

船舶航行於臺北港風流之影響分析

羅德章 國立高雄科技大學海事資訊科技系教授

蘇東濤 國立高雄科技大學航運技術系教授

廖慶堂 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

摘要

本研究蒐集臺北港海域的海潮流與風的資訊，包含交通部港灣技術研究中心於外海測得的海流流速與流向、風場資料包含風速與風向。本研究採用數值方法分析 2013 與 2014 年四季的潮流的變化包含流速與流向，同時明確指出臺北港海域在漲退潮的各時間點的海流分布，並且完成數值與觀測數據的比對以確認模式的正確性。接著模擬裝載 10000TEU 與 13000TEU 的貨櫃船受強風的影響，同時計算不同來向的風對船舶在不同航向的影響，船舶受風力造成的合力大小與方向。本研究亦考慮風與

流對大型船舶進入臺北港航行的影響，以數值模擬船舶航行於航道入口遭遇的強流，考量不同船速航行於航道入口的航行狀態。於不同海流流速與強風作用下對船舶航行的影響也將進一步探討，同時評估船舶偏行之情況。為了更能清楚了解大型船舶進出港遭遇強流與強風的變化所引起的船位偏移，進而可能危及航行安全，了解航道入口的橫流與強風作用下對船舶進出臺北港的影響，同時將模擬結果規劃出較佳的航路，以確保航行安全。

一、計畫概述

臺北港在逐步擴建下，外廓防波堤的設置，維持了港內水面的靜穩。但堤防設施新增亦改變附近的海流分佈，尤其以航道入口更為明顯，因船舶航行於航道入口在橫流作用下影響船舶操縱，又因地形因素臺北港海域偶有強風，因此必須了解海潮流與強風對船舶進出臺北港的影響，進而提供港務公司

與相關海是從業人員的參考依據，確保航行安全。臺北港海域冬季盛行東北季風，而夏季以西南季風為主。在天候惡劣時，風速及港口流速流向的變化對船舶進出港之航行安全有相當大的影響，為了評估船舶進出港遭遇強流與強風的情況，應用數值模擬分析大型船舶於臺北港海域航行是有效率的方法。本

計畫應用模擬分析臺北港冬季漲潮潮流由東北往西南流對操船的影響；夏季退潮潮流由西南往東北流對操船的影響。計畫擬以數值模擬配合冬夏季相同風向及 7 級風力下產生之較嚴苛之潮流，計算港域附近的海流流向。計算完成的海潮流條件，作為大型貨櫃輪進出航行的邊界條件，以數值模擬船舶航行

於航道入口遭遇的強流與強風，考量不同船速航行在不同海流流速作用下的比較分析，同時評估船舶偏行之情況。本計畫須考量到航道入口西南流與東北流對船舶航行的影響，計算在不同海流流速下，航道入口附近的流場變化，同時評估對船舶操縱的影響。

二、研究方法

2.1 數值模式與 3D 建模

數值模式本研究採用全三維水動力模式模擬臺北港海潮流分析、船舶受強風作用產生的合力大小與方向、船舶航行入港受橫流的影響、船舶由外海航行入港的數值模擬。本計畫依據區域附近之地形與港區資料，透過數值模式進行計畫區海潮流分布之推估，以 2013 年與 2014 年四季潮位資料進行海潮流流速與流向分析。船體運動為六軸自由度的運動，包含船模相對於質心而產生分別為縱移（沿 x 軸位移）、側移（沿 y 軸位移）、起伏（沿 z 軸位移）及橫搖（繞 x 軸旋轉）、縱搖（繞 y 軸旋轉）、平擺（繞 z 軸旋轉），六個自由度（6 Degrees of freedom, 6DOF）的運動。其中起伏、橫搖、縱搖因受回復力和回復力矩影響為振盪運動，而縱移、橫移、平擺因無回復力和回復力矩影響，故為非振盪運動。本模擬主要解船舶耦合運動方程，採用二個直角座標系統來描述，即船體座標系（body system）與數值航道座標系（space system），或稱

Body-Fixed 與 Earth-Fixed（Suleiman, 2000），以下定義船舶為船體座標系，相對於數值航道移動，其 (x, y, z) 之原點在空間中固定不動，而船舶於 $t = 0$ 時的座標軸相對平行數值航道座標軸。因船舶具有 6 DOF 運動，船舶的原點設定於質心，質心點相對於船舶固定不動。船舶在波浪中的耦合運動，實為一非常複雜的問題，可應用計算流體動力學（CFD）模擬船舶與水波交互作用的現象。

