

應用計算模擬小水面雙體船與離岸風車之頂靠操作

Computational Simulation of Docking Operation Between SWATH and Offshore Wind Turbine

辛敬業^{1*}、邱方伶²、曾郁安³、蔡進發⁴

國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系¹、財團法人船舶暨海洋產業研發中心²

財團法人中國驗船中心³、國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系⁴

Ching-Yeh Hsin¹, Fang-Ling Chiu², Yu-An Tzeng³, Jing-Fa Tsai⁴

¹Dept. of Systems Engineering and Naval Architecture, National Taiwan Ocean University

²Ship and Ocean Industrial R&D Center

³CR Classification Society

⁴Dept. of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

hsin@mail.ntou.edu.tw

摘要

離岸風場的營運與維護將成為我國發展風能下一階段重要的議題，小水面雙體船經常被應用於維護風場所使用的人員運輸船，原因是其耐海性能佳，在風浪中能夠維持一定的穩定性及航速。本文將以計算模擬 SWATH 頂靠風機塔柱的過程，將過程分為兩個部分，第一部分為 SWATH 以低速接近風機塔柱時的階段，該部分將利用黏性流 RANS 方法計算 SWATH 低速時自推，透過自推獲得其推力和扭力，此推力及扭力視作頂靠風機塔柱時的初始動力；第二部分為計算 SWATH 頂靠風機塔柱時所需要的摩擦力大小計算，以黏性流 RANS 方法計算 SWATH 在不同波浪情況下頂靠上風機塔柱時，船舶對該頂靠點的受力分析，並以此受力反算 SWATH 應額外提供多少推力來維持穩定而不滑動。

關鍵詞：離岸風車、小水面雙體船、自推分析、船舶頂靠模擬、黏性流方法

Abstract

The operation and maintenance of offshore wind farms will be an important issue in the next stage of Taiwan's energy policy. The small waterplane area twin hull (SWATH) has good seakeeping performance and can maintain a certain stability and speed in the wind and waves. In this paper, we simulate the process of SWATH docking against the foundation of the wind turbine by computational method. The process is divided into two parts. The first part is the stage when SWATH approaches the foundation at a low speed. For this part, we use the viscous flow RANS method to compute the self-propulsion of SWATH at low speed. The thrust and torque of propeller can be obtained through self-propulsion, which is regarded as the initial power for docking. The second part is to compute the frictional force required when SWATH is docking against the foundation steadily. The viscous flow RANS method is used to compute the force of the SWATH against the docking point of the wind turbine foundation under different wave conditions. And this force is used to calculate the amount of thrust that SWATH should provide to maintain a stable and non-sliding docking.

Keywords: offshore wind turbine, SWATH, self-propulsion, docking simulation, RANS

I. 前言

本文將對船舶頂靠風機塔柱進行模擬，營運與維護所使用的運維船舶種類及用途繁多，文獻[1]針對營運維護提出評估流程，並且歸納了不同攀登離岸風機的方法、使用的運輸工具以及其優缺點。小水面雙體船 (SWATH，以下皆以 SWATH 來表示) 透過船型的設計，在波浪中能夠提供較好的耐波性能，並且甲板面積較大，方便裝載儀器，適合作為離岸風電的人員運輸船舶，本文將以 SWATH 6A 作為研究船型進行頂靠模擬。船舶頂靠風機塔柱是利用船舶提供的推力將船艙安裝的碰墊靠上風機塔柱的梯子上，產生垂直方向的摩擦力用來抵抗受波浪影響後產生的滑動，而摩擦係數及正向力決定摩擦力的大小，本文將透過黏性流計算結果反向推估該波浪情況下船舶須額外提供多少推力來維持船舶穩定而不滑動。

頂靠相關的研究，可分為船舶以及波浪經過塔柱兩方面。有關船舶 SWATH 的研究，可見於文獻[2]~[4]，2018 年謝侑雯[5]透過勢流方法及黏性流方法 RANS 對 SWATH 進行完整的阻力及運動計算，兩種方法分別與實驗值相互比較，分析結果趨勢接近，並且深入探討最佳穩定翼的幾何設計。至於波浪經過風機塔柱後對塔柱以及後方流場的研究，曾郁安[6][7]分析一圓柱在不同波浪情況下的受力情況，其分析的波浪類型為 Stokes 五階波及 Cnoidal 橢圓函數波，並且輸出不同位置的流場情況進行觀察。至於頂靠的研究，Wu[8]以頻率域方式探討船舶頂靠單樁式風機時發生滑動的機率及嚴重性，Heine Grotting[9]以頻率域及時域方法分析了雙體船頂靠時發生滑動的機率，並且以時域來相互驗證 Wu 的頻率域方法。

