，經轉爐石(BOS)穩定處理的浚挖海灣粘土，其強度行為在特定的養治時間下會發生變化，其養治可分為三個區段：非活動區(0.5至5小時)、活動區(5小時到3天)和緩和區域(3天到90天)，其養治時間與強度發展關係如圖3.6所示，其強度發展係隨著轉爐石體積含量的增加而增加，也伴隨初始含水量的減少而增加。

另外，水力阻抗特性指的是土壤的抗沖蝕能力，所用試驗設備為

德州農工大學Briaud教授所研發的沖蝕功能儀(Erosion function apparatus, EFA)，儀器概念圖如圖3.7所示，試驗係將標準薄管（外徑76mm）試體置放在矩形水槽底部，並使用活塞推動土壤試體，直到它伸入水槽1毫米，隨後測量由水槽流水引致1mm土壤侵蝕的流速，記錄不同流速(約0.3~3m/s)下的沖蝕率(mm/hr)。試驗發現，經BOS處理個的粘土，在一特定的流速下才會顯出侵蝕現象，且其可蝕性低於強度相近的一般黏質土壤。

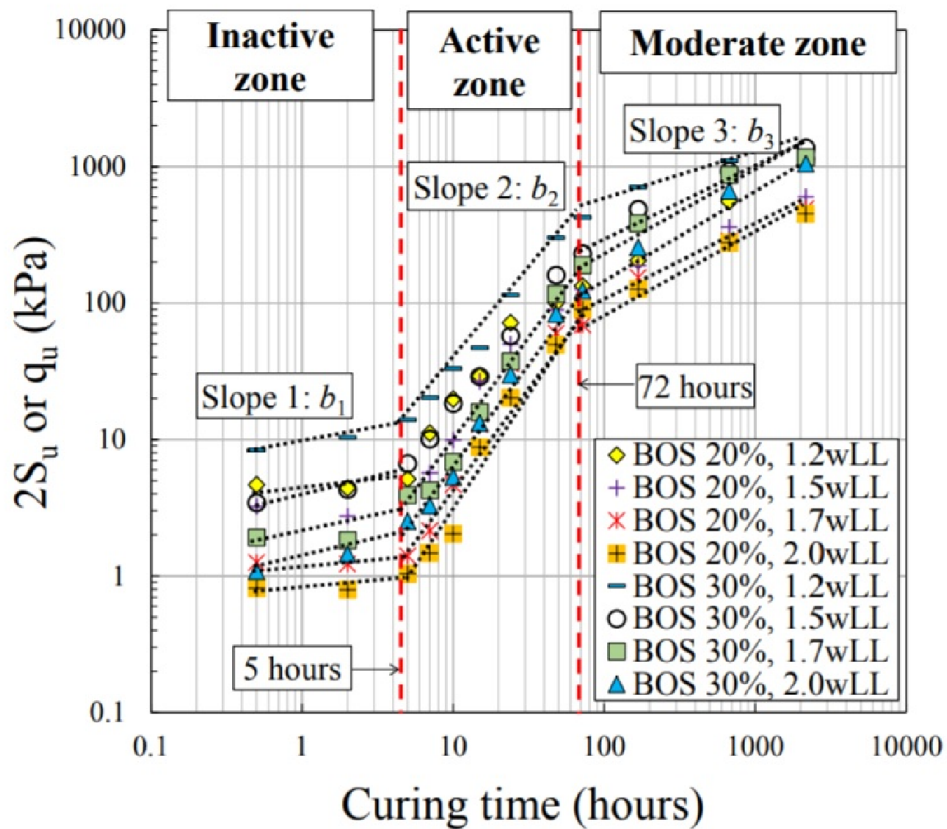


圖3.6 養治時間與強度發展對照圖

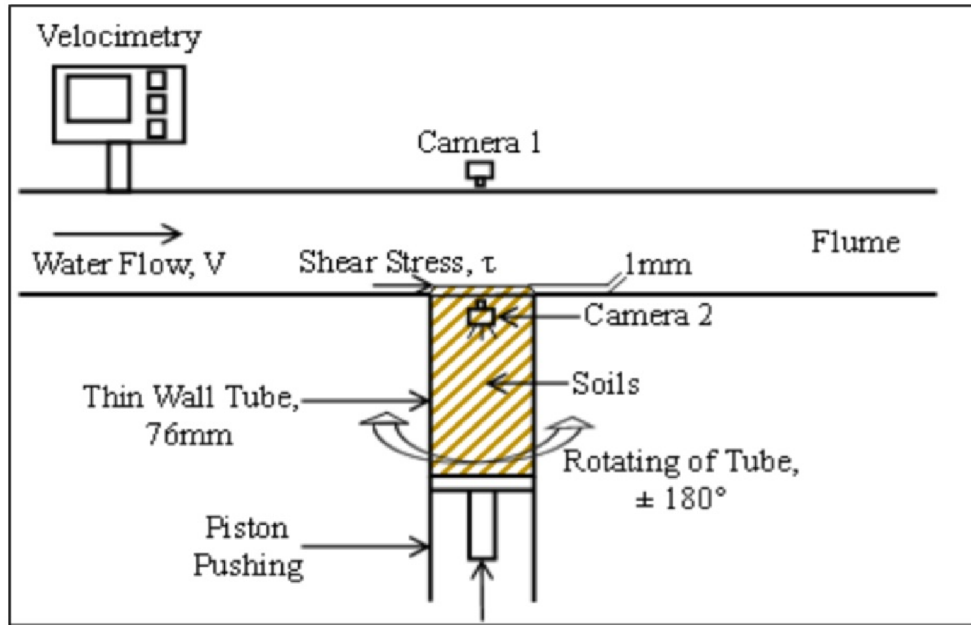
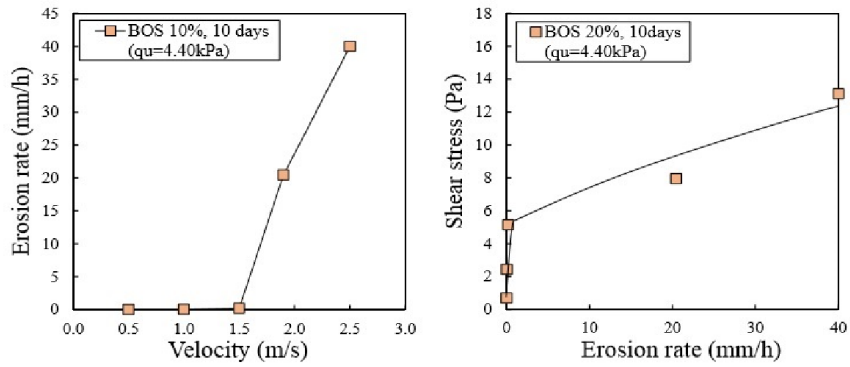
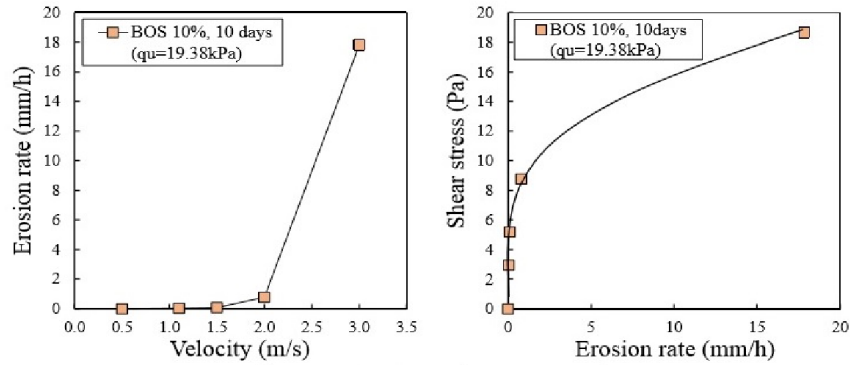