船舶尾跡波的物理特性可由傳統的 Kelvin 波系統與幾種不同型態非線性要素組合合成。Kelvin 波的理論可用來討論線性船跡波，Henning（1999）有詳加探討船速與船跡波週期的關係。Amromin（2004）針對船舶在高速航行產生尾跡波的型態，設法用數學積分的方式去描述 Kelvin 波理論所忽略的地方。基本上興波的大小與船舶大小噸位有關，大船其排開水體的體積愈大；由波高的時間序列分析，船速愈快對水體的擾動愈大，其興波效應愈明

顯；船舶航行於淺水區，由於船底與水底間之間隙減少，通過船體與船底之流量被限制，水流會加速至船側流過，而船舶四周與水底水壓均降低，會使船體下沉量增大，結果興波效應也會大增。船舶在淺水航行時艏波之夾角會漸漸增大，會增加興波效應。

關於船舶水動力的分析，Krappinger（1960）曾研究船模於靜水中強迫起伏運動無因次阻尼係數值之試驗，得知該阻尼係數隨 LPP/B 值增加而增大，隨 CB 值增大而減小，在縱搖運動中顯示船舶附加質量與船舶自身旋轉慣量相當，所以計算船舶縱搖時，其附加質量旋轉慣量應加以考量。在有關船舶運動性能的理論研究方法中，截片理論（Korvin-Kroukovsky 1961）因克服了其它理論不能用幾何形狀來描述船舶的缺點，並假設流體在船模的每個截斷面為二維流動，捨去不計流體沿艏艉向的相互影響，將三維問題簡化為二維思考，由截片理論在計算船舶動力反應與船模試驗結果，仍有其一致性。Salvensen（1970）分別提出了船舶在斜浪中的各種運動及其負荷的計算方式，其主要的區別在擾動力計算方式和有無底部效應等，更增加了預測船舶在波浪中運動的可信度。在有關 CFD 應用中，Wilson 等人（2007）曾利用 CFD 數值軟體來模擬船模球型艏之形狀變化，對船模遭遇波浪的影響，Campana 等人（2006）曾利用 CFD 數值軟體來模擬，船舶行駛於波中之船體最佳化設計，Eca（2009）曾在船舶艉流計算上，利用阻力係數來預測其數值結果的準確性，Toxopeus（2009）曾

提出使用黏性流體計算來導出空船船殼之數學操控模式，在其設計上評估船舶運轉能力，必須利用可信賴度高的模擬模式，Delefortrie 與 Vantorre（2009）曾使用流體化參數，預測貨櫃船在含泥航行區域之作用力，來評估船舶航行安全性。在以上各研究中，可發現 CFD 的技術於工程設計和分析與船舶水動力分析已被廣泛的應用。

本研究應用 FLOW-3D 軟體來進行模擬分析，該軟體為擬真的科學計算軟體，可應用於近岸水動力計算與船舶水動力分析等。其理論方程式為質量守恆方程式、動量方程式以及能量不減方程式等，它可應用在各種科學與工程領域，廣為工業與學術上使用。本計畫所研究的物理現象，為波浪力學與船舶水動力結合之耦合問題，其所遵行的數學模式為 Navier-Stokes 方程式。因現今之解析法仍未能完全解析此偏微分方程式，本計畫將相關臺北港以及海底地形模型建置於 FLOW-3D 軟體，其中數值驗證，以三維黏性模式進行模擬分析相關流場及波場。

以數值方法處理自由液面（Free Surface）變化相當不容易，因為自由表面非為固定而隨時間移動，而流體體積法（Volume of Fluid, VOF）提供了經由固定網格追蹤流體界面的方法，且能準確處理界面，換句話說，流體體積法是對自由表面或二種流體界面的一種數值處理方法。流體體積法乃 Hirt 和 Nichols（1981）二人所提倡，係將計算之網格點額外再定義一流體比例函數 $F(x,y,z,t)$ ， F 之位置與壓力變數相同，皆位於網格中心點，其值介於 0 和 1 之

間，若 $F=1$ 表示流體完全充填；若 $F=0$ 為沒有流體；若 F 介於 0 和 1 之間表示部分充填，而部分充填的元素就是流體介面，由於自由表面會隨時間而移動，因此每一網格之 F 值也跟著變化才能反映此表面之變動。目前大部分的 CFD 軟體，在自由液面運動的計算，多是根據此一方法進行開發。