II. 計算方法

本文中將探討的頂靠方式為利用「摩擦力」來進行頂靠，而成功頂靠的定義為 SWATH 不會向後離開頂靠點，也不會向上或向下滑動離開頂靠點。SWATH 的頂靠模擬流程為：SWATH 航行在波浪中以低速靠近風機周圍，SWATH 以其速度對風機塔柱進行頂靠，第一階段波浪中低速航行的推力作為與風機塔柱對接時的初始值，當 SWATH 和風機塔柱對接成功後波浪會造成 SWATH 船體的運動，而起伏運動(Heave)和縱搖運動(Pitch)是造成船體向上滑動或向下滑動離開頂靠點的因

素，為了避免 SWATH 滑動離開頂靠點，逐漸增加螺槳轉速，螺槳產出的推力轉為摩擦力，直至船體可穩定頂靠不離開頂靠點。

利用摩擦力來進行頂靠的概念可以透過式(1)以及圖 1 一同來解釋，座標系同時也標註於圖 1 左下方。 $F_{friction}$ 為摩擦力，摩擦力的方向與風機塔柱平行，即 Z 方向，由於摩擦力與物體運動方向相反，因此當 $F_{friction}$ 大於零時表示船體欲向下滑動；當 $F_{friction}$ 小於零時表示

船體欲向上滑動。 μ 為摩擦係數，本文將參考文獻以 0.8 作為摩擦係數進行計算。 N 則為正向力，其方向為垂直塔柱方向，即負 X 方向， T 為船舶輸出的總推力， R 為船舶處在塔柱後方的激振力，但當船舶以低速時推力作為頂靠初始推力時此時的流場不穩定將導致 R 的不穩定，可能會出現負值，此情況表示波浪經過風機塔柱後其流場可能有將船更加推向塔柱方向的力，在缺乏此階段的計算經驗下，無法正確評估計算結果是否合理，因此在本文中將先以前一階段所計算自推時的船舶阻力作為 R 值， T 和 R 的差為船舶額外給予的推力，當頂靠住塔柱時，此額外推力則作為正向力來產生摩擦力。

$$F_{friction} = \mu \times N, \quad N = T - R$$
$$\frac{F_{friction}}{\mu} + R = T \quad (1)$$

在本文中將以三個階段求取未知數，第一階段為初始頂靠，SWATH 尚未穩定頂靠時的船舶阻力以及螺槳的推力、扭力，本階段將以體積力方法分析 SWATH 在波浪中以低速航行時的自推，透過自推計算獲得的船舶阻力以及螺槳的推力、扭力將視作頂靠的初始條件。第二階段為 $F_{friction}$ 的計算，以黏性流方法計算 SWATH 在波浪中維持成功頂靠的狀態下，隨時間變化的 Z 方向受力 (F_z)，經計算後即可獲得 $F_{friction}$ 。當上述兩個階段計算完成後，由於在第一階段的自推模擬中獲得的推力僅能克服 SWATH 自身的阻力，若要維持波浪中 SWATH 的頂靠則需要增加螺槳的轉速，然而不同於過去船舶在設計航速時的自推計算，SWATH 在頂靠階段其船速為 0，但螺槳維持運作，此部分的模擬則類似於繫纜拖力 (Bollard Pull) 的計算，因此在最後一階段中將利用由辛 [10] 所發展的分析程式 PATPAN-SBP 計算主機給予不同轉速下產生的推力與扭力，求取穩定頂靠所需的最低轉速，並將此結果以體積力方法回饋給 SWATH 後擷取其螺槳平面流場進行觀察。

綜合前述的三個階段，計算的流程如下：

1. 耦合黏性流及勢流方法計算 SWATH 在波浪中低速時的自推，以獲得初始的船舶阻力以及螺槳推力、扭力值，利用商用計算軟體 STAR CCM⁺ 以及自行開發的自推程式進行計算，其程式的發展與應用可參考 [11] 及 [12]。
2. 以黏性流方法計算 SWATH 穩定頂靠時所需要的摩擦力。
3. 估算步驟 1 和步驟 2 摩擦力的差值，並且計算繫纜拖力 (船速為 0) 時不同轉速的推力、扭力，求取穩定頂靠的最小轉速，此階段將應用自行發展之程式 PATPAN-SBP，以計算增加轉速時的推力及扭力值。