圖3.7 沖蝕試驗儀示意圖

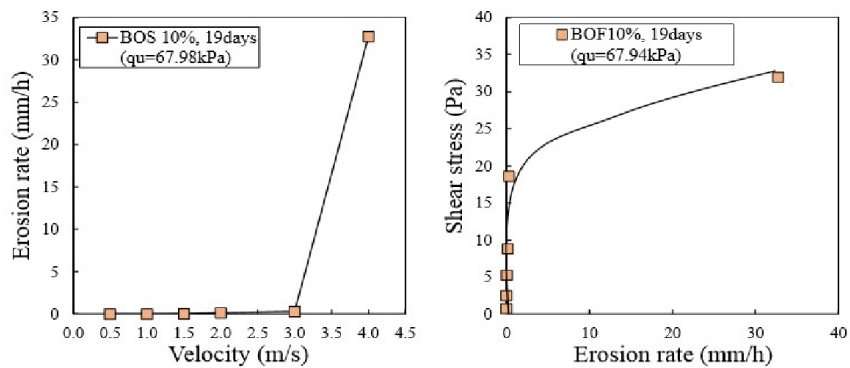
圖3.8顯示在各種強度條件下，不同流速的沖蝕率和水流剪力與沖蝕率的關係。隨著流速和水流剪力強度的增加，沖蝕會增加。這表示，除圖3.8(d)外，試體的沖蝕速率，在超過某一特定流速後會顯著增加。而通常，在固定流速下，沖蝕速率隨著轉爐石含量和養治時間的增加而降低。在不同試驗樣品中，轉爐石含量20%，養治時間10天，強度 q_u 322.34kPa，直到流速5m / s才觀察到侵蝕。這意味著與其他樣品相比，該試驗樣品對侵蝕的抗侵蝕能力非常強。



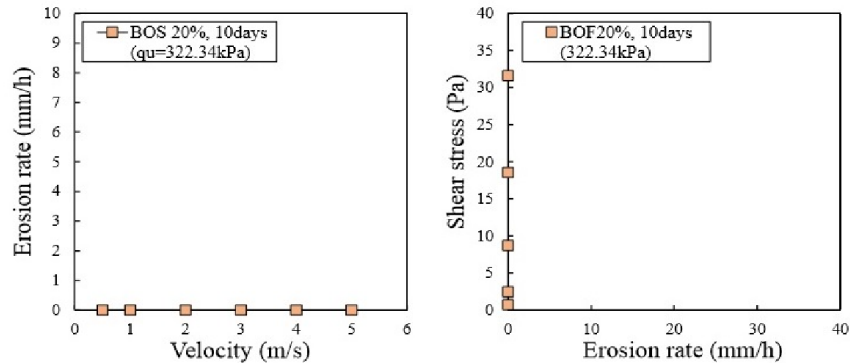
(a) BOS=5%, T=10days, $q_u=4.40\text{kPa}$



(b) BOS=10%, T=10days, $q_u=19.38\text{kPa}$



(c) BOS=10%, T=19days, $q_u=67.94\text{kPa}$



(d) BOS=20%, T=10days, $q_u=322.34\text{kPa}$

圖3.8 各種強度條件下，不同流速的沖蝕率和剪力與沖蝕率的關係

本文之所以引發興趣，是因將兩種廢棄物結合處理，覺得在全球資源日益短缺的情況下，資源回收利用，是當前一個日形重要的課題，而政府目前正大力推動煉鋼殘渣-轉爐石的再利用，並要求政府工程單位配合，但轉爐石因含有大量游離鈣，吸收水分後會使得體積膨脹增大，國工局曾在國道八號銜接西濱公路的道路工程上使用轉爐石作為土方材料，96年底完工後，約半年陸續發現路面不平整現象，研判為爐石不均勻膨脹所致，另高雄港也曾以轉爐石填築土地，發生膨脹隆起，導致樁基礎工程進行不易，故轉爐石引發的體積膨脹問題也應探討及研擬對策，以利廣泛應用，而目前工程界大都配合應用在綠地填方或鋪面材料上與瀝青膠結使用；另港灣界為保持港池航道及碼頭公告水深，都須定期執行底泥疏浚及外海拋除，但環保署已要求逐年降低海拋數量。而航港局近期為有效進行嘉義好美寮沙灘復育工作，於今年4月研商會議結論，短期內請臺灣港務公司將布袋港疏浚土方置於好美寮養灘區，並針對好美寮養灘區進行成效監測，顯示政府對浚挖海泥回收利用的用心。這兩種廢棄物若能善加結合利用，且能使材料更加穩定，亦不失為廢棄物再利用的解決良方。

另在海岸保護工上，有一生態柔性工法的探討研究，題目為「Retesting on Tension Fracture of Sand-Packed Container in Small-Size Model Tests」(以小尺寸模型試驗進行沙腸袋張力破裂測試)

沙腸袋係疏浚沙土填充的地工織物袋，常用於海岸侵蝕控制，4年前日本宮崎海岸發生了沙腸袋的破裂事件，遂引發了對沙腸袋的研究興趣。本研究嘗試在小尺寸模型試驗中重新測試沙腸袋的張力破裂，並藉折曲小尺寸沙腸袋以闡釋張力破裂機制，雖然在模型試中沒有再現張力破裂，但在試驗期間量測張力應變，探討了沙腸袋張力破裂機制。

以疏浚土壤填充的大型地工織物沙腸袋常沿岸線埋設，用來抵抗波浪的侵蝕，可保護海岸線和海灘，日本沙腸袋的設置地點並不多，主要分佈在沖繩、神奈川、宮崎、福井、石川、新潟等海岸，雖然全

日本沙腸袋的設置數量很少，然而沙腸袋的確可用來對抗高海浪的沖蝕作用。在宮崎海岸，有日本最長的沙腸袋設置地點，長1500m，但在2014年遭受颱風高海浪的擊打而破損。圖3.9為宮崎海岸沙腸袋佈設照片，圖3.10所示為宮崎濱海沙腸袋沿海岸線的佈設斷面示意圖，其構造係由3個沙腸袋堆疊成雙層三角形，日本土地-設施-運輸和旅遊部（MLIT）調查了這次地工織物沙腸袋的破壞機制，破壞的原因是沙腸袋下面的混凝土塊穿透地工織物，如圖3.11所示。本研究因此進行了一系列的室內模型試驗，用以闡述地工織物沙腸袋的破壞機制。