2.2 船舶風壓計算

蒐集臺北港現有的海氣象資料，本章蒐集出臺北港海域的風場資料，分析風力條件下在 12 m/s 與 19 m/s 的情況下，船舶在不同航向遭遇不同方位的風作用下，船舶所受的風壓與合力方向，以做為模擬船舶進港時的外力條件。風力與風向依據近年來港灣技術研究中心調查，本區歷年冬、夏季風力統計，風力在六級（10.8~13.8 m/sec）以上皆小於 10% 之機率出現，但臺北港因受地形影響，偶有強風，本模擬採用的極值風速達 19 m/s。由於本計畫係以大型與超大型貨櫃輪為試驗本船，考量大型船舶受風面大，風力及風向將影響進港船舶之操航作業，且未來臺北港既定拖船配置是否足以因應強風作業之需求可加以考量。

本計畫參考港研中心風力觀測成果，同時因地形因素，臺北港偶會發生落山風的情況，造成瞬間風力大增，本研究由港灣技術研究中心所量測的風場資料，整理出較強的瞬間風力，評估強風對船舶航行造成的風壓，並評估其影響性。船舶於海平面航駛時不僅會受到海流、潮流的影響，來自不同方向的風也會影響船舶的航行方向，甚至過度

強大的風還會使船舶航行陷入困難，甚至造成災害。

海流資料採用港灣技術研究中心的量測資料，作為數值模擬的參考依據，綜合歷年臺北港觀測分季平均風速分佈統計，最大陣風約 15 m/s，平均最大陣風約為 12 m/s，本研究風的速度採用 12 m/s，為了模擬極端的情況，本模擬亦考量地形風風速 19 m/s 對船模航行造成的影響當作模擬風流過船的邊界條件，以利評估風在不同風向下對船舶造成的風壓。

船舶在大洋中或在港內航行，無時無刻都受著外在環境的影響，這些影響來自海氣象變化，如波浪與潮汐的變化、海流與風對船舶航行造成的壓力等。停泊中的船會受風吹水動，而繫泊操船時當他船移動的情況下，或在有風有流的水域內航行的情況下，都會受到風壓或流壓的作用。其結果，停泊中的船將增加其錨鍊及繫纜的負荷，而在港內操船時將增加移動或迴轉的阻力，至於航行中的船亦會因向下風偏轉，而難以保持航向。

以船舶航行頂風以及船舶航行順風前行，以北為 0° ，船舶以 0° 航行，受到來自 0° 的風力影響，則船舶會順風前行，其中船尾受風力影響最大，風力將船舶向前推行，有助於船舶行駛向前；以北為 0° ，船舶以 180° 航行，受到來自 0° 的風力影響，此時船舶受風力影響，呈現頂風前行，其中風力受到船舶前端受方影響最大，需要加大馬力以維持航速，如圖 1、圖 2 所示。

