

行政院所屬各機關出國報告  
(出國類別：其他)

## 出席 ISOPE 2016

# 國際海上工程研討會出國報告

服務機關：交通部運輸研究所

出國人：職 稱：主任

姓 名：邱永芳

出國地區：希臘羅德島

出國期間：民國 105 年 6 月 25 日至 105 年 7 月 2 日

報告日期：民國 105 年 9 月 2 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：29 含附件：無

報告名稱：參加「ISOPE 2016 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：

邱永芳/交通部運輸研究所/港灣技術研究中心/主任/04-26587101

出國類別：1.考察2.進修3.研究4.實習5.其他

出國期間：105 年 6 月 25 日至 7 月 2 日

出國地區：希臘羅德島

報告日期：105 年 9 月 2 日

分類號/目：HO／綜合類（交通類）

分類號/目：HO／綜合類（交通類）

關鍵詞：海岸工程、風能發電機、基礎土壤互制、航行安全、離岸結構物。

內容摘要：

第二十六屆(2016 年)海洋與極地工程國際研討會(2016-ISOPE)於 6 月 25 日到 7 月 2 日在希臘羅德島舉辦，與會人員超過千人。來自 56 個國家，投稿文章 1320 篇摘要，接受發表論文超過 155 篇，論文的種類包括了天然氣礦物、水下載具和通信控制海底管線、再生能源(包括離岸風能和海洋能)、環境科技、海洋離岸風機及構造物工程、海岸工程、水下探勘、大地工程、環境工程、海嘯動力和衝擊力、航行安全、北極圈之科技和工程技術等項，除此今年特別強調離岸風機的特性和基礎結構和土壤互制功能，離岸風機之動態力學特性、海嘯對結構物和離岸風機之衝擊力、航行監控、離岸基礎承载力、水下結

構之基礎沖刷；本報告亦針對重要議題提出看法。我國有多位學者參與會議並發表文章，對於促進國際學術交流及吸取國外經驗有相當大的助益。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

## 摘要

第二十六屆(2016 年)海洋與極地工程國際研討會(2016-ISOPE)於 6 月 25 日到 7 月 2 日在希臘羅德島舉辦，與會人員超過千人。來自 56 個國家，投稿文章 1320 篇摘要，接受發表論文超過 155 篇，論文的種類包括了天然氣礦物、水下載具和通信控制海底管線、再生能源(包括離岸風能和海洋能)、環境科技、海洋離岸風機及構造物工程、海岸工程、水下探勘、大地工程、環境工程、海嘯動力和衝擊力、航行安全、北極圈之科技和工程技術等項，除此今年特別強調離岸風機的特性和基礎結構和土壤互制功能，離岸風機之動態力學特性、海嘯對結構物和離岸風機之衝擊力、航行監控、離岸基礎承載力、水下結構之基礎沖刷；本報告亦針對重要議題提出看法。我國有多位學者參與會議並發表文章，對於促進國際學術交流及吸取國外經驗有相當大的助益。

# 參加「ISOPE 2012 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.....               | II |
| 一、目的.....             | 1  |
| 二、研討會會場與行程概述 .....    | 1  |
| 三、研討會概述及心得 .....      | 3  |
| 四、建議.....             | 29 |

# 【出席 ISOPE-2016 國際海上工程研討會出國報告】

## 參加研討會報告

### 一、目的

海洋與極地工程國際研討會，英文名稱 International Society of offshore and Polar Engineering. 簡稱 ISOPE。成立於 1989 年，為一個非營利之學術團體，原先以美國、蘇聯及挪威為發起國，成立至今共有超過 30 國家參加會員，以探討海洋工程、鑽油平台、海底油管、海域環境變遷、波壓力學、浮體運動、大地工程等所牽涉之工程問題，並以提升工程技術與學術交流為其成立宗旨。近年來舉辦多次研討會，並對外發行學術期刊，為國際海洋工程界之知名協會，多年來促進學術與工程交流，對工程界貢獻良多。

今年 ISOPE 協會於希臘羅德島舉辦第 26 屆年會及國際研討會，共約參加人數超過千人，合計參加發表的專家學者來自 56 個國家，接受 1320 篇摘要通過發表的文章。本次會議超過 155 篇以上之論文發表，自 6 月 26 日到 7 月 1 日止共進行 6 天研討會。本年度研討會除傳統之研發主題外，更提出近期較多研發之題目，包括離岸風機的特性和基礎結構和土壤互制功能、動態力學特性、海嘯對結構物的作用力和衝擊力、航行安全監控、離岸基礎承载力、水下結構基礎之沖刷。能獲此難得機會再度到希臘羅德島參加，除對離岸風能開發有較深入的理解未來世界發展潮流外，亦可對未來國家在風能產業之發展上提出較佳之決策供政府參採，特此感謝林前所長給予此次機會。

### 二、研討會地點與行程概述

#### (一) 研討會地點

本年度 ISOPE 年會開會地點係於希臘羅德島之 PaLace HoTEL。羅德島為希臘的第二大島，靠近土耳其，位於歐亞交界附近。往昔

歐洲進入亞洲重要島嶼之一，因此，其當地文化具有海洋性格和多元性，亦是具有古老文明之古城，港灣與海岸各具有其歷史性與景觀優美的特性。尤其羅德島市區中之古城內，保有了史前文明和古代城堡之博物館，當地建築特色，石子拼排路、咕啞石的城牆……等，羅德島是一個充滿文文與漁村、農村特色之島嶼，很值得觀光旅遊。但此次再度來到羅德島發現市區與鄉村比起 5 年前感覺上沒有進步，而有落後蕭條的感覺，國家經濟的衰退確實展現在人民生活上，各地物價尚屬便宜，但稅皆達四分之一，食物也到 17%，因此餐館內和商店絕大部份為觀光客，當地居民不多，還好有文化和景觀支撐，不然人民生活將更為困難，值得警惕。

## (二) 行程概述

6 月 24 日從桃園機場出國至土耳其伊斯坦堡，再轉機至希臘雅典，到達時間為當地 6 月 25 日中午，於傍晚再轉機到羅德島辦理報到，26 日早上參加開幕後隨即參加研討會。回程時由於班機安排不順無法訂到周末班機，因此周末假期停留雅典做短暫的休憩旅遊，延至星期一(7 月 4 日)由雅典經土耳其伊斯坦堡轉機直飛桃園機場於 7 月 5 日抵達。

### 三、研討會概述及心得

本年度 ISOPE 研討會以探討海洋工程、鑽油平台、海底油管、海域環境變遷、波壓力學、浮體運動、大地工程等所牽涉之工程問題，並以提升工程技術與學術交流為其成立宗旨，除傳統之研發主題外，更提出近期較多研發之題目，包括離岸風機的特性和基礎結構和土壤互制功能、動態力學特性、海嘯對結構物的作用力和衝擊力、航行安全監控、離岸基礎承载力、水下結構基礎之沖刷。除對離岸風能開發有較深入的理解未來世界發展潮流外，亦可對未來國家在風能產業之發展上提出較佳之決策供政府參採，茲將本年度發表之相關論文或創新技術與本所港研中心研究相關或未來發展有關之重要觀念簡述如下：

#### (一) 離岸風機基礎與土壤之互制

在離岸水域上構築結構物其基礎結構之受力和陸上之基礎不同，更由於受到波浪、風與流之影響，其基礎結構和土壤間的互制作用更形複雜，對於結構與土壤的互制作用之影響，也是本次研討會的重要研究方向，分述研究可供參考之重點如下：

#### 壹、水平反覆載重(模擬風及浪)對單樁基礎之影響

##### 一、 試驗室試驗

試驗設備及應變計量測示意圖如圖一

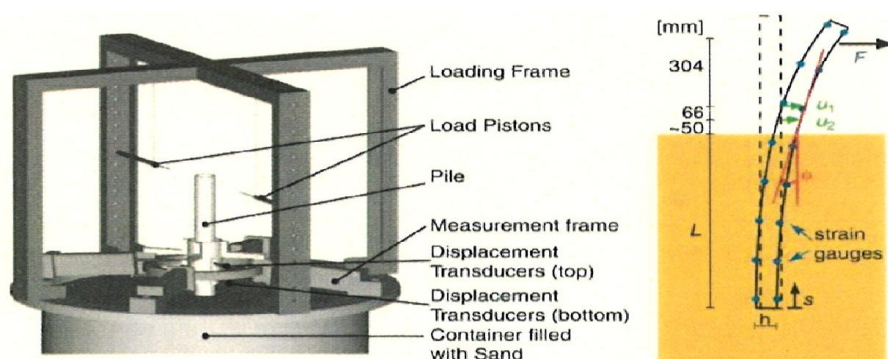


Fig. 1: Test setup for model tests on monopiles and scheme of the model monopile with measured values  $F$ ,  $u_1$  and  $u_2$ .