圖 1 頂靠風機塔柱時船體受力圖

2.1 風場與船型幾何

目前所發展的單樁式風機塔柱直徑大多約為 6 公尺，小型人員運輸船船長大多介於 15 至 30 公尺之間，因此在本文中設定一風場，在此風場中風機塔柱的直徑為 6.4 公尺，使用的 SWATH 船長為 20 公尺，為節省黏性流方法的計算時間，將同步縮小 4 倍，並且對縮放前後的模型進行驗證，因此在計算中所使用的模型風機塔柱直徑為 1.6 公尺，而 SWATH 船長為 5 公尺。在本文中假設 20 米的 SWATH 以每秒 1 公尺的速度航行在波浪中，以相同的佛勞德數縮放可以知道 5 米的 SWATH 將以每秒 0.5 公尺的速度航行在波浪中，在自推計算中船速的設定為每秒 0.5 公尺。本文將使用公開船型 SWATH 6A 作為分析模型，SWATH 6A 原尺寸船長約為 73.125 公尺，以 14.625 的縮放比進行縮放可以獲得 5 米船長的 SWATH 幾何，由於原 SWATH 6A 甲板長度約略與支柱等長，為了後續計算摩擦力時能方便模擬頂靠點，在本文中將延長甲板長度至與潛體長度相等。在自推計算中將使用致動盤體積力方法，致動盤網格並非真實存在幾何，在阻力的估算、摩擦力的計算中放置致動盤網格並不會影響其計算結果，為維持船體周圍網格一致性，黏性流計算方法中皆使用有放置致動盤網格之幾何，圖 2 為 SWATH 6A 放置致動盤後的示意圖。



圖 2 SWATH 放置致動盤船體示意圖

2.2 計算模型之設定

本文中在自推模擬計算以及摩擦力計算皆應用黏性流方法計算，黏性流計算將考慮自由液面的效應，為捕捉自由液面情況而延長船長、船寬方向計算域，在自由液面中給予深水設定，因此減少水深方向計算域，在平行船長方向的尺寸為船艙方向 1 個船長 (5 公尺)，船艙後方 4 個船長 (20 公尺)；船寬方向延伸 2 倍船長 (10 公尺)；垂直方向則向下延伸約一個船長 (6 公尺)，水面上 3.5 公尺。自由液面模型的邊界設定與對壘模型類似，

圖 3 為邊界條件示意圖，船殼表面設為非滑動邊界(No slip wall)，在模型船艙方向以及下方設為入流面(Velocity inlet)，船體兩側設為對稱面(Symmetry)，船艙方向及上方設為壓力出口(Pressure outlet)，不同於對疊模型的是利用流體體積法(VOF, Volume of Fluid)來模擬自由液面，在靜水中的模型將波浪條件設定為 STAR-CCM+ 中的平板波，為了避免自由液面計算中因船體產生的興波在邊界堆疊或反射產生誤差，將在出口端邊界設定波浪強制(Wave Forcing)區，其範圍設定為 10 公尺。由於計算的頂浪情況需考慮 SWATH 運動情形，為了節省計算時間，將會使用重疊網格(Overset mesh)的設定，為了維持網格的一致性，本節所使用的網格配置也會使用重疊網格，圖 4 為靜水中自由液面模型網格配置圖，自由液面模型需要對水線面進行額外的加密，圖 5 船體周圍矩形所包覆的範圍則為重疊網格區域。總網格數約為五百萬網格。