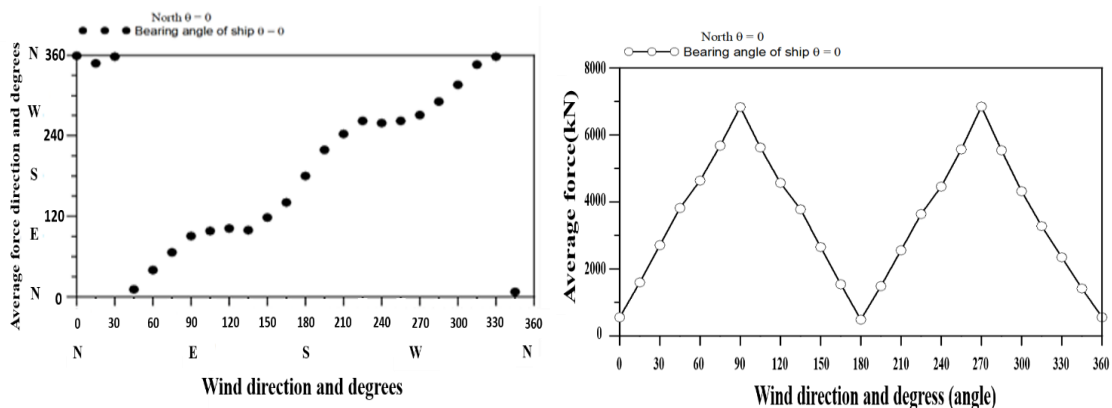


圖 1 大型貨櫃船 10000TEU 船方位角 0° 時受不同方向的風 (12 m/s) 產生的合力大小與方向

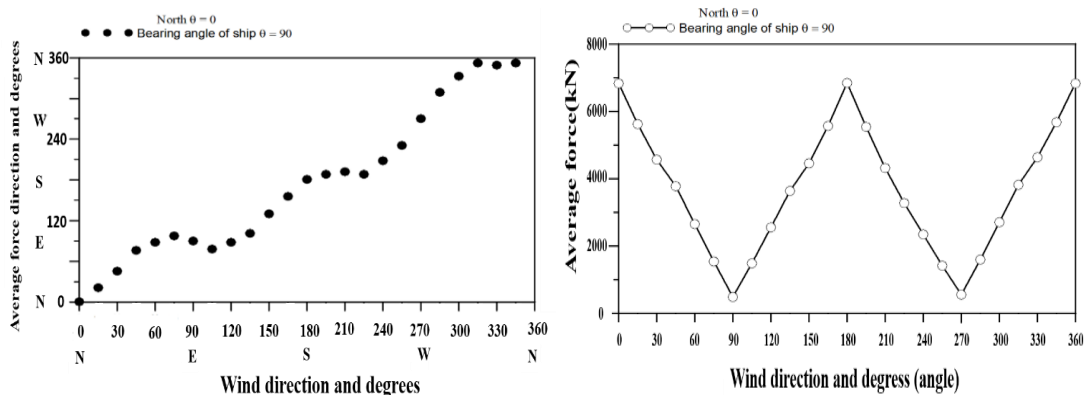


圖 2 大型貨櫃船 10000TEU 船方位角 90° 時受不同方向的風 (12 m/s) 產生的合力大小與方向

三、研究成果

3.1 臺北港巨型貨櫃輪操船可能面臨之危險

各種船舶，依其吃水、UKC、受風面積、風向、俾速，進港船速，各有不同，依引水人的知識、經驗，以適當速度通過防波堤，不會有什麼問題。反而如船長硬要減速通過防波堤，卻易造成

大困擾。

引水員在領航時，因不可預期之外力因素影響，可能面臨之危險，可分為下列五點因數探討…

3.1.1 航道受橫風、流之威脅，未能駛入航道中央

臺北港防波堤外主要受漲退潮流

之強流影響，港內最大流速僅 0.25 m/s（約 0.5 節），進港會受漲、退潮之潮汐流（橫流）影響，漲潮時流向自北向南，引水人經驗過最大流速幾乎達 2.5 m/s（約 5 節）；退潮時流向自南向北，經驗過最大流速將近 2 m/s（約 4 節）

（如圖 3~圖 6）。

船舶進臺北港通過防波堤前，引水員通常會用大俾高速進港，進入堤口後再迅速減速，操船使用之俾速與用舵時機，皆不會相同。在臺北港內衝止距離夠，至目前未有過船停不住的意



圖 3 船舶左舷受橫風影響偏離航道

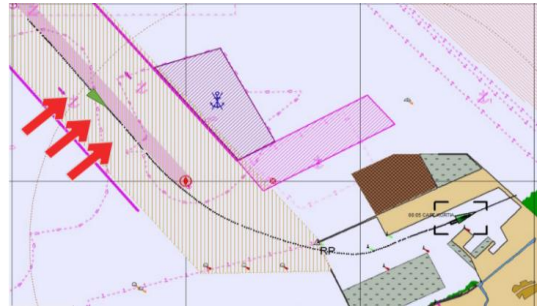


圖 4 船舶右舷受橫風影響偏離航道



圖 5 船舶左舷受橫流影響偏離航道



圖 6 船舶右舷受橫流影響偏離航道

3.1.2 經常性之離岸風及向岸風

強風下的操船準則應視風力的方向、節數、船舶型態、受風面積、吃水…等，均各有所不同。尤其是吹向碼頭之

向岸風（又稱攏風），要非常小心注意靠泊，妥善的運用拖船、側推器，控制靠岸速度不宜過快，而且應盡量平行靠上碼頭，避免單點攏靠（如圖 7~圖 8）。

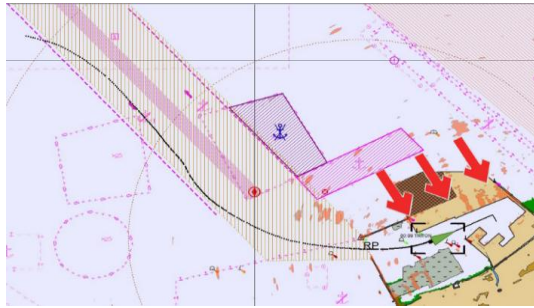


圖 7 船舶受離岸風的影響



圖 8 船舶受向岸風的影響

3.1.3 強力之西南風或東北風

臺北港冬季，通常吹東北風，風速、湧浪強勁。至於夏季，會有西南強風，有時風力亦可達 10m/s（約 20 節）（如圖 9~圖 10）。

船長要配和引水員在外海登上大船，船長需有優良船藝駕駛，將船舶穩

住，讓引水員從湧浪較小一側登爬領港梯。大船船速亦會因為各種船型、尺寸、吃水不同，船長必須保持引水員需要之登船船速，避免發生危險，通常船速約在 3.5 m/s 至 4.5 m/s（約 7 節至 9 節）之間。