1. 試驗室實驗於乾砂內打擊樁進行循環載重試驗，變位的振幅 $\mu^{ampl}$ 在循環載重次數  $N=100,000$  時較開始時  $N=10$  減少 20%，顯示土壤在反覆載重下勁度增加，與之前提的循環載重下勁度降低是相反的。
2. 排水循環三軸試驗顯示只有在平均應力大於臨界狀態時才會導致土壤膨脹，其他情況循環載重會導致土壤夯實。
3. 在低滲透率的土壤如粘土或緊砂，由於循環載重下超額孔隙水壓力的產生，土壤有效應力的喪失會導致變位的振幅 $\mu^{ampl}$ 增加。
4. 樁彎矩隨循環載重次數增加而增加，尤其在非加載(unload)情況時，隨循環載重次數增加彎矩增加約 20%。

## 二、 有限元素模擬

1. 使用上節試驗室所得結果為輸入條件，程式使用 Abaqus 程式，模式使用 HCA 模式(High cycle accumulation)高循環累積模式及 Dr. Niemunis 的 UMAT 副程式。
2. 數值模擬結果與試驗室結果具有一致性，一連串(13 個)不同循環載重(load packages)下數值模擬結果與試驗室結果具有一致性如下圖 2。

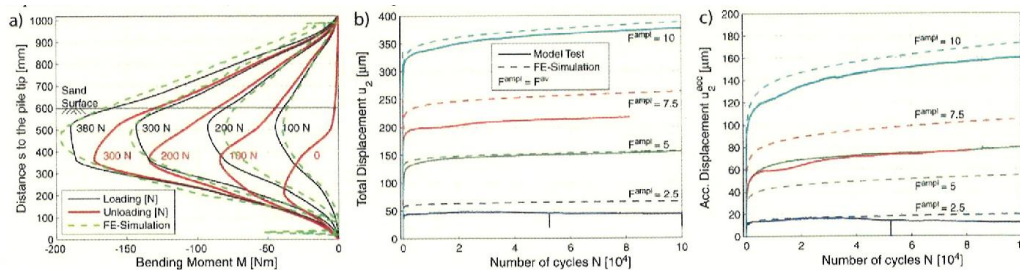


Fig. 5: a) Bending moments due to a static loading measured on a model pile compared to numerical results. b) total deformations  $u_t$  of four different model tests with 100,000 cycles and different load amplitude  $F^{ampl}$  compared to FE results. c) accumulated deformations  $u_{acc}$  of Fig 6 b) in model tests and FE.

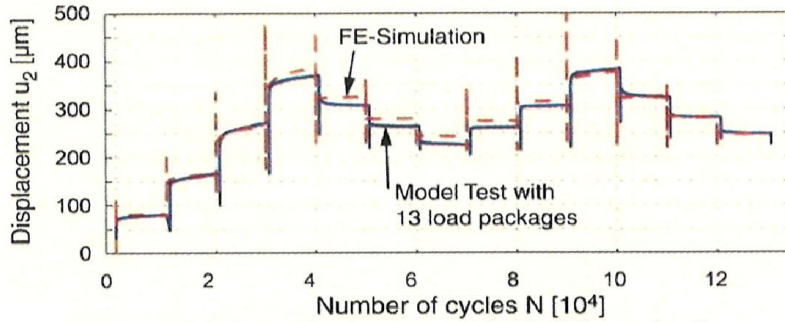


圖 2: Horizontal deformation in a test with 13 different load packages, with 10,000 cycles each compared to the corresponding FE-prediction.

### 三、單樁的土壤結構互制影響

1. 彎矩的重分配(樁彎矩隨循環載重次數增加而增加)可以解釋為接近土壤表面處累積應變的集中導致。樁接近土壤表面處土壤有集中的累積應變 $\varepsilon^{ampl}$ 和較高的緊密度( $\Delta e$  較小)。
2. 土壤的緊密度增加導致接近土壤表面處水平應力 $\sigma_{22}$ 降低，如此水平支撐樁的點往下移，造成更大的彎矩產生。

### 貳、離岸風機重力式淺基礎在循環載重下由於土壤非均質應變導致接觸應力的重分配

- 一、現地重力式淺基礎試驗淺基礎如圖 3，埋置深度 7m，載重距離基礎底 30m 並與水平呈 30°角，載重有 18 個組合，每個組合皆模擬一個暴風雨，圖 4 為第 1 個載重組合 LG1。

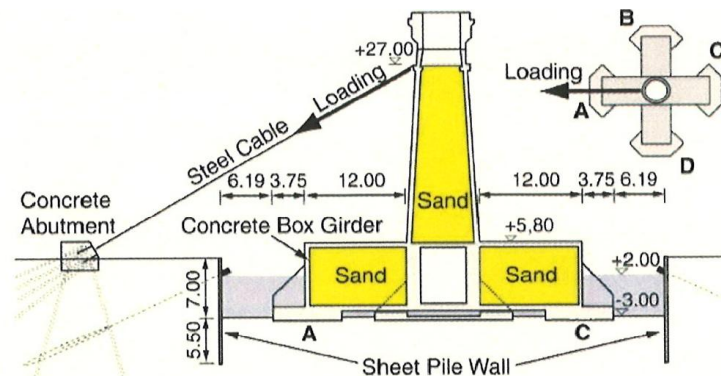


圖 3: Test foundation with loading facility (Züblin (2013)).

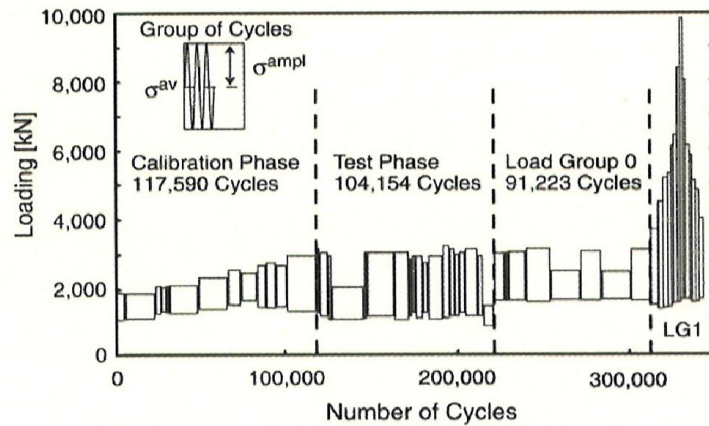


圖 4: Load packages until the end of the first simulated storm – LG1.

二、在循環載重作用下，此重力式淺基礎案例土壤接觸應力，在載重方向的 A 及 C 基礎版接觸應力降低 60%，垂直於載重方向的 B 及 D 基礎版接觸接觸應力增加 1.35 倍。

由於我國在再生能源的開發政策下，自然離岸風力發電就成為主流，因此國內針對離岸風機的基礎和土壤互制之關係亦有相當的研究其成果如下：

#### 一、單樁及群樁基礎數值模擬

- 1.單樁基礎數值分析研究，使用相同的有限元素分析軟體 Abaqus 分析在不同週期地震基底加速作用下離岸風機單樁基礎支撐結構之反應，分析樁頂相對位移。
- 2.離岸風機群樁平台基礎側向變形行為使用有限元素分析軟體 Abaqus 分析模擬在非凝聚性土壤中受反覆作用力之變形行為。
- 3.極端事件下離岸風機支撐結構之水動力模擬及沖刷之研究，採用 Splash3D 模式進行三維數值模擬與分析，以求解離岸風機受不同程度之波浪及海流之承載力，並探討離岸風機之桁架式基樁設置後，附近海底底床受海流侵蝕所造成的地形變動及淘刷分佈情形。

#### 二、單樁基礎試驗室試驗

以離心模型模擬離岸風機單樁受單向反覆水平側推行為探討，係

將現地樁基礎進行離心縮尺，於 80 g 離心重力場下，進行單樁基礎受反覆側向水平力之離心模型試驗共 8 組，藉以觀察受反覆水平力下的單樁之位移、旋轉角、樁身彎矩沿深度的分布狀態，並討論不同循環數與水平力大小對單樁基礎的影響。

### 三、重力式基礎數值模擬

離岸風機沉箱式基礎於安裝及受力行爲之數值模擬，比較數值模擬分析與現地模型試驗結果，數值模擬分析土壤能承受極限荷重值較現地模型試驗小，但在小變形下，數值模擬分析之變形行爲貼近模型試驗結果，顯示以二維數值分析模擬負壓式沉箱基礎在變形量小的範圍內可作為設計參考，但土壤能承受之極限設計載重需藉由現地模型試驗或三維數值模擬進行分析。

基於國內外的研究成果，如運用在我國離岸風機的基礎結構和土壤互制的設計使用上，建議將此技術與臺灣颱風、地震及風浪等載重條件結合，尤其更應針對在不同土壤基礎上所產生振動而引起材料疲勞和孔隙水壓力的變化，可能引起的材料破壞和沖刷之底床破壞更深入探討，當然可依上述國外研究成果做基礎探討台灣西部沙質海岸的複雜地質上的基礎土壤間互制作用建立本土化之技術及研究成果。

### (二) 離岸風機受衝擊力之探討

離岸風機設置位置常設置在碎波帶前，可能受波浪淺化效應而受波浪之衝擊波壓力作用其所受力量遠大於一般波壓力，因此離岸風機受衝擊波壓力的作用產生的動態衝擊作用力的評估就形成相當重要的外力，又尤其為複雜的非線性作用力，此次研討會亦有多篇文章針對離岸風機的力學特性做研究成果的發表。離岸風機之基礎設計受當地的地質影響相當大，因此依各種不同的地質特性而有相當多不同型式的基礎設計如單樁式、套管式、多樁式、動力式等如下圖所示。