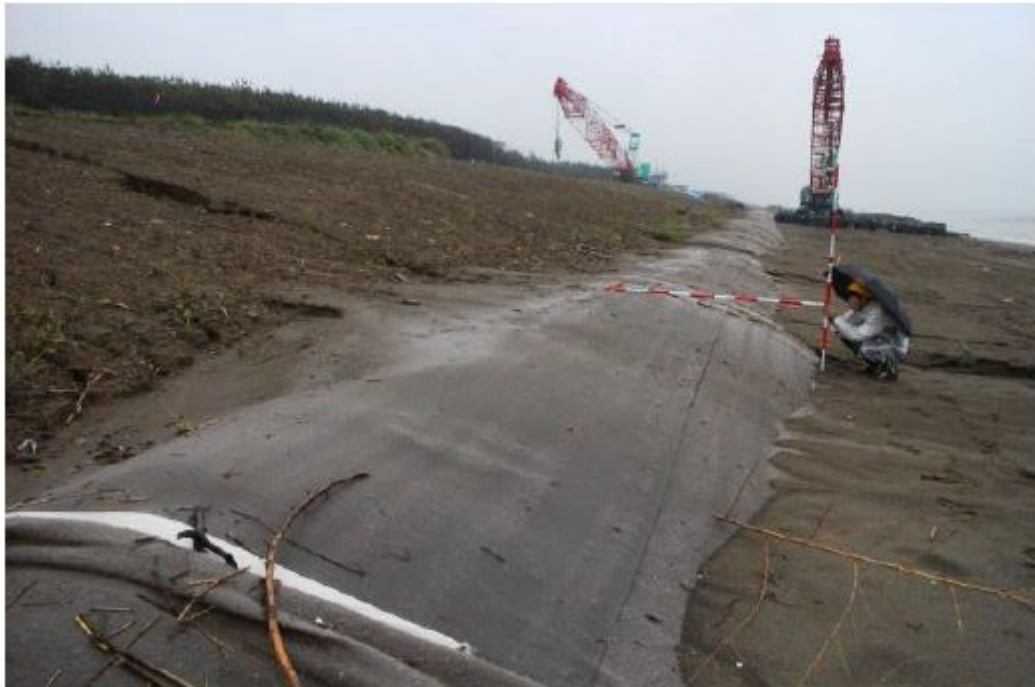


圖3.9 宮崎海岸沙腸袋佈設照片

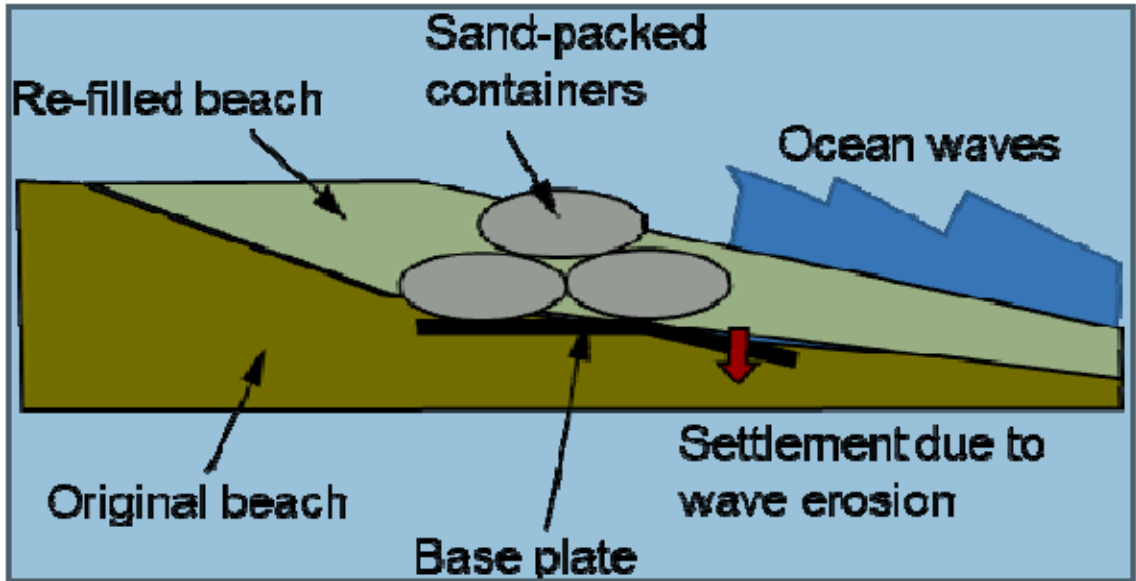


圖3.10 宮崎海岸沙腸袋佈設斷面示意圖

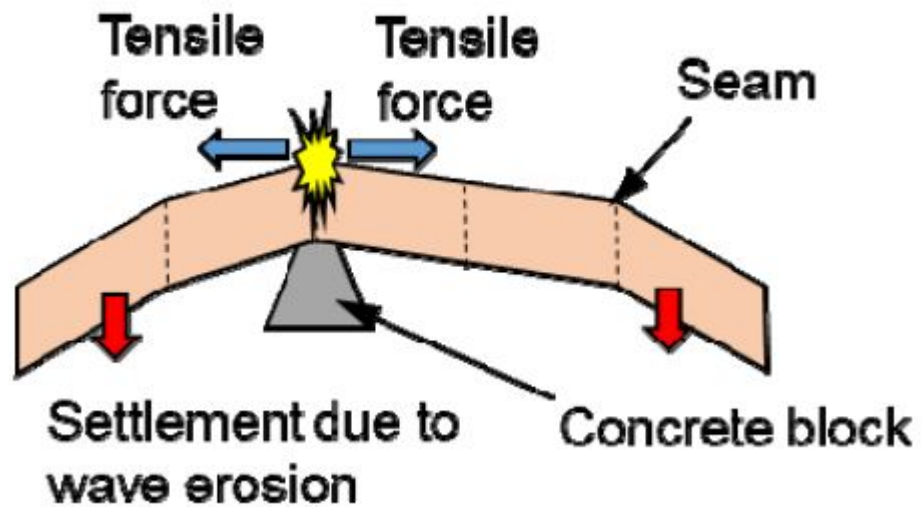


圖3.11 沙腸袋下方混凝土塊穿透地工織物破壞示意圖

為了重新測試沙腸袋的張力拉伸斷裂，本研究進行了一系列小尺寸模型彎曲試驗。所進行的兩種彎曲試驗，為(1)脊頂彎曲和(2)懸臂彎曲試驗，即在實驗室中兩個彎曲試驗再現實際場域中的彎曲條件，其