圖 9 船舶受強力西南風影響



圖 10 船舶受強力東北風影響

3.1.4 船舶受興波效應與岸壁效應之影響

興波的大小與船舶航速快慢有關，航速高的船舶航行所造成興波較航速低的船舶大；由波高的時間序列分析，船速愈快對水體的擾動愈大，其興波效應愈明顯；船舶航行於淺水區，由

於船底與水底間之問隙減少，通過船體與船底之水流量被限制，水流會加速至船側流過，而船舶四周與水底水壓均降低，會使船體下沉量增大，結果興波效應也會大增，故在港內船速宜慢速行駛，尤其是大型船舶應格外小心（如圖 11）。

船舶偏離航道中線而靠近航道一側岸壁時，靠近岸壁的一側水流加速，壓力降低，產生使船舶靠近岸邊的附加作用力，即岸吸力，它可能導致船舶觸碰崖壁。同時還產生一個使船首偏離崖

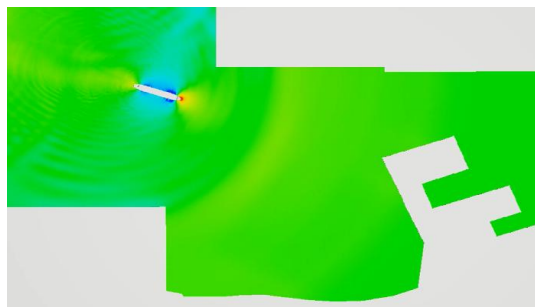


圖 11 船舶受興波效應影響

壁的力矩，即岸推力矩。岸吸力和岸推力對船舶運動所產生的影響通稱為岸壁效應。它可能導致船尾觸碰崖壁，而船頭偏向航道中央，應向近岸側操舵克服之，防止船首偏轉（如圖 12）。

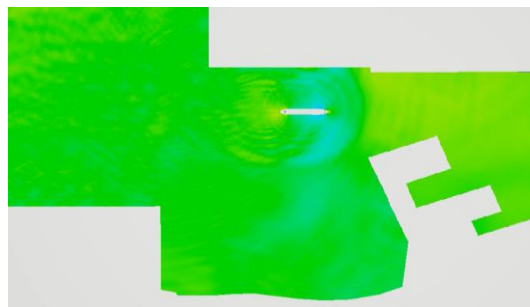


圖 12 船舶受岸壁效應影響

3.1.5 突然發生的地形風（或落山風）影響

臺北港因受地型影響會有突然颳起一陣強風，引水人稱為地型風（或落山風），常令人措手不及，是為操船上最為棘手的問題，亦是引水人最憂心的事，當以優良船藝小心應對，大膽用俤、小心駛舵為宜，目前若遇到此強陣風，就在地引水人之意見為掉轉船頭至外海靜候風浪減弱後再進港，以避免危險。

1. 臺北港目前出現的地型風

在鋒面來之前是西南風，等鋒面過了臺灣東部以後，冷氣團接著就過來，是順時鐘方向旋轉，而臺北港是吹東北風，當鋒面往東北方移動，到達太平洋就會變成東南風。

地型風是引水人給它的一個專有名稱，類似在墾丁吹的風向。臺北港在

這幾年的觀察中，夏天高壓在臺灣的北部，而東北方太平洋高壓的環流是順時鐘方向轉動，主要太平洋高壓盤據在上空的時候，臺北港是吹東南風，從觀音山頂吹下來，類似東北風到了臺灣的南端往下衝。這種狀況風是不會很強的，但冬天冷高壓經過，只要其中心通過臺灣就形成東南風，風速約 7.5 m/s 至 10 m/s（約 15 到 20 節）左右，平均甚至 10 m/s（約 20 幾節），此時要看當時的氣流環境。

2. 地型風的形成與影響

這幾年依據領港的經驗觀察到冬天時當菲律賓有颱風從呂宋島登陸，只要經過巴士海峽或臺灣南部時，即使颱風不經過臺灣，但臺灣這裡仍呈現是高壓區，因有高壓擋著，所以氣壓會往西移，所以這兩個加成的力量，導致臺北港的風速會非常強勁，甚至到至 25 m/s

至 30 m/s (約 50 至 60 節) 不等，只要颱風接近臺灣巴士海峽或是呂宋島時都會對臺北港產生影響。颱風如從臺灣南部有登陸，又是另一回事，因為從臺灣中部登陸的颱風氣流環境又不相同，此時就不是吹東南風。