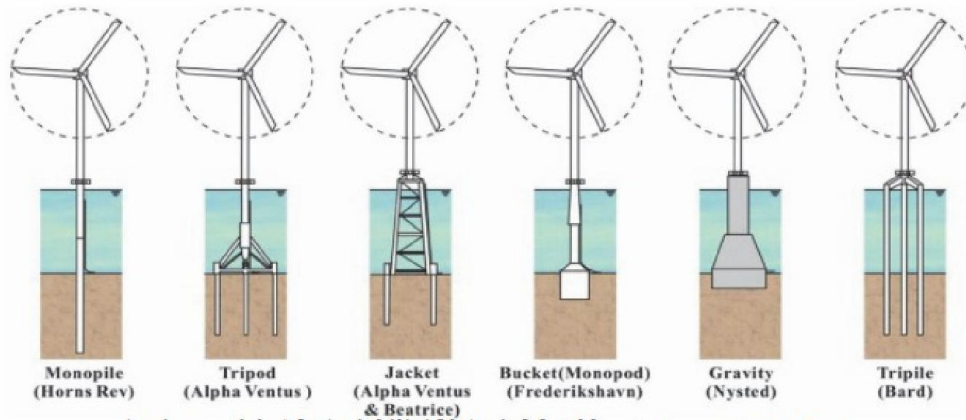


圖 1 離岸風機常用基礎 (Kuo,2012)

由於離岸風基機構造物所受波浪作用力相當複雜，尤其局部性的衝擊力，此種外力主要來自捲浪型碎波 (plunging breaking wave)，離岸風機的設計常採用套管式支撐結構，而捲浪型碎波常施加短暫的衝擊力在此種結構上，這樣的外力形式應被納入考慮在離岸風機的設計上。藉由 Wave test 以及 Hammer test 量測其反應(物理性)所得的數據，且應用數值轉換法重建出所要求之局部性衝擊力，實驗的數據來自 5 個 Wave cases，每種 case 造了 20 個波，不同於以往的研究，此篇文章則是採用大量的樣本，運用統計的方法，將此 slamming force 的尖峰值(Peak)以及平均值(Mean)的置信區間(Confidence intervals)估計出來。在 Wave Slam 計畫中，此種外力無法直接量測，而套管支撐結構模型承受的動態反應力可經由不同位置的傳感器(Transducer)所量得，因此，Slamming force 也必須經由數據分析重建獲得。在 2015 年用有限元素分析軟體 ANSYS 建立模型及採用 Peak fitting 的數值調整方法等等，但其結果的代表性仍不能確信，因為採用的樣本數不足。這篇文章更進一步的評估了在套管支撐結構承受局部性衝擊力的特性，藉由實驗數據的分析並重建 Slamming force 的特性。實驗時波被設定前進至套管支撐結構的前方即發生碎波現象。同樣為了重建波的衝擊力，Hammer test(利用直接敲擊結構體)的測試數據主要用來量測結構體在無雜訊的狀況下受力的反應。

碎波(Breaking wave)所造成之衝擊力，由準靜態力以及衝力所組成，為了要將量測數據濾出此兩種力，採用時間域的濾波法，若採用



頻率域的方法或 EMD 法，將會造成準靜態力過於明顯，並低估了動態 Dynamic 的效應。因此法仍有不合理之情況，同時提出兩種測試比較方法，第一種方法是應用一開始 Hammer test 所量測到傳感器之數據，同時建立這些數據在 4 組傳感器的 Impulse response function(經驗公式)，而後以反褶積法(Deconvolution)應用於 Wave test 的動態反應，藉此換算出在承受波浪環境下的等效衝擊力。

利用尖峰值 (peak forces) 與脈衝 (impulse) 來描述此衝擊力 (Slamming force)，並從波浪傳遞位置、Wave case 及傳感器裝設位置和所量測到的力進行統計分析，求出資料統計的置信區間。

針對複雜的物理特性模擬，只利用數值模式來計算常會受非線性特性的影響而產生計算上非常大的偏差甚至計算結果不可靠，因此借重實驗的結果求出其影響特性的統計特性分析再併入數值模擬來計算非線性動態的力學特性會較為可靠。離岸風機之套管式支撐結構承受局部性衝擊力，一開始採用大量樣本進行模型試驗量測試驗數據，接著將所量測到之數據搭配數值方法經驗公式進行分析，計算出所求之值，最後利用數學統計方法得到所求之值的置信區間進行佐證，此可增加研究的公信力。

本所往昔針對非線性的動態試驗皆直接由物理試驗來求取其動態力學特性，往往由於試驗樣本空間數不足，試驗結果往往略有偏差，試驗精度就有改善精進的空間，由本次研討會的經驗，引進相同的觀念來改善研究成果。

### (三) 離岸基礎之垂直動力勁度技術

離岸風機基礎型式，分為固定式與浮式基礎，這些基礎型式的選擇取決於動力載重如風力。過去的研究大都假設基礎四周的土壤為線性彈性單相介質，然而離岸基礎的環境為完全飽和的土壤，只有少數研究動力機制是考慮基樁基礎建置在完全飽和的土壤。本文利用數值模式模擬計算方式，探討離岸浮式基樁和吸力沉箱在不同的土壤條件下，垂直動態剛性和阻尼係數在不同頻率之特性。數值模式為

3 維有限元素模式，其為商業軟體 A B A Q U S (2013) 為探討吸力沉箱動力所發展。

建置之數值模式包括 3 個假設條件包括：基樁具線性彈性同向、遲滯阻尼土壤具線性黏性同向以及基礎和土壤完全接觸。在空心基樁和實心基樁兩個基礎配置條件，模式模擬結果與理論解析解具有良好的一致性，本研究即利用數值模式探討不同離岸基礎參數變化其動力之特性。本研究共執行 6 個不同配置方案，改變其不同參數包括：土壤層厚度、基樁深度、基樁直徑、水深、剪力波速、楊氏模數等。探討分析結果顯示：浮式基樁動力阻抗隨著楊數模數比增加而有些微影響；土壤層的高度增加在第一共振的剛性度明顯增加，相對阻尼係數也較高。空心基樁、實心基樁、封頂樁在動力阻抗和阻尼係數上之值均接近，在無因次頻率  $\alpha_0 > 8$  才會有些微差異。不同的基樁與封頂樁長度，動力阻抗和阻尼係數在頻率的變化趨勢相差很大，以較小的封頂樁長度有較高的動力阻抗以及較小的阻尼係數值。

本文模式為假設土壤層與基礎物質為線性且為完全連續介面，未來可發展非線性及非連續介面以更符合實際狀況，使分析結果更加精確。由本研究結果得知浮式基樁的長度大小對於動力阻抗和阻尼係數的影響最大，相同基樁動力阻抗和阻尼係隨著不同無因次頻率  $\alpha_0$  變化，並在  $\alpha_0 = 3$  附近發生極端值。建議未來可朝最佳浮式基樁幾何形狀作分析探討，以提供工程設計上之參考。

#### (四) 離岸風機之群樁基礎之沖刷問題

風力發電目前是最受歡迎的新能源，其中離岸風電較陸上的風電更穩定及風速較大，所以離岸風電變成是很重要的可利用能源。但是離岸風電必須面對複雜的海洋環境(如風、浪、流及鬆軟的海床)問題，其中之一的挑戰就是風機基礎之沖刷問題。由過去相關研究顯示，局部之基礎沖刷直接減少基樁之埋入深度，造成基礎的承載力、變位及動態反應的改變。另外，有些研究則著重在基礎抗沖刷的保護上。因此，離岸風機之基礎性能(包括基礎承載力、動態反應)受海床沖刷之影響相當大，這是被大家所認同的。

單樁圓柱之沖刷機制依據過去的研究顯示，主要是馬蹄形渦流造成底床很大的剪應力加上尾跡渦流產生很強的紊流促成基樁附近沉泥質的局部沖刷。風機之基礎除了單樁式之外尚有套筒式(jacket)、插筒式(bucket)及群樁式，過去之研究有針對套筒式(jacket)、插筒式(bucket)及三樁式基礎沖刷做模型試驗研究或以經驗公式推算沖刷深度之研究，但對超過三支以上之斜群樁基礎之研究就很少。

本次研討會亦有針對多樁(群樁)風機基礎沖刷問題提出解決的理論模式值得參考。評估斜群樁風機基礎隨時間之沖刷預測模式。所提出之沖刷公式係依據流體力學公式(包括 RANS、RNG 及 VOF 公式)及輸沙公式所建立之模式。並以 8 支斜群樁所構成的基礎為探討對象，應用數值模擬以有限差分法來探討模擬的結果。