中，脊頂彎曲模擬圖3.11的情況，並以試驗基板沉降方式模擬懸臂彎曲的情況。

(1) 脊頂彎曲試驗

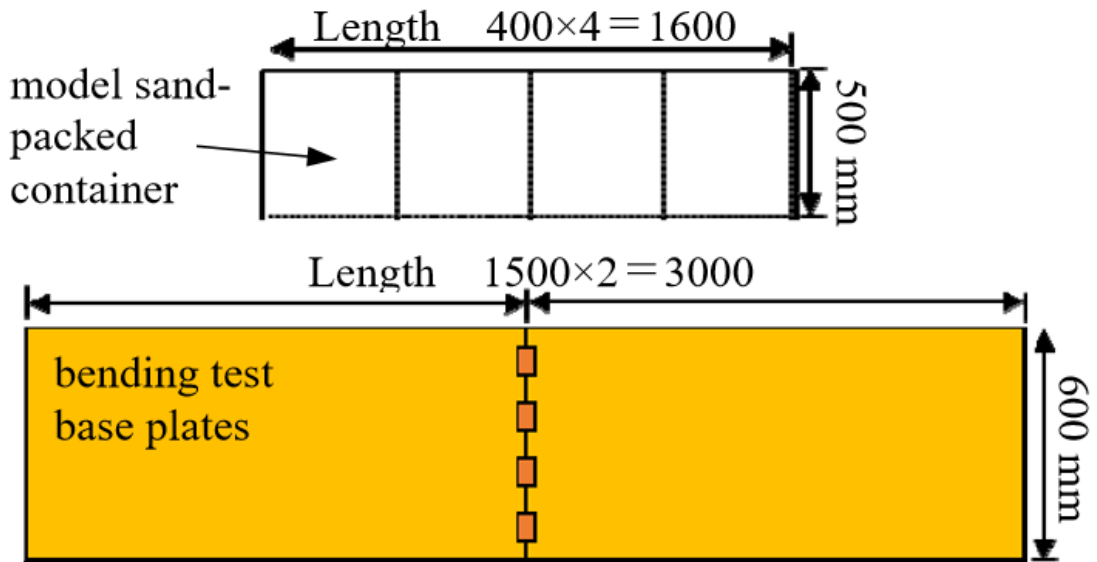


圖3.12 模型沙腸袋示意圖

圖3.12為模型沙腸袋示意圖，在小型模型試驗中，沙腸袋用1/100比例模型建模，將4個長400毫米，寬500毫米的聚丙烯袋縫合併連接，一個小型模型沙袋容器長1600毫米，寬500毫米。將小模型沙腸袋放置在與鉸鏈連接的測試板上，模型沙腸袋的中心設置在測試板的鉸鏈部分上，脊頂彎曲試驗係將兩個測試板從頂部彎曲中的水平位置以相同的角度下降進行試驗，如圖3.13所示。

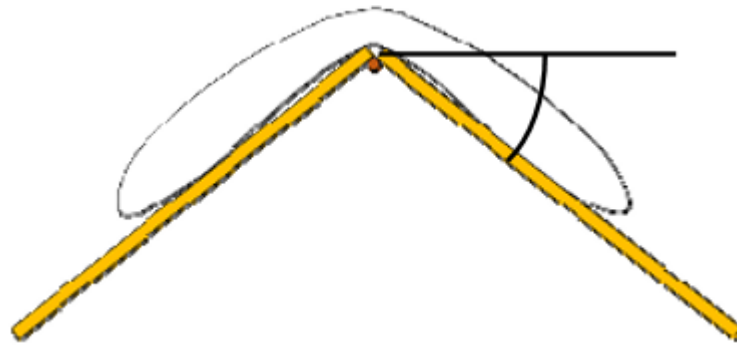


圖3.13 脊頂彎曲試驗示意圖

(2) 懸臂彎曲試驗

圖3.14為懸臂彎曲試驗示意圖。在懸臂試驗中，單側試驗板從水平位置下降，如圖3.14所示。懸臂彎曲試驗中的拉伸應變彎曲角度為與水平位置所構成成的角度。拉伸應變峰值顯示為大約40度，且觀察到拉伸力集中在中心接縫部分周圍。另在懸臂彎曲試驗中未觀察到小型砂填充容器的拉伸斷裂。

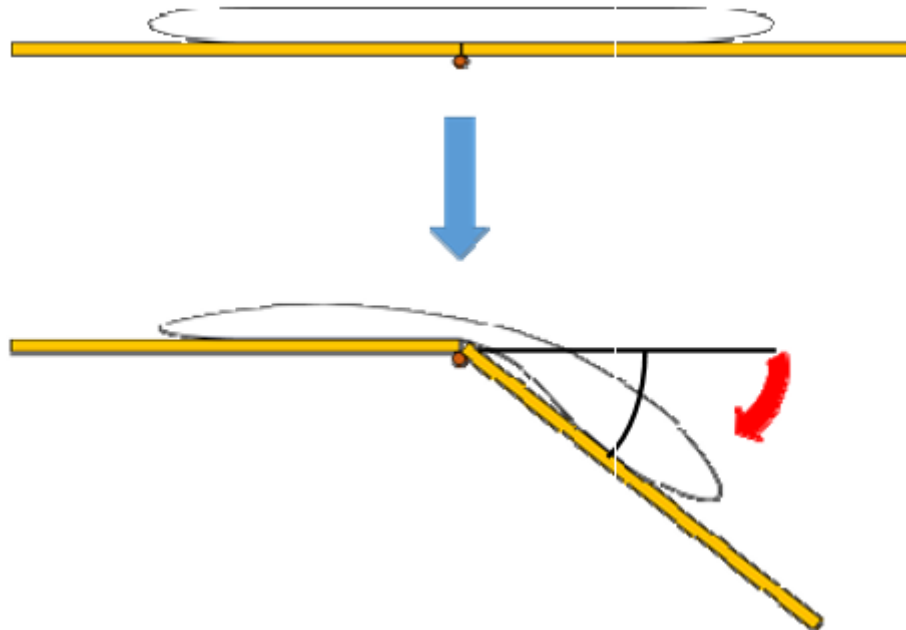


圖3.14 懸臂彎曲試驗示意圖

試驗顯示，在脊頂彎曲試驗中拉伸應變的最大值約為 5000×10^{-6} ，然而，在懸臂彎曲試驗中，拉伸應變的最大值幾乎約為 2500×10^{-6} 。因此，拉伸斷裂為可能在脊頂彎曲試驗中發生，這也對應了如圖3.11所示宮崎海岸沙腸袋的拉伸斷裂機制。

在脊頂彎曲和懸臂彎曲試驗中均未觀察到小型砂填充容器的張力拉伸斷裂，故另以使用損壞的織布片來檢查拉伸斷裂。圖3.15和圖3.16分別顯示了在77和93度的脊頂彎曲試驗中受損織物片的開裂情況，最初在中心接縫附近的織物片上設置3個長度為35mm的切口，隨著彎曲角度的增加，切口的長度和開裂情況增加，如圖3.15和圖3.16所示，但使用損壞的織布片未觀察到拉伸斷裂。



圖3.15 脊頂彎曲試驗在77度時沙腸袋損壞區開裂情況



圖3.16 脊頂彎曲試驗在93度時沙腸袋損壞區開裂情況

本研究進行了一系列模型試驗，通過彎曲試驗來闡述土工織物沙腸袋的破損機制，主要結論有：

- (1)小型沙腸袋的張力拉伸斷裂在脊頂彎曲和懸臂彎曲試驗中均無法重新測試。
- (2)在兩種彎曲試驗中，拉伸力集中在中心接縫部分周圍，出現最大拉伸應變。
- (3)在脊頂彎曲試驗中可能發生拉伸斷裂，因為拉伸應變大於懸臂彎曲試驗。
- (4)儘管在脊頂彎曲試驗中新增開列切口，但未觀察到有拉伸斷裂。