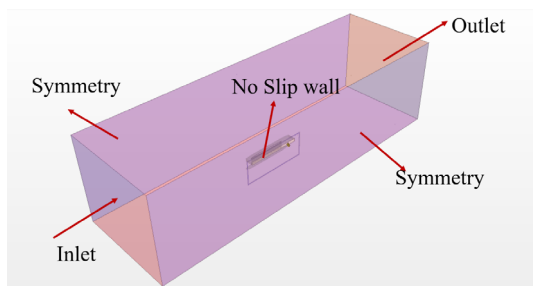


圖 3 靜水中考慮自由液面模型邊界條件示意圖

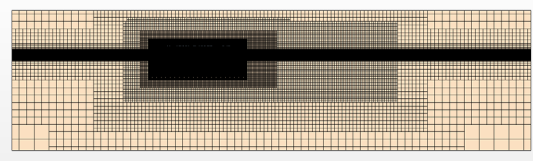


圖 4 靜水中考慮自由液面模型網格示意圖

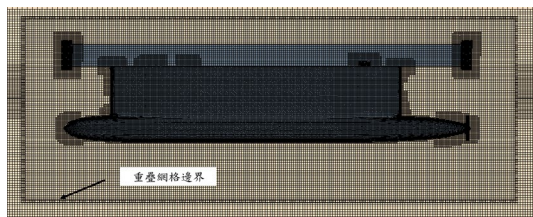


圖 5 靜水中考慮自由液面模型網格示意圖，重疊網格示意圖

頂浪(Head sea)模型適用於計算船體在波浪中的各項數值，並且在此模型中將考慮船體的運動，自推模擬中應用的頂浪模型計算域模型尺寸、邊界條件設定與靜水中自由液面模型相同，但應用 DFBI(Dynamic Fluid Body Interaction)來開啟 SWATH 船體的運動自由度，DFBI 設定的目標物即為重疊網格區域，在本文中對 SWATH 的運動探討僅著重在起伏運動(Heave)和縱搖運動(Pitch)，因此在自由度設定中開啟這兩個方向的運動。本文中所分析的波浪條件將以相同波陡度(1/60)進行兩種波浪條件設定，分別為波長和船長比(λ/L)為 1 和 2，波浪條件如表 1 所示。

表 1 波浪條件設定(單位：公尺 m)

λ/L	H (in 5m SWATH)	H (in 20m SWATH)
Wave 1	0.0833	0.333
Wave 2	0.1667	0.667

頂靠所需摩擦力計算模型是以頂浪模型為基礎，並增加限制條件，計算方法為在 SWATH 前方放置一圓柱作為單樁式風機塔柱，計算域尺寸、邊界條件設定與頂浪模型相同，增加的圓柱表面設為非滑動邊界(No slip wall)，圓柱與 SWATH 間距 0.2 公尺，對 SWATH 給定運動條件限制，SWATH 僅能對設定的頂靠點(如圖 6)旋轉，運動的模式類似於鉸鏈(Hinge)的型態，固定一點，對此點無位移，僅有旋轉運動，旋轉軸設定為對 Y 軸旋轉，用來模擬 SWATH 對頂靠點的上滑或下滑。圖 7(上)為摩擦力計算模型網格示意圖(側視圖)，圖 7(下)為摩擦力計算網格(上視圖)。

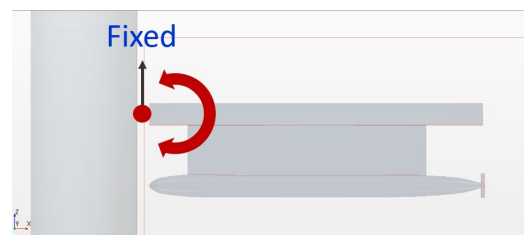


圖 6 摩擦力計算中 SWATH 固定頂靠點示意圖

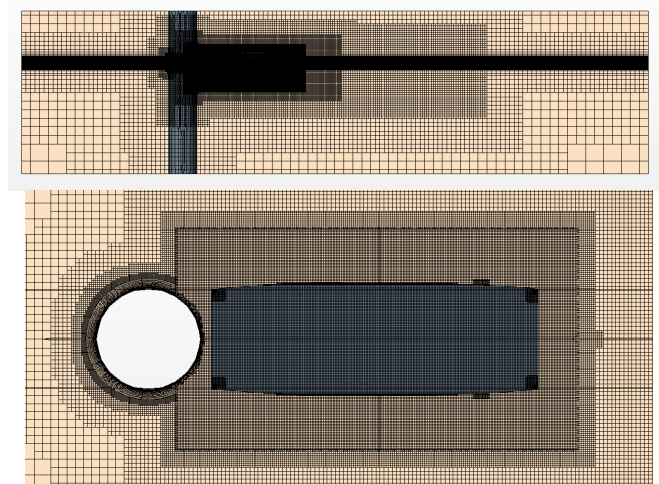


圖 7 摩擦力計算網格示意圖，上圖為側視圖，下圖為上視圖

本文中的繫纜拖力計算將應用自行發展的勢流計算工具 PATPAN-SBP，將繫纜拖力狀況時螺旋的受力以外插的方式獲得，再將計算後獲得的結果相對應的體積力回饋給黏性流計算中。

III. SWATH 自推之計算

本文以 SWATH 低速航行靠近風機塔柱的情況下船體螺旋所使用的推、扭力值作為初始頂靠的推、扭力值，SWATH 低速航行的計算中並不包含風機塔柱在計算域中，其主要原因為當波浪經過圓柱後，造成後方流常紊亂，若放置 SWATH 於此船體所受的阻力容易出現負值，而本章中所欲使用的自推計算方式將無法使用，