模擬的結果為沖刷坑以水流方向之群樁基礎幾何中心線呈對稱分佈，最大沖刷位置發生在後排的基樁，其基樁附近的流速也大於初始的輸入流速(2m/s)，因模擬沖刷時間為 2000 秒，但由不同的沖刷時間與深度的分佈圖得知，沖刷坑尚未達平衡，也就是說尚未達到最大的沖刷深度。因為沖刷深度與時間呈現非線性關係，研究建議最好之評估最終沖刷深度之方式為參考現地資料或試驗室進行試驗。

本研究雖僅以水流來進行案例基礎之沖刷探討，但對於波浪及水流加波浪之基礎沖刷，因控制方程式相同，所以依據不同情況，改變邊界條件則本研究之方法也能適用。如果要考慮液化因素及剪力破壞的海床情形，則必須增加相關的控制方程式去修正本研究所建立之模式。因我國所選定的區域因地質屬沙質底床，受結構振動影響，會有液化及剪力破壞海床的情形發生，因此未來研究建議以本研究為基礎來建立新的預測模式。

##### (五) 海洋雷達偵測海嘯之運用

偵測海嘯的高度和前進速度做為防災使用，由於海嘯為單一無限長之長波即水位起伏不易被傳統的波浪和水位儀來觀測，往往失去防災功能而使被衝擊區域不知不覺中死傷慘重，目前較先進的觀測以深



海 GPS 浮標來觀測水位變動，雖可發現海嘯的水位，但亦僅為單點觀測。利用海洋高頻雷達來偵測水位變動和海流流速，已被提出討論。

加拿大海洋網(ONC)在 Tofino 安裝的 WERA 高頻雷達偵測海流的資料，作為偵測來自遠近地震源引起的海嘯。原理為利用短無線電波雷達技術，垂直極化電磁波與導電性之海洋表面結合並跟隨地球曲線傳遞，如此可超越海洋水平面的雷達系統，擷取布列格效應之雷達迴波訊號來量測流場，在這個研究中所採用的雷達頻率，可以測量到 70-85 公里範圍內的海流。往昔研究當考慮環境噪度和背景流場，海嘯的流速必須至少為 0.15-0.20 米/秒才可被高頻雷達可靠地檢測出。另外在較淺水域的大陸棚由於波浪淺化受地形影響反而無法直接探測海嘯引起的流。

為了檢測超出大陸棚外更深海域的海嘯，目前研究提出了新的方法，由兩個遠距離的雷達單元，對海嘯傳播產生的時間偏移量來計算。過去高頻雷達檢測海嘯是透過雷達訊號信號都普勒頻譜直接反算得到(稱 TDA1 算法)，因此，這方式通常僅限用在淺水和大陸棚流速較大的區域(如 0.15-0.2 米/秒)，為了克服此限制提出了新的檢測方式稱 TDA2，藉由兩個雷達單元訊號傳遞偏移的關聯性來觀察。這個方法進行了理想海嘯波序及水深的驗證，也實際應用在鄰近溫哥華隱沒帶所生規模 9.1 地震引起的海嘯個案研究。沿相同雷達波計算雷達信號位移的關聯性，TDA2 方式顯示可以測到小至 0.05m/s 的流場，因此，這方式可以在大陸棚外更深的海域測到海嘯。

海嘯影響台灣人民生命財產的記錄，僅在基隆和安平二處，海底地形的特徵為東部近岸超過 4 公里水深即達 1,000 公尺以上西部台灣海峽平均水深僅約 80 公尺左右，如在台灣鄰近海發生地震引致海嘯在東岸防災預警時間非常短幾乎不可能，西部海岸由於水深較淺引起地震發生海嘯規模應不大防患較為容易，因此影響我國人民生命財產的海嘯應特別觀注由遠域傳來的海嘯波，其中發生潛勢較大的海嘯發生地點以北部的琉球海溝、南部的馬尼拉海溝，引發海嘯而到達台灣的時間估計為 15 分鐘左右，如做好觀測應可有較好的防患措施，減

低傷亡。對於東部海域的海嘯預警可探討以 WERA 高頻雷達與 TDA2 模式研究，及在臺灣東部外海的適用性。目前本所採用的 WERA 高頻雷達系統頻率為 38.5MHz，可量測 10 公里範圍以內的流場，可能範圍太近無法達到早期預警效果，若要應用此方式，須採用量測範圍更大的雷達頻率，以達到早期預警，對於未來在海嘯的預警防災工作上有極大助益。

臺灣東北角海岸常有瘋狗浪發生，常造成海邊遊客或釣客被大浪捲走的事件，對於此類的長浪預測甚為重要，高頻雷達應用在此類長浪預警是可行的，國外有很多的相關研究可以參考。高頻雷達風場監測及漂流木監測在國外已有發展相關模擬系統，可用於在高頻雷達訊號分析上，目前在臺北港船舶進出港受地形風影響，利用此高頻雷達的風場偵測，以了解地形風對船舶進出航道的影響，對船舶航行安全提昇會有助益。近期本所的高頻雷達(WERA 系統)將設置在台中港觀測分析並研發其相關之效能，做為長浪和異常水位之觀測進而對於颱風過後產生漂流木之追蹤等一系列的研究探討。

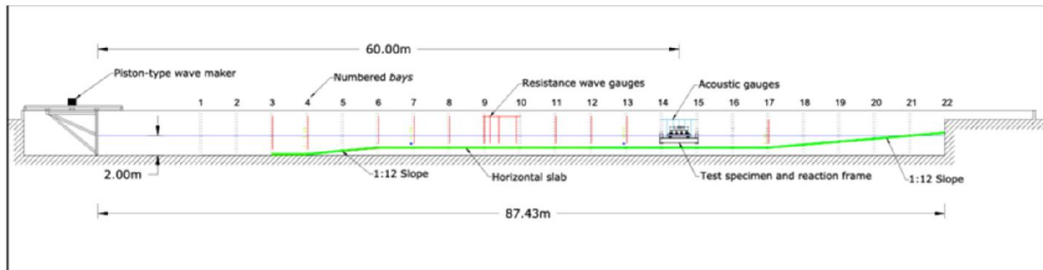
#### (六) 海嘯對橋梁結構物之衝擊探討



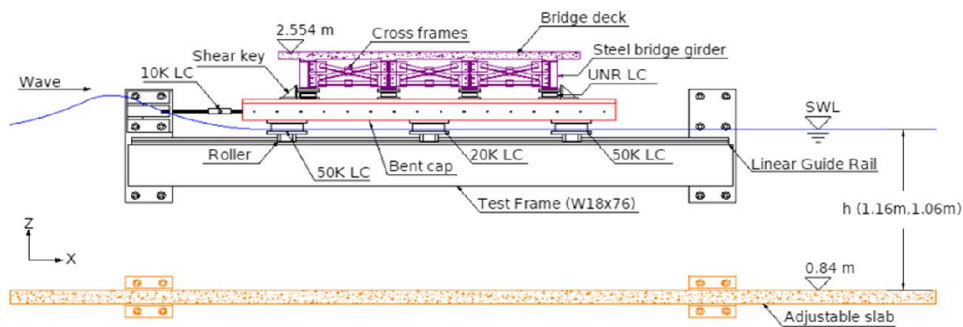
世界上已發生數次的海嘯，如 2004 年南亞海嘯、2010 年智利海嘯、2011 年日本海嘯，皆對人類造成巨大的傷害。然世界各地有許多對於海嘯之研究，對於海嘯波之特性模擬，並沒有一致性之結論；主要係因為海嘯波為一波長無限長之單一波，其能量的推算和波之變形，及能量受地形的影響消散不易，因而當形成對陸地或海中之船舶結構物做較大的衝擊，往往造成極大的傷害，故在理論和實驗上未有較理想的推估下，仍然是一個相當重要的課題。因而海嘯對於結構物之衝擊，即流體與固體之間的交互作用，還是一個新的科學領域，雖有數值模擬之工具，但都尚未被以合理的實驗驗證。因此，使用水工模型試驗，模擬海嘯沖擊橋梁之過程中，海嘯隨時間距離之變化及其對橋梁受力狀

況，做為未來設計防災使用是可行方式，本所亦有 100 公尺長的斷面水槽可供使用。

本研討會上亦有論文述及大尺度的波瀾波衝擊橋梁之成果發表，其研究採試驗在不同的橋梁條件、海嘯條件造成之衝擊差異；實驗提供了詳細的數據資料，可供非線性流體動力學、波與結構的相互作用之數值模型，做為驗證之依據。



試驗使用 100 公尺長、3.6 公尺寬之波浪水槽，並在水槽表面和橋樑上，裝設量測水位、壓力、波速儀器，使用造波機造出模擬海嘯之孤立波，觀察其與橋梁結構之相互關係。橋樑上的結構的是 1 比 5 之縮尺度做成，使用鋼筋、鋼樑和鋼跨框架及混凝土等做成，以模擬真實之橋梁結構。



此外在不同橋梁之結構條件下，如橋梁之角度、剛性或彈性底座、有無橋面洩水孔等，配上不同海嘯波高、初始水深等之水利條件，總共做了 288 組試驗；以清楚瞭解不同規模海嘯來臨時，量化各種橋樑結構物之影響狀況。其重要結論如下：