土工織物是近代生態工法常考慮的一種材質，本文可察覺，聚丙烯不織布具高抗張力強度，而現地使用的沙腸袋，常是多層不同材質的不織布所組合，更具高抗張力，而其破壞最可能的情況，為脊頂彎曲情境，常是底部襯墊之混凝土塊破損所致，但不織布若未遭割損，仍具有高抵抗力，是一個極佳的生態工程材料，但其環境及使用時間所引起的劣化耐久性如何，可能才是應用上的挑戰，值得用較長時間來進行耐久性暴露試驗，探討其生命週期及維護更新頻率，對此工

法當更有助益。

3.3 其他相關研究

目前政府正大力推動千架離岸風機設置計畫，本研討會有數篇關於離岸風機的論文，其中「Analytical Study on Multi-Hazard Risk of Offshore Wind Turbine Subjected to Hydrodynamic and Aerodynamic Loads」(離岸風機水氣動態作用下多災風險分析研究)，在風機設置前先施做災風險分析，頗值得參考。

與陸上風機設站地點相比，在近海設站提供了更有利的風力條件和安裝更大渦輪機的潛力。許多風機每年都在海上安裝，然而在任何地點安裝離岸風機(Offshore Wind Turbines, OWT)都需要在現場條件方面進行大量研究，特別是多樣性的風浪交互作用可能影響也需詳加評估。

有一種趨勢是將OWT設置在淺水區域，這有利於固定底部(單樁)基礎。OWT在淺水區域的這種傾向是由於較缺乏深水專業知識以及相對較低的安裝和維修成本。儘管OWT是有益的，但是經常存在與海洋條件相關的風險，如颱風和海嘯，這個重大問題需要進行充分的易致災脆弱性評估，以量化OWT經歷各式風浪災害的風險。也由於近海環境中普遍存在隨機興起的風和浪，因此有必要對OWT進行可靠性評估，以探索其在極端荷載條件下的行為。

最近的許多研究使用FAST模式(Fatigue, Aerodynamics, Structures, and Turbulence model)代碼來模擬OWT上的水力和空氣動力學耦合。這些研究證實，FAST模擬器被證明是建模和分析受時域隨機風荷載影響的OWT的有效工具，同時也在風險和易損性評估領域進行了大量研究。本研究採用的方法及程序如下：

(1) 建模與模擬方法

OWT的模擬是通過計算方法進行的，該計算方法採用由美國國家再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)開發

的計算機輔助工程（CAE）工具，稱為FAST(Fatigue, Aerodynamics, Structures, and Turbulence) v8（Jonkman和Jonkman，2016），用於耦合流體動力學和空氣動力學負載。對於OWT的極端負載行為，使用國際電工委員會（IEC 61400-3）（IEC，2008）設計標準IEC 61400-3中OWT系統的流體動力學和空氣動力學模擬遵循設計載荷案例（DLC）6.1，考慮紊流極端風模型和極端海況條件，使用NREL開發的模型對具有單樁基礎的理想化海上5MW風力渦輪機進行耦合水氣動彈性分析。在FAST v8模擬器中引用為測試19的模型進行分析。

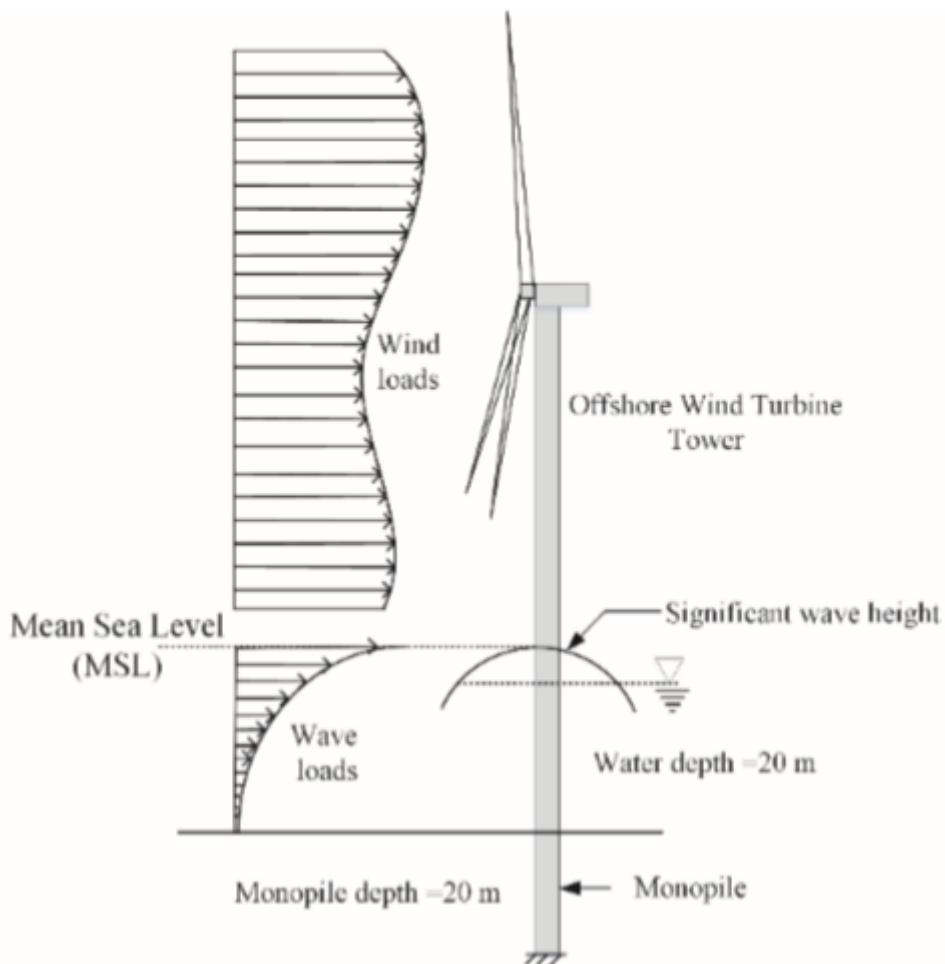


圖3.17 施加在離岸風機結構上的風浪荷載分佈示意圖

OWT模型是傳統的三葉片迎風變速風力渦輪機，它的旋轉翼直徑為126米，率定風速為11.4米/秒，渦輪輪軸高度位於平均海平面以上90

米處。 OWT塔的基础比平均海平面 (MSL) 高10米。下部結構從基部向下延伸到距離MSL 20米處的海床面。單樁進一步延伸到海床面以下20米處。塔是線性錐形的，而單樁具有恆定的直徑和厚度。在單樁和海床面上連接了剛性連接。渦輪機由鋼塔和基礎組成。假設渦輪塔中使用的結構鋼具有 $8500\text{kg} / \text{m}^3$ 的密度和 $2.1 \times 10^5 \text{MN} / \text{m}^2$ 的彈性模量。塔底直徑為6米，壁厚為0.027米，塔頂直徑減小至3.87米，壁厚為0.019米。單樁基礎的直徑恆定為6米，壁厚為0.06米。圖3.17顯示OWT模型在結構上承受空氣和流體動力的分佈荷載。