目前討論是在呂宋島登陸，而假設太平洋高壓在太平洋中部，西邊過來的風力很強的時候，將會抵銷掉西南風，所以風就不會那麼強勁，如假設呂宋島那邊有一個低壓形成，兩股氣流加成，過來的風會被觀音山脈擋著後往上衝去，再往下降就會形成臺北港的風力會非常的強勁，這就是引水人所謂的地型風。

3. 在操船所遇狀況以及應對方法

曾經在颱風登陸呂宋島的前一

天，臺北港當時上空是冷高壓，浪高達到 4 至 5 米，引水人登上大船就已經很危險了，但此時引水人已登上大船，如果這時下來離開大船會很危險，對 14000TUE 的貨櫃船要進港的時候風浪已經非常高，而且很難靠泊，眾所皆知陣風與均風是截然不同的事情，當臺北港均風超過 10 m/s (約 20 節)，其陣風有時可達 17.5 m/s (約 35 節) 以上。此時則應由領港依風生時間、海面狀況、陣風大小等，做出是否仍可進港之建議。若風向為向岸風，即風由外海吹向港內時，則船舶可能無法靠上碼頭，拖船亦無法拉住。如圖 13 為不同船速受橫風 (19 m/s) 影響的船位偏移，船速分別為 5 m/s 與 2.5 m/s；圖 14 表示船舶橫切面與縱切面的風場分布圖。

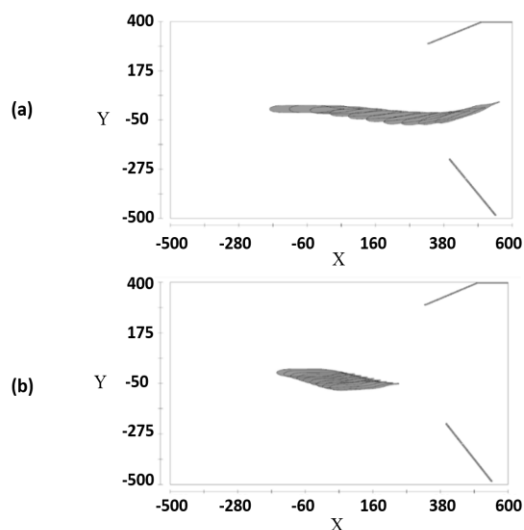


圖 13 不同船速受橫風 (19 m/s) 影響的船位偏移 (a) 船速 5 m/s (b) 船速 2.5 m/s

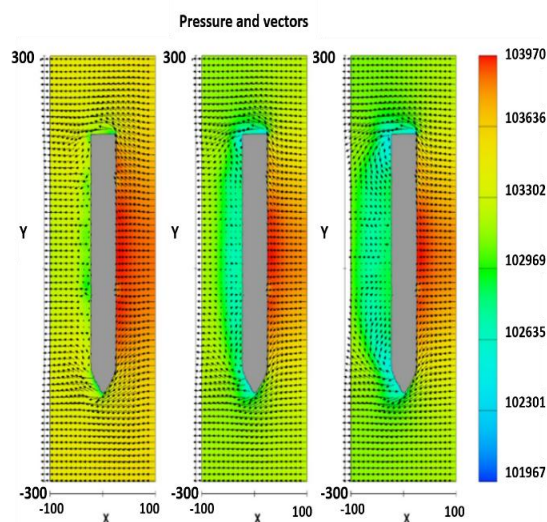


圖 14 船舶 xy 軸之風場狀況

3.2 航行進入臺北港較佳航路

臺北港於夏季及冬季受風力以及海潮流影響最大，以下就夏季、冬季將於航行中遭遇之外力條件做較佳航路之說明：

夏季：

夏季盛行西南季風，此時船舶進港時將曾遇來自船身左後方之風力影響，因此船舶進港時，可將航路靠緊中央分離區，如下圖 15，此時若遇漲潮進港，海潮流之推力會將船舶向前推進，船舶應減速並偏左航行，若進港時遭遇退潮流，海潮流將會阻礙船舶前行，但相對船舶將會較好停泊，緩慢將船舶帶入港中。