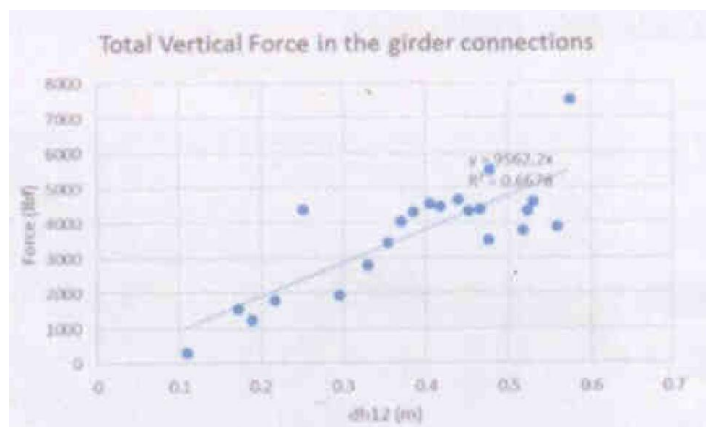
1. 有剛性底座的橋梁在海嘯的衝擊下，垂直受力小於水平受力，也就是垂直方向之防護較水平方向穩固。

| ST2            | Total Forces(lbf) |            |
|----------------|-------------------|------------|
| Wave height(m) | Vertical          | Horizontal |
| 1.40           | 4892              | 3756       |
| 1.40           | 4451              | 4718       |
| 1.40           | 3768              | 4807       |
| 1.40           | 4701              | 6074       |
| 1.40           | 4589              | 7754       |
| Average        | 4480              | 5422       |
| St. Deviation  | 384               | 1379       |

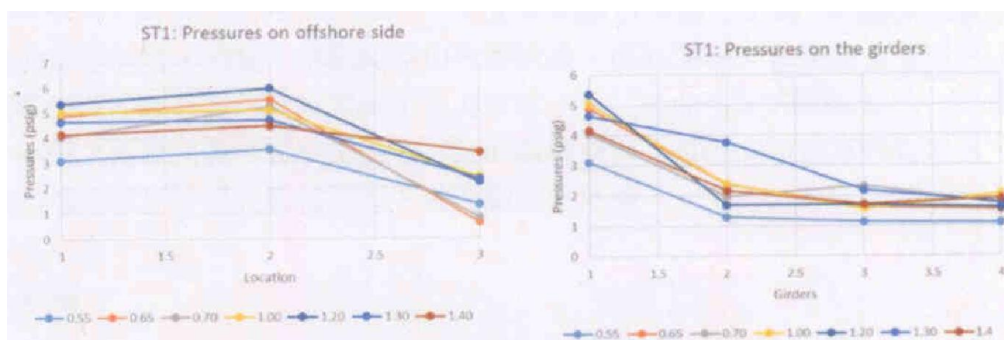
2. 有彈性底座的橋梁在海嘯的衝擊之下，垂直受力於水平受力均較小，也就是垂直與水平方向之防護力均優於沒彈性之底座。

| ST3            | Total Forces(lbf) |            |
|----------------|-------------------|------------|
| Wave height(m) | Vertical          | Horizontal |
| 1.40           | 4710              | 4919       |
| 1.40           | 4044              | 4480       |
| 1.40           | 4487              | 5097       |
| 1.40           | 4809              | 4660       |
| 1.40           | 4377              | 4628       |
| Average        | 4485              | 4757       |
| St. Deviation  | 269               | 221        |

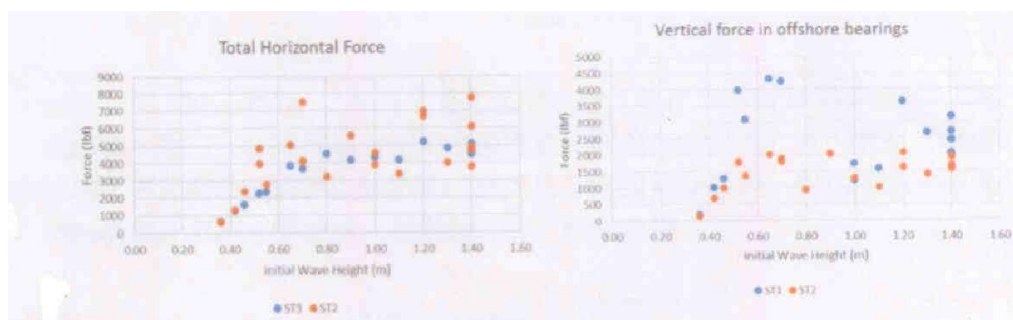
3. 橋墩在海嘯的衝擊之下，垂直受力隨著高度變高而變大。



4. 橋墩在海嘯的衝擊之下，離岸遠的橋墩所受壓力遠比離岸近的橋墩大，最大差異可達3倍之多。



5. 在海嘯的衝擊之下，水平和垂直力大時慢慢增大而不是瞬間(0.5秒內)變大。最大水平力與垂直力發生時間很接近，都是在海嘯波到達橋梁中間後不久。



臺灣地質變化複雜、地形陡峭，河川短促、河床坡度大且雨量集中，在極端氣候情況下，河流對於橋梁基礎沖刷之研究甚為重要，本所在跨河橋梁安全預警系統已研擬了一套已具作業化的模式，此模式係以豪大雨所造成洪水災害時對下游橋梁的影響程度主要以工程角度來看，橋樑結構安全的評估角度切入研發；以用路安全的角度切入，即是以橋梁可否通行來做預警判斷，本所亦有相關研究，主要探討河川流量和長浪溯昇造成波流交互作用而引起之水位湧升，來預警橋梁可否通行。即時、有效地減少人員傷亡，本所依國外研發經驗可善用現有之設備及研究基礎，結合二個預警再加上海嘯波對結構物的衝擊力，以水工模型試驗來建構較以往完善之用路安全與結構安全雙重保障的預警模式，本所近期應可以此方向研擬相關的研究課題。未來政府推動的綠能風電產業，因離岸或陸域風機發電基礎結構安全甚為重要，針對模擬海嘯、颱風、長浪等，對結構物衝擊之影響，做為風電



場結構物材料、工法、選址、維護之參考依據應是可行之方向。

### (七) 海嘯波衝擊結構物之模擬技術

針對海嘯波對結構物衝擊力的推估模擬，以二維數值模式及物理模型試驗，模擬海嘯對沿岸陸地溢淹特性，並提出海嘯對海岸結構物衝擊力評估方法，提供予相關單位作為近岸構造物強度評估及風險管理參考依據；數值模式透過求解二維非線性淺水波方程式模擬海嘯波傳遞及溢淹行為，考量大尺度海嘯模擬需耗時甚久，並透過圖形處理器（GPU）技術縮短演算時間，以提升海嘯模擬效率。

為測試該數值模式用於海嘯波傳遞及溢淹等行為模擬可行性，文中藉由與室內模型比對來驗證數模結果準確性，作者使用長 48.8 公尺、寬 26.5 公尺及高 2.1 公尺大型水槽，模型縮尺為 1:50，起始水深為 0.97 公尺，設計底床坡度由造波機起分別由 1:15 及 1:30 兩種比例所組成，所採用造波機可產生最大衝程 2.1m 公尺及速度 2 公尺/秒，以模擬海嘯生成、傳遞及溢淹等行為，如圖 1 所示；數值模型計算區域採 166x335 均勻格網分割，起始水深為 0.97 公尺。

為評估海嘯對海岸結構物衝擊力，作者將文中建議海嘯衝擊力評估公式與美國聯邦緊急事務管理總署（FEMA）經驗公式進行比對，希冀能作為近岸構造物強度設計及海嘯風險管理參考依據。

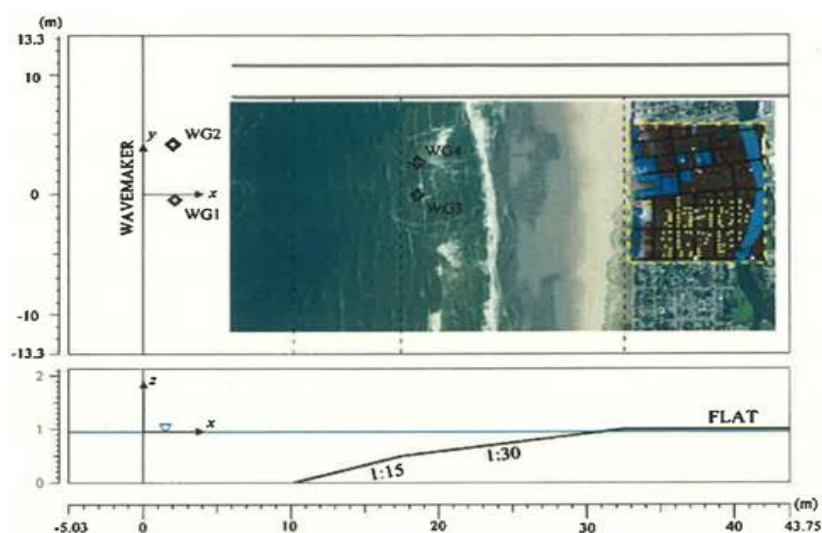


圖 1 室內模型試驗配置圖

試驗研究之重點摘述如下：

### 1. 波高、前導波 (leading wave) 到達時間及波速模擬

驗證結果顯示，數值模擬與室內試驗海嘯波高值及前導波到達時間相仿，波速於部分量測點呈現較大之差距(如表紅色標註處)，整體模擬結果顯示模式可有效推估海嘯波高及傳遞等運動情形，如圖 2 所示。