(2)空氣動力荷載

本研究對於風力荷載模擬，採用TurbSim程式 (Jonkman, 2009) 模擬器作為FAST模式的延伸，涉及疲勞、空氣動力學、結構和紊流的建模設置，FAST是美國國家再生能源實驗室主要的電腦輔助工具，用來模擬風機的耦合動態反映。風荷載定義為依據瑞利分佈(a Rayleigh distribution)的轉軸中心高度10分鐘的風速，這意味著風荷載僅在橫向上撞擊風塔，風速則被模擬在旋轉平面的二維網格上。紊流則施加在每個網格上，然後再添加到平均風速上。

IEC A級風力體系被設定在所選地點，對應於A類意即最紊亂流場，IEC 61400-3中規定的極端紊流模型(The Extreme Turbulence Model, ETM) 被用於產生輪軸高度的風速。ETM參數(c)取為2.0，如IEC 61400-3中所述。在分析中，平均風速為3米/秒至30米/秒。風剖面是旋轉平面上的冪函數剖面和沿塔架高度的對數剖面。Kaimal功率譜密度函數 (Jonkman, 2009) 用於描述紊流模型，其冪指數為0.2，表面粗糙度長度為0.03 m。

(3)流體動力荷載

對於波浪荷載模擬，HydroDyn (Jonkman等, 2014) 程式係用來結合FAST模式。為了描述現場的海浪傳播過程，定義了示性波高和峰值波譜週期。在本研究中，波高值作為隨機變量，峰值波譜週期作為波高的函數。在本研究中，波高值視為隨機變數，峰值波譜週期作為波高的函數，分析上示性波高的範圍在0m和15m之間。

用於定義波浪運動學和流體動力載荷的所需海面高程過程中與能量相關的頻率和幅度由IEC-61400-3中定義的JONSWAP譜表示。利用每個時域模擬的給定波高和頻譜週期，FAST建立目標波譜，然後隨機產生不規則波。線性通風波理論在內部用於計算MSL和海床面之間的水粒子運動學。在計算沿著單樁的波浪運動學之後，使用Morison方程計算垂直塔元件上的水平力。

(4)風浪模擬

FAST碼應用於模擬承受空氣和水動力載荷的OWT，以確定其臨界區的反應。FAST v8提供了許多介面，用於允許外部負載和模態屬性之間的互動。對於OWT的分析，假設渦輪機處於停放狀態而沒有發電，這意味著葉片在模擬期間是與水面平行的。考慮到氣動彈性行為，使用AeroDyn實現沿OWT的氣動力，使用HydroDyn進行流體動力學行為，使用SubDyn進行基礎行為。模擬系統遵循風荷載的1小時模擬值，並從加載參數定義開始，包括平均輪軸高度風速，示性波高和峰值波譜週期。在每次模擬期間監測每個渦輪機元件的所有反應。

本研究分析結果是為解釋在風機葉片和塔架所觀察到的力矩，並與風速和波高的變化進行比較，然後，對葉片和塔架之間最關鍵的構件繪製出易損性曲面分析圖，重要構建的模擬結果與討論如下：

(1)風機葉片

風機葉片被認為是OWT中最靈活的部件。受到紊流風速的葉片尖端在複合風浪災害模擬下，會引發較大的偏轉，並且在某些情況下它撞擊塔架造成嚴重損壞。因此，葉片基部的臨界力矩有必要進行模擬觀測。經模擬試驗，發現葉片基部受側風影響所引生的力矩，都遠大於自重所產生的影響。也因此進一步調查風速和波高對葉片產生的影響，將風速、波高和葉片偏移量繪製成三維圖形，如圖3.18，為葉尖隨風和波參數變化而偏移的三維圖形，由於葉尖偏移相對於風速變化的傾斜度較高，可以推斷出葉片的反應主要是受輪軸位置的風速影

響，而不是波高。

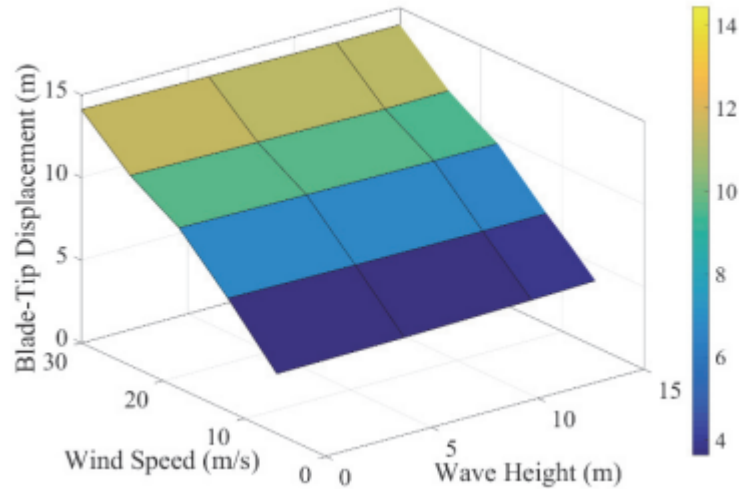


圖3.18 葉尖隨風速和波高變化而偏移的三維圖形

(2)風機塔架

由於風力和波浪力的複合作用，沿著海床面的風機塔架會承受更高的力矩。本研究進行多次模擬以確定以風速和波高為條件的塔架彎矩分佈。

對於風速為25 m/s且有效波高為5 m的海床面上的傾覆彎矩（Overturning Bending Moment, OBM）剖面如圖3.19所示。該圖說明了在模擬時間內觀察到的彎矩變化。考慮用於數據分析的三個不同方向，包括前後左右和旋轉，前後、左右和旋轉方向的OBM峰值分別為 $2.73 \times 10^8 \text{KN-m}$ ， $3.89 \times 10^7 \text{KN-m}$ 和 $6.98 \times 10^6 \text{KN-m}$ 。可以說，具有最高峰值的前後方向的OBM主導了在結構中觀察到的力矩。