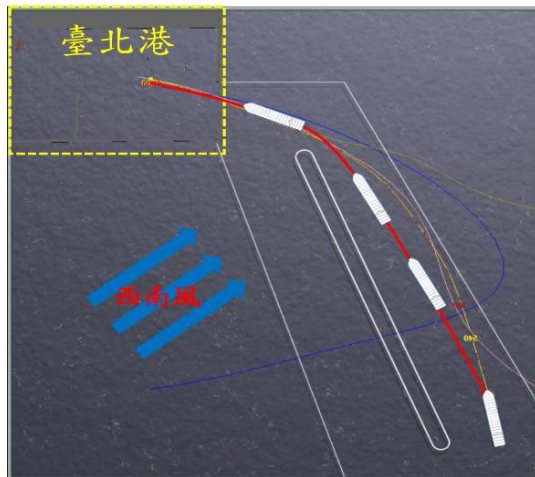


圖 15 夏季航行進入臺北港較佳航路

冬季：

冬季盛行東北季風，此時船舶進港時將曾遇來自船身右後方之風力影響，因船舶進港時，可將航路靠進港航路右側，如下圖 16，若遇漲潮進港，海潮流之推力會將船舶向前推進，船舶應減速並偏右航行，若為退潮海潮流由港內

朝外海流動，此時船舶進港較為困難，須加速往港內行駛。

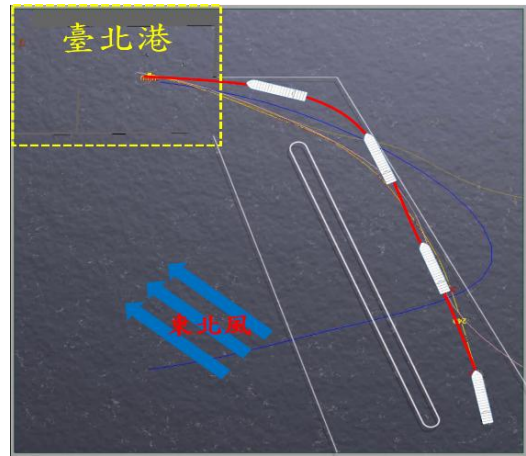


圖 16 冬季航行進入臺北港較佳航路

船舶就不同季節、不同風向條件、不同海潮流方向之外力影響進港時需要操作之困難度也相對不同，但若能大膽用俾，謹慎使舵，將能使船舶安全前行，以下就本計畫之研究，規劃出數條航行進入臺北港之較佳航路提供參考。如圖 17 為超大型貨櫃船 13000TEU 航行進入臺北港之模擬結果彙整，紅色線表示船舶航行進入臺北港較佳航路之分析。

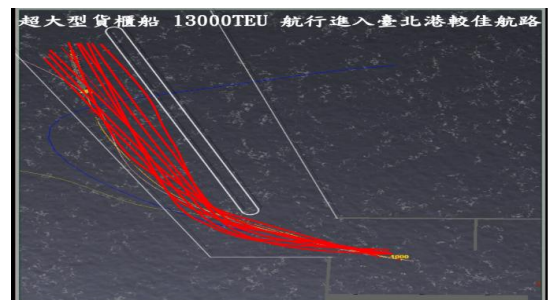


圖 17 超大型貨櫃船 13000TEU 航行進入臺北港較佳航路

3.3 目前環境下影響臺北港港域航行安全之重要的因素

除上述因素引水人在不可預期之外力影響下領航船舶進出臺北港外，另在港域航行安全上應注意事項可歸納如下：

1. 順風進港，應及早減速、及早安排拖船協助，以免減速或停車後，沒有舵效；而逆風進港，則較易控制船舶，駛航較為安全。
2. 當有側風時，宜考量風壓，妥善運用拖船以及本船各項可資運用的設備，通常在側風 40 m/s（約 20 節）以下時亦沒多大問題。
3. 需要嚴格守聽無線電 VHF68（港口信號臺）、VHF11（引水人、領港船）
4. 與引水人配合，保持引水人建議之船速、航向、船位、引水梯離水高度、等，讓引水人能安全登船。
5. 船上應嚴格遵守 SOLAS 第五章所規定之：接送引水安全規定。
6. 風力超過 40 m/s（約 20 節），而吊桿遇到 19 米/秒以上的風速時就會

自動斷電，無法作業，此時船長應與引水人討論是否能進港。

7. 船上船長、船副應該熟悉自己船上各項航儀，依引水人建議妥善開啟調整至引水人之所需。各廠牌雷達按鍵位置都不同，引水人要全神貫注操船，無法在不同廠牌設備與一大堆的按鍵上去找出各個調整鈕，代替船副去操作雷達。目前船舶大型化盲區極大，雷達、GPS 是必要參考資訊，很多船長、船副對於自己船上之雷達各項操作非常陌生，如 VRM 1、VRM 2 方面未能熟悉相關操作，純仰賴不可靠之 ECDIS，萬一 ECDIS 有設定誤差，可能會釀造嚴重海事事故發生。
8. 濃霧能見度限制、拖船調派要點之規定，可以參考下面網站資訊：