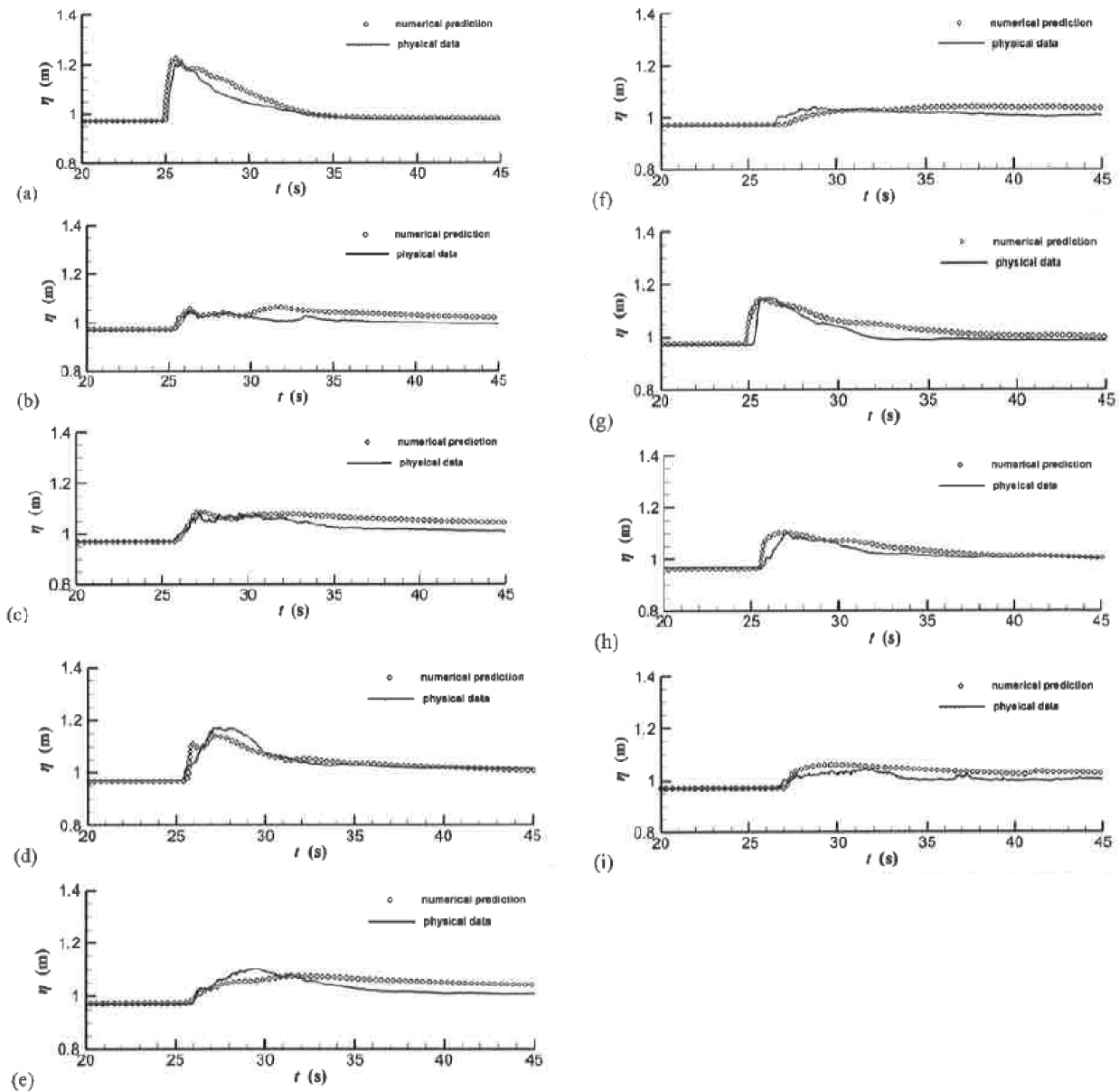


圖 2 數值模型及室內試驗於不同測點波高值比較圖

## 2. 海嘯衝擊力 (impact) 評估

本文所建議海嘯衝擊力評估公式與 FEMA 經驗公式比對顯示，兩公式除於 B1 量測點峰值呈現較大差異 (約 250N/m)，整體模擬結果相似，顯示該公式應可提供予相關單位作為海嘯對海岸構造物衝擊力評估參考，如圖 3 所示。

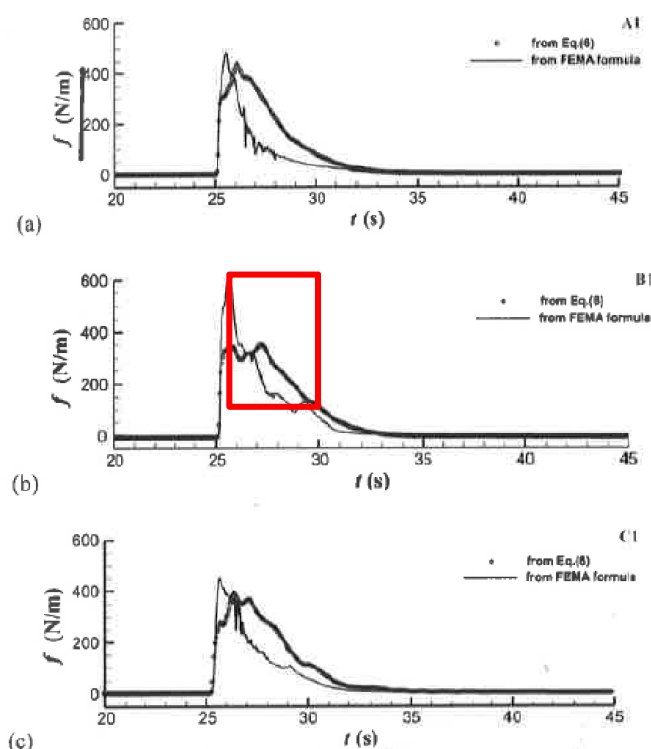


圖 3 模式建議公式與 FEMA 經驗公式於不同測點衝擊力比較圖

臺灣位處環太平洋地震帶地震頻繁，又因位於颱風行徑路線，海嘯及長浪對沿岸構造物(如風機、港灣構造及橋梁等)的影響實屬重要課題，文中衝擊力評估方法可納入中心海嘯模式 COMCOT，依據保護標的設計不同消能設施及構造物型式等，並輔以大型水槽或平面試驗評估設計良窳，提供作為海嘯及長浪風險管理或結構物設計等課題參考依據。

中心現有海洋雷達(Ocean radar) WERA，可測量海域表面海流、波浪及風向，觀測距離可達 25~50 km，所測得海象資訊可提供中心海嘯模式 COMCOT 修正及預測 50 km 外海嘯波或長浪傳遞情形，提升海嘯發生或颱風期間海況模擬準確度，提供作為災時應變及風險



管理等課題參考依據。

本文作者及 FEMA 所提海嘯衝擊力評估方法，建議可納入本中心 COMCOT 海嘯模式評估近岸構造物、離岸/陸域風機及橋梁構造物等設計強度及風險管理參考依據。海嘯為一蘊含龐大能量水體，所經之處摧枯拉朽，建議可針對不同保護標的（如民宅、離岸/陸域風機及橋梁等）設計不同型式消能設施，以數值模擬及物理模型試驗評估設計良窳，作為工程設計及海嘯消能等課題參考依據。相關文獻均顯示 GPU 技術可有效縮短演算時間，未來如考慮將中心相關數值模式及系統以即時展示方式呈現（如海嘯模擬與預警系統等），建議可參考增設 GPU 設備，提升整體運算效能。本中心業已針對臺灣建置一套完善海嘯模擬系統，建議可依據推估結果結合交通號誌及大型看板，即時展示規劃之避難逃生路線、海嘯可能溢淹範圍及預估到達時間等資訊，提供民眾參考依循。

#### (八) 潮汐發電技術

發佈在本研討會上的皆以討論潮汐發電為主，恒流並非世界各地皆有好的或適當的流場可供利用，因此研究較少，我國正好有黑潮通過，黑潮自然會成為我國在再能源發展的重要一環。但潮汐發電在設置上較為簡易亦是可發展的方向之一，本研討會有潮汐發電研究發表，概述如下供參。

潮流能屬於再生能源，具有能量大、散佈範圍廣、容易預測(特性)以及低污染的特點，國際上已趨向商業化的開發及發展。潮流發電主要分成潮汐發電和恒流(黑潮, 台灣)為主，目前發展的研究發布在本研討會上的皆以討論潮汐發電為主，Marine Current Turbine 公司的商業運轉潮汐能計畫，其主要的方案是設計三角樁加上水平方向長臂(支架)連接兩機組，其發電之裝載容量為 1.2MW(百萬瓦)。另一家公司開發的 EVOPOD，其採用半潛式(semi-submersible)水平軸向發電機設計，具有極強可面對極端海況環境的能力，其輸出功率為 37kW，以上主要介紹潮汐能發電機目前的發展情況。