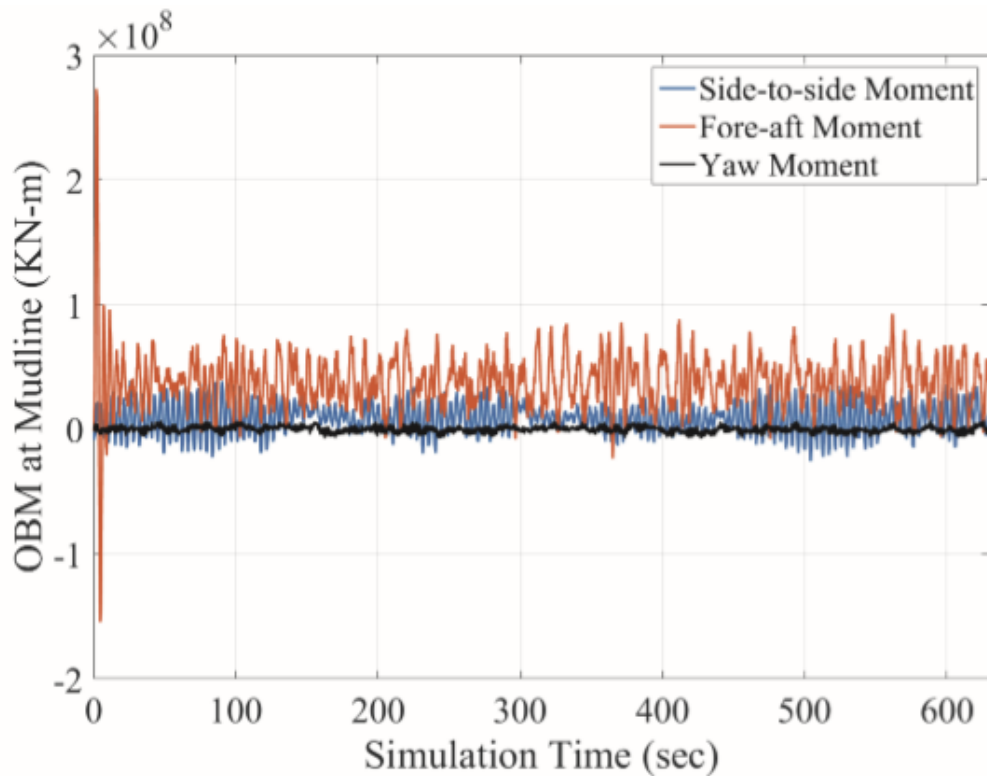


圖3.19 在模擬時間內三個方向上傾覆彎矩的變化

為了觀察前後方向彎矩對應風速和波高變化進一步的影響，本研究繪製了前後方向OBM與風速和波高變化的三維表面圖，如圖3.20所示。可以看出，峰值OBM隨著風速的增加而增加。很明顯，OBM的影響對低於10 m的波高不敏銳，但是對於超過10 m的波高若快速躍增加會引致所有風速值的OBM曲線也快速躍增。在風速為30 m/s，波高為15 m時，可觀察到該圖OBM的最高值，此可解釋為風速和波高都對OBM的反應有顯著影響。

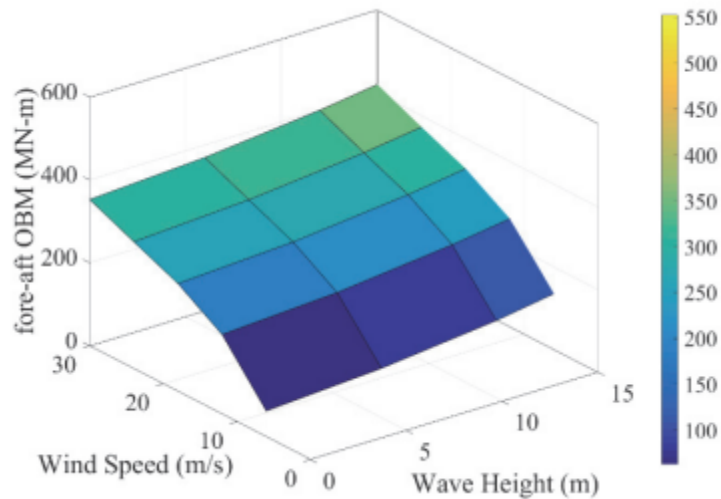


圖3.20 傾覆彎矩在前後方向上的變化與風速和示性波高之關係圖

(3) 易損性曲線

為了分析OWT的複合災害風險，本研究的重點是檢查風速和波高變化對易損性行為的影響。從先前對模擬結果的討論中，有關葉片尖端偏轉所引起的葉片反應對波高並不敏銳，而風速和波高的變化會引致前後方向海床面OBM的一定程度的變化，因此，要對海床面的前後OBM進行初步易損性分析。分析係依上述程序進行，分析上要先求算海床面處的OBM，並確定每個模擬的可靠性指數，然後確定各荷載情境的失敗機率，分析結果如圖3.21所示。

本研究對離岸風機複合災害進行風險分析，致災原因集中在風力及波浪，臺灣每年常有颱風來襲，颶風大浪定會對海上結構物帶來重大衝擊，本研究所論述的方法確實值得參採應用。但除此之外，因臺灣位於環太平洋地震帶，每年大小地震頻仍，故臺灣西海岸的海上風場，除須考慮颱風的風浪影響外，也應對地震所帶來的影響審慎評估，如此才能更全面的評估離岸風機的災害風險。

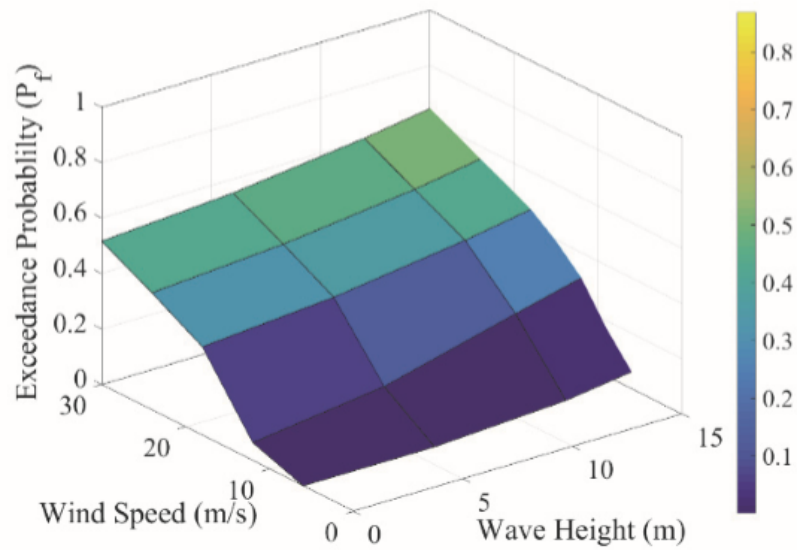


圖3.21 傾覆彎矩與風速和波高變化的三維易損性曲面關係圖

3.4 參訪當地港灣及交通設施

本次會議大會並無安排參訪活動，故僅就個人路途所見及感受略述一二。

3.4.1 日本海岸保護工

搭火車行經海邊，發現日本北海道在海岸保護方面，也使用大家常見的離岸堤及突堤，有些地點只見其中一種構造物，而有些地點則由這兩者搭配設置，或是也有離岸潛堤，但會被海水遮蓋而無法得見。日本海岸離岸堤如圖3.22所示，突堤如圖3.23所示。可能因為鐵道設置在海邊，為避免海岸沖刷影響鐵道安全，故在海中設置離岸堤及突堤，以保護海岸及交通設施。從照片中也可看見突堤效果，兩座突堤峽內已有砂料留置，顯見配置設計成功，養灘成效可見。