臺北港全球資訊網：<https://kl.twport.com.tw/tp/>；該網站可以下載下面各項資訊，有極多參考資料。

臺北港船舶交通服務指南、臺北港船舶繫泊作業要點、臺北港船舶進出港要點。

四、結論

本研究針對強風對 10000TEU 的大型貨櫃船，以及 13000TEU 的超大型貨櫃船進行模擬，採用直接數值模擬的方式計算不同方位的風壓，並結合臺北港在地引水人之實際經驗將強烈地形風（落山風）之風速 19 m/s 加入船舶受風之條件模擬實行。得到的結論整理

如後：

模擬臺北港於不同季節船舶進港時，遇當季最大潮之風浪狀況，並彙整統計港灣技術研究中心的海氣象量測資料，彙整風浪流並以統計圖表顯示。海潮流的數值模擬分析與實測資料結果一致，討論不同季節下大潮所引發臺

北港海域流場的橫流效應，以及於不同潮位時的港口流向，便可使船舶航行更加保障。本研究已完成 10000TEU 與 13000TEU 貨櫃船之模型，並將船模型加入季節風速條件 12 m/s，以及強烈地形風條件 19 m/s。模擬出船舶受風作用的受力分析，順風時合力最小為 548 kN，逆風時合力為 6843 kN，且當船舶與風向角呈現 90 度，此時船舶受風面積最大，造成的風壓亦最大，合力約為 200 kN，其他船位與風向角的合力，詳如表所列。

風會改變船舶進入臺北港時的航向，因此模擬出船舶受風力影響後的合力與方向，可提供船舶操縱之參考。由於颱風期間，不允許船舶進出港，船舶航行模擬以季節風速 12 m/s 及強烈地形風速 19 m/s 做為模擬依據，做出

10,000TEU 級之大型貨櫃船原比例 3D 模型與 13,000TEU 級之超大型貨櫃船原比例 3D 模型，經由數值模擬船舶及風向每 15° 不同對船舶造成的合力分析，包含力的大小與方向，共計 24 筆共由 0 度至 360 度，便可得知船舶航行時所受來自四面八方不同風力影響時的合力角度。

本研究經由數值分析，模擬在各種風、流海況作用下，將領港的實際操船即配合 VTS（船舶交通管理系統（Vessel Traffic Services; VTS）的航跡圖做比對分析，提出在各種海象時，船舶的運動現象。數值模擬分析可事先讓領港在進出港操船時及早採取應對措施，以提高航行安全，避免意外狀況發生。

五、參考文獻

1. Amrimin E., Kovinskaya S. and Mizine I. (2004), Quasi-Linear Theory of Waves and Ship Wave Resistance in restricted Waves, *Ocean Engineering*, Vol. 31, pp. 1231-1244.
2. Campana E.F., Peri D., Tahara Y. and Stern F. (2006), Shape Optimization in Ship Hydrodynamics using Computational Fluid Dynamics, *Computer Methods in Apply Mechanics and Engineering*, Vol. 196, pp. 634-651.
3. Delefortrie G. and Vantorre M. (2009), Prediction of the Forces Acting on Container Carriers in Muddy Navigation Areas using a Fluidization Parameter, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 14, pp. 51-68.
4. Eca L. and Hoekstra M. (2009), On the Numerical Accuracy of the Prediction of Resistance Coefficients in Ship Stern Flow Calculations, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 14: pp. 2-18.
5. Hirt C. W. and Nichols B. D. (1981),

- Volume of Fluid (VOF) Method for Free Boundaries, Journal of Computational Physics, Vol. 39, pp.201-225.
6. Henning I. (1999), Radar Imaging of Kelvin Arms of Ship Wakes, International Journal of Remote Sensing, Vol. 20 (13), pp. 2519-2543.
 7. Korvin-Kroukovsky B.V. (1961), Theory of Seakeeping, SNAME.
 8. Krappinger O. (1960), Schiffsschwingungen, Handbuch der Werften.
 9. Salvensen N., Tuck E. O. and Faltinsen, O. (1970), Ship Motions and Sea Loads, SNAME.
 10. Toxopeus S.L. (2009), Deriving Mathematical Manoeuvring Models for Bare Ship Hulls using Viscous Flow Calculations, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 14, pp. 30-38.
 11. Wilson R.V., Carrica P.M. and Stem Fred. (2007), Simulation of Ship Breaking Bow Waves and Induced Vortices and Scars, International Journal for Numerical Method in Fluids, Vol. 54, pp. 419-451.