在 Daishan 的潮汐能展示計畫中，採用雙轉子 Rotor 的柵欄型(Gate-type)潮汐能發電機，其繫泊(碇錨, mooring)系統以及具有安全性及效益性的潮汐能量轉換器(發電機)之設計在這篇文章提出，已發展設計之能量轉換器(發電機)的結構與繫泊系統(mooring system)，而此裝置的繫泊拉力(mooring tension)與運動反應(motion response)在不同作用情況下運用在於柵欄型(Gate-type)-潮流能量轉換器(發電機)的開發。並提出這種形式發電機的設計參數及對設計承載平台的規範要求，由理論計算出發電機之功率。柵門式承載體的尺寸，則是依據結構強度來設計，柵門型式的發電站(power station)在結構與繫泊系統的設計是介於半潛式與重力式之間。繫泊系統之錨定形式根據實地潮流變化與設計準則要求進行調整，金屬錨定鍊條的材質為抗腐蝕的鑄鐵，而上方聯繫發電站的鍊條則是採用醃胺纖維 aramid fiber 纜繩。

並利用有限元素分析軟體 ANSYS AWQA 來計算本研討會提出的理論結果、設計參數和建置經驗皆可做為未來發展潮汐發電的重要參考。文章分析皆由軟體執行，若能搭配實驗進行佐證研究會更完善。另外，環境條件的設定是否具有代表性，或許只是狀況比對而已，最後計算結果可和規範要求比較安全餘裕之部分，未來對於國內在設計離岸風機時之波浪動力影響可進行研究。我國正積極發展海洋再生能源，目前以離岸風電之發展已形成我政策在執行，但針對黑潮能源的開發，尚在試驗研究階段，由於我國具有地理位置之優勢，更是發展太平洋黑潮發電最好的試驗場所，日後可針對此部分再加強進行研究，有助於洋流能源之開發。

關於潮流發電與黑潮發電的不同點列於下表：

|      | 潮流發電  | 黑潮發電   |
|------|---|--|
| 能量蘊藏 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 較少；</li> <li>● 國內波浪發電可開發潛能較高區為東北角外海及澎湖地區，篩選波能 10kW/m 以上，12 海浬領海外界線內水深 20~100m 區域，經初步排除限制區域，計算出可開發量達</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 較多；</li> <li>● 黑潮發電開發潛能估計至少可達數個 GW(十億瓦)，冬季可能降到 4GW，夏季可高達 10GW。</li> </ul> |

|     |   |  |
|-----|---|--|
|     | 2~4GW。  |  |
| 穩定性 | 雖可預測，但台灣於夏秋兩季常遭遇熱帶低壓的影響。  | 流速較穩定，的平均流速可達 1~1.5 m/s，流量則介於 20~30 Sv 之間  |
| 技術性 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 波浪能發電系統可設置於海岸線或離岸的近海區域，不需要深水繫泊與非常長的海底輸配電纜，缺點是波浪能易遭地形破壞，但可能符合條件的波浪能獲取場址較少。</li> <li>● 國內外有各式的渦輪機組已開發：渦輪機組分為垂直軸、水平軸、振盪水翼及套管式。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 黑潮流經地區海床水深極深，將使海事工程倍增困難，存在提高建置與維護成本，出目前技術成熟度較低、成本競爭性亦較低。</li> <li>● 黑潮發電已在屏東小琉球東南方海域進行黑潮發電現地試驗，已初具成效，技術領先其他各國，日本預計二年後再做現地試驗。</li> </ul> |
| 方向性 | 雙方向(潮汐漲退)   | 單方向(流向)  |

鑑於以上之討論，雖然潮汐發電台灣地理上較缺乏可運用之海域，台中、彰化海域潮汐達平均 3.5 公尺應是可嘗試之地點，但金門、馬祖具有 5 公尺以上甚至達 6.5 公尺之潮汐，以其發電量對金門和馬祖應有重要的貢獻度，可考量做開發研究，黑潮發電其發電量數穩定，黑潮流速發電的條件相當好，目前我國已有從事研發，建議應加強研發對再生能量的運用，應具一定的份量，本所應可針對海象調查做進一步配合黑潮發電的政策做系列研究。

### (九) 太陽能船之實際運用

船舶能耗龐大，乃港口和沿海地區污染物排放的重要來源，受到世界各國愈來愈多重視。近年 IMO 制定了更加嚴苛的防污染公約，綠色船舶技術日益成為造船航運業競爭力的關鍵。隨著光伏發電技術的逐步成熟，可再生、潔淨的太陽能在造船應用上受到極大關注，太陽能船於航行中最大程度地利用光伏電能，降低柴油發電機組輸出功

率，使船舶在壽命週期內燃油消耗量和溫室氣體排放量顯著下降，故太陽能船成為最具推廣及應用潛力的綠色船舶技術之一。

以船舶型態分類可分為小型船舶及大型遠洋船舶，對小型船舶而言，因其所須電力相對較小，由太陽能轉換而來的電力不僅用在驅動的主動力系統，亦可用於照明、通風、通訊、導航等系統。對大型遠洋船舶而言，所須電力較大，故須以獨立型及併聯型兩種模組使用太陽能。獨立型模型不併聯其他船上電力系統用在海事電力設備的輔助系統併聯型則併聯其他船上電力系統，當太陽能足夠時則先使用太陽能轉換之電力，當不夠時則併聯使用其他電力系統。

本研討會中亦有提出太陽能船的概念之研究成果，利用太陽能光電技術，採用獨立型及併聯型兩種運作模組，將綠色船舶運用在遠洋 5,000 車位的汽車卡車專用船(5000 PCTC)上。獨立型模組係將太陽能轉換而來的電力用在輔助電力，如：照明系統、通風系統、廚房設備等；併聯式模組則將太陽能轉換而來的電力併聯船上其他電力系統，並由船舶中央電力站統一管理電力分配。

對於陽光充沛及光電產業興盛的臺灣而言，太陽能產業將是未來能源發展的重要課題與趨勢，國內目前太陽能船舶之發展多以近岸遊艇為主(如：高雄愛之船、明德水庫富貴屋太陽能遊艇等)，未來可持續研發推展至更大型的船舶。

據環保署 103 年「港區污染排放清冊建置及管制策略研擬」計畫之排放清冊推估結果數據顯示，目前國內各港區空氣污染排放量不容忽視，甚至佔當地行政區縣市排放量比例達 20%，其中係以船舶為最主要污染源，故建議未來可逐步研發推廣太陽能船至各碼頭的港勤工作船，以降低港區空污排放量。

同時依據行政院 101 年 2 月「千架海陸風力機」計畫，將以「先開發陸域風場，續開發離岸風場」作為推動策略，計畫目標將於 109

年前完成 1,200 MW 陸域風場設置，以及 520 MW 離岸示範風場，續於 114 年前完成 3,000 MW 離岸風場設置，兩者合計共將設置 1,000 架以上風力機組，為執行風電產業使用再生綠能源，其施工或維修長期所需作業船舶在港區之空污排放量，將對港區的空污管理必將貢獻很大復加上港區的工業污染量，對港埠地區的空污必然會引致居民之健康為害，抗爭在所難免。故建議後續應將太陽能船之研發並推廣至離岸風電之施工船、維修船，減少空污排放量為政府必然的政策目標，本所將先建立港區污染排放增量的預測模式先行研發做為空污控制和改善之依據。

#### (十) 利用單晶片之微電腦處理動態船席控制技術

未來台中港將發展為臺灣首座離岸風電港口，原台中港進出貨櫃船、雜貨船、LNG 船.....等又加上風電產業所增加的施工船、拖船和工作船可預期未來進出港及航道內船舶航行會相當繁忙，更應及早因應船舶流量的增加帶來航安維持與管理的問題。復離岸風電勢必造成周邊海域流況改變，運轉時對於各種監測設備擷取的訊號造成影響，且系統受設備及天候限制，傳送、接收距離有限，資訊之覆蓋範圍有限，在離岸風場場區若超過訊號所能接送之距離，將無法監測及警告附近船隻，如何避免於港區周邊船隻發生碰撞，如何引導船舶進港時，如何引導船隻停泊，如何避免通訊設備受風機運轉結構干擾，需進一步研究。

增加船舶停靠時船身穩定，係目前航安的主流之一，故有發展輔助系統的必要，目前海上設備各有缺點，紅外線受制於能見度、雷達受制於天候、GPS 目標低速行駛容易出錯，針對此問題發表文章內有提出船席動態系統結合 AIS(動態船舶)發展出動態影像，初步可輔助導航協助指席停泊。