圖3.22 北海道海岸離岸堤設置情景



圖3.23 北海道海岸突堤設置情景

3.4.2 港口歷史文物

研討會結束後，適逢端午連假，職遂往北海道南端的港口城市函館自由參訪，函館港除了小部份重要管制區外，大部分都可開放自由行。函館為一歷史悠久的港口，也是160年前幕府時代美國黑船事件後首批開放通商的港口之一，是日本最早接觸西方文化的地區，當年不僅常有貿易商船前來泊靠，也有許多外商、宣教士、政府代表進駐，外交史館、宗教會堂等建築，保留至今遂成為當地地景特色之一。而在港口歷史文物上，函館港碼頭岸邊擺放一艘雙桅桿的實體商船，為日本自建的首艘西式商業帆船“箱館丸”，如圖3. 24所示，此日本航港發展的歷史文物，極易吸引遊客注目。



圖3. 24 日本自建的第一艘西式商業帆船“箱館丸”

日本幕府政權於安政元年(1854年)3月31日與美國簽訂日美和親條約，開放下田、箱館(後更名函館)2港，德川幕府的「鎖國」體制就此終結。函館成為外商貿易、商船往來的重要據點，也是開啟接觸外

來知識文化的門戶，在當時的函館縣長堀利熙的要求下，高田屋嘉兵衛先生著手籌建商用帆船，並於安政4年(1857年)完工，為日本自建的第一艘西式商業帆船，命名“箱館丸”。箱館丸(即函館輪)重56噸，為雙桅帆船，高達30米，目前展出的箱館丸係1986年由青木浩所修復。



圖3.25 北海道第一步紀念碑

明治維新之後，函館不管在名義或實際上都成了日本民眾登陸北海道的入口，而進入北海道的人第一個踏上的就是這座東濱碼頭，東濱碼頭建造於明治4年(1871年)。昭和43年(1968年)，於東濱碼頭邊設立了這座帶有熊和錨圖案的紀念碑，取名為北海道第一步紀念碑，實景如圖3.25所示。

明治6年(1873年)往返青森和函館的定期航班弘明丸開始營運。明治12年(1879年)三菱公司接管了青森和函館的航班，隨後由日本郵船鐵道公司繼續營運，明治41年(1908年)將比羅夫丸和田村丸投入該航線營運，做為日本國有鐵道的外延服務。目前函館有渡輪停泊在港外，乘客可從碼頭搭乘接駁船登上渡輪。

本紀念碑建於昭和43年(1968年)9月，為紀念100年前勇敢踏上北海道的開拓先鋒們，也提醒對北海道的未來發展宜妥為規劃。

港灣結合歷史文物，會把人帶進過去的想像裡，使旅遊參訪更覺有趣。我國港埠，也可嘗試引據港口發展歷史，留下文物展示、設置紀念雕塑或碑文，以增參訪樂趣。

3.4.3 輕軌電動車

目前政府推動前瞻計畫，整體計畫包含「綠數水道鄉」五大建設計畫：綠能建設、數位建設、水環境建設、軌道建設以及城鄉建設，規劃以八年時間投入總經費約新臺幣8800億元的特別預算。其中的軌道建設有38項計畫，有一重點為輕軌大眾運輸系統，含淡海輕軌捷運、安坑線輕軌運輸系統、新竹環線輕軌、基隆捷運輕軌建設等計畫，在臺灣目前僅高雄市有短距離的輕軌營運，而在北海道，札幌及函館，都可見路面軌道及電動車在市區主要道路上載客行駛，圖3.26為函館火車站前兩輛輕軌電動車擦身而過的情景。



圖3.26 函館火車站前兩輛輕軌電動車擦身而過的情景

在函館搭乘市區輕軌電動車，可投幣、刷卡，也可購買一日券，上下車只要出示給司機看即可。車內座椅設計為長板凳形式，固定於車箱左右兩側，讓人覺得中間空間寬敞，且設置大型車窗，白天視野明亮開闊，車子行走極為平穩，不曾遇到有緊急剎車的情況。

在札幌，鬧區六至八車道寬的馬路上，輕軌軌道通常鋪設在人行道外側，方便乘客上下車，但到了較窄的二至四車道寬的馬路上，輕軌軌道會設置在馬路正中央。而在函館也類似，圖3.27為函館港口邊約四車道寬的馬路上，輕軌軌道設置在馬路正中央，兩邊才是汽車道和人行道，這種以輕軌軌道，做為兩邊車輛的分隔島，可做為未來國內設計輕軌的參考。



圖3.27 輕軌軌道設置在馬路正中央的路面配置設計

曾在函館輕軌的一個小車站等車時，發現站牌處有張貼平日及假日各班車的到站時間表，讓人驚訝日本人在時間掌控上可以有這麼細膩的要求，也顯示其敬業精神和服務品質，是何種社會環境、成長教

育或人文素養，可以使公車系統達到這樣的品質要求和服務境界，頗值得思考和學習。

四、建議

本次第28屆國際海洋與極地工程國際研討會，約有超過50國家的專家學者不遠千里而來，發表747篇論文，不僅參加人數相當踴躍，且能就有興趣之議題與論文內容交換意見。議程6天共151個場次，議場安排在朗登飯店(Royton Sapporo Hotel)的國際會議會場，該旅館外觀宏偉，其內部2至3樓設置大型會議廳和各中小型會議室，最小型的會議室也可容納數十人同時與會，雖然會議規模龐大，但議事安排順暢，支援人力及設備充足，會議之進行十分順利。

與國內相關海洋工程研討會比較，國際性的研討會涵蓋面更加廣泛，相關研究議題更為該領域先進課題，經由本次參與研討，就大致可瞭解國外近來與本身職務有關研究方向與發展。因此，參加本次國際性之研討會對職個人業務、視野或資訊取得有極正面的幫助與提升。綜合以上心得說明，茲有以下數點建議供參：

1. 政府目前正大力推動煉鋼殘渣-轉爐石的再利用，並要求政府工程單位配合，另港灣界為保持港池航道及碼頭公告水深，都須定期執行底泥疏浚及外海拋除，但環保署已要求逐年降低海拋數量。日韓學者針對港灣浚挖黏土及轉爐石的拌合，探討其強度及抗沖蝕穩定性，發現確可提升其穩定性。浚挖海泥及轉爐石這兩種廢棄物若能善加結合利用，且能使材料更加穩定，亦不失為廢棄物再利用的解決良方，相關研究成果在沙灘復育工作上，值得港灣工程界參採。
2. 沙腸袋已在日本的海岸保護上實際應用，是一種複合材料的柔性工法，且模型研究顯示具有抗張破壞能力，目前發現可能的破壞是來自外膜割裂；但環境及時間也有可能會影響其抗張能力，建議應對耐久性進行探討，較能全面評估其實用性。
3. 在離岸風機的風險評估上，歐美學者針對風浪影響的評估方法及評

估工具值得引用，但因臺灣位於環太平洋地震帶，每年大小地震頻繁，故臺灣西海岸的海上風場，除須考慮颱風的風浪影響外，也應對地震所帶來的影響審慎評估，如此才能更全面的評估離岸風機的災害風險。

4. 參加國際大型研討會，可更瞭解國際上新近之研究發展，吸取廣泛資訊及相關新知，提升對業務的幫助，建議鼓勵同仁參加。