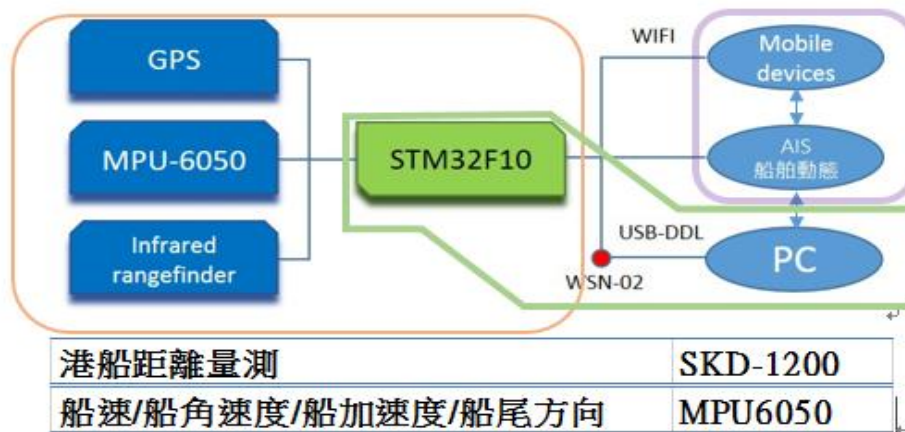


圖 1 船舶控制晶片(SCM 性能高/花費低/低耗能)與周邊配置圖

(1) 船舶控制晶片與儀器：

目前系統係以 STM-32F10X 晶片處理港船距離量測之 SKD-1200 及 MPU6050 資料，蒐集船身運動量包括船速、船角速度、船加速度和船尾方向；I<sup>2</sup>C 訊號透過 SCM 可以轉換成 TTL 訊號再進行轉傳。

(2) 船舶控制晶片與 PC 傳輸：

WSN-02 傳輸優點如下：體積小、高敏感度、傳輸距離遠、訊號傳遞迅速，可以減少干擾，改善傳輸性能。使用波頻率 9600(電子通訊頻率)可與 PC 傳輸溝通。

(3) 船舶控制晶片、手機與船舶動態傳輸：

SCM 已經能與 AIS 資料應用，有效監控船離岸距離、速度、加速度、角速度、動態影像大大增加航安，惟手機介面仍受制於 WIFI、藍芽技術或 GPS，目前尚有改善空間。

(4) 停港分析：

本文軟體將於初始化後開始接收船隻動態參數，並於邊界定義後，進行船舶動態系統分析並決定區域，持續與目標船舶 PC 相互溝通，動態監測至停泊落錨為止。

經由微電腦單一晶片即可結合 AIS 系統，更精確而簡便的監控船舶進港後的指席靠泊，應可增強 AIS 系統僅能監控而無法引導船舶靠泊的功能，值得我國參考亦可考慮在未來風電區域的施工船舶監控。

目前本中心正提出「離岸風能海下工程技術研究計畫(106-109)草案」預計分階段研究五項子計畫，其中『離岸風電建置與航安技術發展計畫』，將結合船舶動態(AIS)及電子海圖系統發展預警系統達成下列目標：(1)初步段掌握港區船舶動態，當鄰近船隻動態過於相近時預為警告、(2)持續監控港區船舶動態，引導船隻進出港，協助船舶停泊、(3)打造全港區 WIFI 環境，以 WIFI 作為中繼傳輸設備克服訊號與中繼距離不足問題，提供各船隻碰撞前之預警，確保航安。此項工作值得本中心進一步研發，完成近岸海域航行船舶的監控指揮與管理甚至救災救援。

#### (十一) 淺水域二船交會之操船模擬

兩艘船舶互相接近或通過時產生交互作用 (Interaction Effect) 兩船互相接近或通過時，將在艏部形成低壓區，船舶或結構物存在之環境效應，包含水深效應、干涉效應、岸邊效應、拖船效應、繫纜效應等。船舶航行至港口附近時，港口附近或港內水深較外海淺，船舶與海底底床之間隙較小，船體四周之壓力急劇變化，造成船體有下沉的現象，而增加其流體阻力；同時，螺槳附近亦易發生大量渦流，而降低螺槳之效應，其淺水效應所引起之流體阻力將影響船舶前進速度與其運動。若船舶航行於平行之水道中，且船舶平行於水道移動，則船舶之運動易受近岸邊之橫向吸引力及水平轉之力矩所影響。水面上有兩艘或多艘船舶航行時，或船舶航行通過繫泊中之其他船舶的情況下，兩船間側壁之影響類似前述岸壁之影響，易造成船舶水平轉運動之效應，其間之相互作用常隨著船舶前進位置之不同、船舶噸位差距而有所不同，其影響主要由於船舶前進時，船艏所引起之發散波將影響在其附近船舶之運動與受力。另外，船舶前進時，船艏與船尾之水位通

常較船體中央為高，此將造成其壓力在長軸方向分佈的差異，而造成對其附近船隻之吸引力或排斥力，而影響船舶航行之安全。

鑑於以上船舶在港內或進出港之航行如有二船或多船交會，會有相當複雜的物理現象如又加上船長的操船技術那就很難去做驗證。目前亦以真時操船的方式來測試航行於港內或航道上之安全評估，但使用之數值模擬皆未考量二船或多船交會的影響性。快速操船就把人為因素剔除，僅以作用力來模擬船模的運動特性，即以數值水槽來替代。

船舶與海洋工程數值水槽是指利用電腦數值模擬實現船舶與海洋工程物理水池的功能，包括造波、造流、波-波、波-流、波-流-結構物相互作用的數值虛擬實驗。主要優點有：它節省大量場地、人力和費用，重複性好，無外界干擾，信息量豐富等。隨著電腦數值模擬方法的精進，以及持續增長的海洋資源開發的需求，船舶與海洋工程數值水池研究已成為國際船舶與海洋工程學術界的研究熱點。

本研討會亦有針對二船在粘性流場和淺海，及相同的速度和固定的分離距離條件下，結合 k-w SST 紊流模式，求解非穩定雷諾平均的 N-S 方程式之兩船相互作用。數值模擬結果與根據實驗流體力學方法在佛蘭德斯水力學研究室 (FHR) 拖曳水池進行試驗之阻力、側向力、偏航力矩相比較，波高測波儀數值與模擬結果證實為符合。藉由此研究可以更清楚瞭解兩船間之相互作用、水面波浪紋、船體的表面壓力分佈、非對稱的船尾波流和渦流的波浪模式。

當兩艘油輪運行在淺水區時，駁運操作過程中，其定性數值模擬結果與實驗流體力學方法之資料比較發現兩船相互作用具有不可忽視的錯誤。研究結果證實，於船駁運操作期間，其粘性流場之數值模擬為可靠。兩船運行間之互相吸引作用力、船尾不對稱的渦流場、及在淺水中孤立波的影響。此現象的模擬如何加入目前國內所使用的真時操船內來提高模擬可靠度，將是未來應開發研究的方向。



本研究成果僅於數值模擬時單純只針對兩船間運行之交互作用，並更無考量實際流場、及風場所帶來的影響。如果可結合本所發展之臺灣近岸海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，利用風場及氣壓場，透過波浪模式、水位模式、流場模式及海嘯模式，分析單一或兩艘船舶，於國內主要港灣航行之分析。對於減低港內航行風險將有很大助益，尤其目前我國液化天然氣載運船，從港外進入碼頭區尚需 86 分鐘的港內航道中的航行時間，在航行上受其他停泊船之威脅是隨時存在，雖其作業規則明定，LNG 船在港內航行期間不得有二船交會的情況發生，同時 LNG 船停靠接收站期間，船舷外側 100 公尺內之水域及陸上適當區域應劃為警戒區域，未來台中港如成為風電產業港時，進出港口或在港內航行如施工或維護的小型船舶在港內之行動，對港內航行安全是一種警訊。應有及早的防備設施，對真時操船的模擬加入粘性流的考量是提高操船精度的方式應加以考量與研發。

#### 四、建議

- (1) 再生能源的開發為我國重要的國家能源政策，其中最積極開發的綠能源為風力發電，建議在台灣西海岸地區設置離岸風能發電區，應著重風力發電機在沙質底床上的保護工法之先期研究，以維護風機之生命週期，本所應可從事相關之理論與試驗研究。
- (2) 離岸風力發電機受波潮流之作用力或衝擊波壓力之研究，建議列入重要的試驗研發議題。
- (3) 風力產業的發展必需有強力的後勤支援，因此工作船拖船的進出港必然增加航道的繁忙，航安監控和救援的相關研究與建立應列入研發建置之考量。
- (4) 台中港必然成為風力產業的重要港口，其鄰近海域航道管制監控和海氣象預報應有詳細的預報系統可供航行與施工管控，應先行研發建置。
- (5) 離岸風力發電機之維護策略影響未來的營運效率，近岸腐蝕環境調查與分類就成為維護延長生命週期重要關鍵課題，應及早建立觀測系統，另如能加入材料疲勞調查監測必能更有效的減輕未來的營運維護經費。
- (6) 台中港區受區內產業生產的影響。造成空氣污染，尤其 PM2.5 已明顯升高，影響居民建康逐漸受重視，未來離岸風力發電機開工後之施工船舶、勤務船舶會更多，其排放之空污對鄰近地區會有明顯嚴重之影響，應事先建立港區空污之預警系統，監控並減低污染量，同時必需針對太陽能船的研發來取代一般燃油船舶。