因此初始頂靠的推、扭力計算是建立在 SWATH 低速(模型以每秒 0.5 公尺)航行於海中的自推模擬上。

本文應用的自推模擬中，方法如下：

■ 方法一：以裸船在靜水中模擬自推為基礎，如額外加入波浪附加阻力即可模擬波浪中的自推，此方法不開啟船體運動

■ 方法二：以裸船在波浪中的黏性流計算進行自推模擬，開啟起伏(Heave)和縱搖(Pitch)兩個方向的運動。由於在此分析中設定航行的速度非常小，因此波浪中的自推將以給定 J 值進行模擬，其方式為先計算 SWATH 裸船在波浪中的附加阻力，再將所計算的波浪附加阻力值加入自推的計算中，以方法一模擬波浪中的自推，經自推計算後獲得一 J 值，接下來以此 J 值進行波浪中的推進模擬，此模擬可視為船舶以等轉速航行在波浪中，由於在波浪中每個時間點的推力、扭力值皆不相同，因此將取其平均值作為初始頂靠的推、扭力值。

首先模擬 SWATH 以船速每秒 0.5 公尺的航速，航行在靜水中的自推模擬結果，亦即以方法一模擬靜水中自推，靜水中自推結果整理於表 2 中，在此階段迭代得到的 J 值為 1.036， K_{TB} 以及 K_{QB} 是對螺槳的推力、扭力無因次化後結果，無因次化的公式如下：

$$K_{TB} = \frac{T}{\rho n^2 D^4}; \quad K_{QB} = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (2)$$

因此 SWATH 在靜水中的自推可以得到螺槳的推力約為 2.772 牛頓，扭力為 0.171 牛頓·公尺。

表 2 以方法一模擬 SWATH 在靜水中進行自推模擬所得的自推表($V_s = 0.5$ m/s)

$1 - w_e$	J_A	N(rps)	K_{TB}	$10K_{QB}$
0.816	0.846	1.453	0.106	0.198
$1 - t$	η_D	η_H	η_R	η_O
0.908	0.797	1.112	1.009	0.710

w_e : The effective wake fraction
 J_A : Advance coefficient
 t : Thrust deduction factor
 η_D : Quasi-propulsive efficiency = $\eta_O \eta_H \eta_R$
 η_H : Hull efficiency = $1 - t / 1 - w$
 η_R : Relative rotative efficiency = η_B / η_O
 η_B : Behind hull efficiency = $\eta_O \eta_R$
 η_O : Open water efficiency = $(J / 2\pi)(K_T / K_Q)$

接下來進行波浪中的自推模擬，將以方法一進行計算，兩種波浪情況的自推結果表格列於表 3 及表 4 中，在 Wave 1 的波浪情況下，最後獲得的 J_A 值為 0.842， J_s 值為 1.028；Wave 2 的波浪情況下， J_A 值為 0.761， J_s 值為 0.907，這兩個 J_s 值將作為黏性流頂浪推進模擬所使用的 J 值，同樣利用式(2)來取得螺槳的推力和扭力值，Wave 1 的波浪中自推螺槳的推力值為 2.827 牛頓、扭力值約為 0.174 牛頓·公尺；Wave 2 的波浪中自推螺槳的推力值為 4.978 牛頓、扭力值約為 0.284 牛頓·公尺。

表 3 以方法一模擬 SWATH 在 Wave 1 中進行自推模擬所得的自推表($V_s = 0.5$ m/s), $\lambda / L = 1$)

$1 - w_e$	J_A	N(rps)	K_{TB}	$10K_{QB}$
0.819	0.842	1.465	0.108	0.201
$1 - t$	η_D	η_H	η_R	η_O
0.958	0.839	1.170	1.008	0.711

表 4 以方法一模擬 SWATH 在 Wave 2 中進行自推模擬所得的自推表($V_s = 0.5$ m/s), $\lambda / L = 2$)

$1 - w_e$	J_A	N(rps)	K_{TB}	$10K_{QB}$
0.839	0.761	1.660	0.149	0.256
$1 - t$	η_D	η_H	η_R	η_O
0.924	0.781	1.101	1.004	0.705

表 5 以不同方法所獲得的推力、扭力值

	Wave 1		Wave 2	
	推力	扭力	推力	扭力
方法一+波浪附加阻力	2.827	0.173	4.978	0.284
方法二 8 個點平均	2.952	0.178	5.125	0.286

將所求得的 J 值作為固定轉速設定，進行頂浪時的推進模擬，因波浪是周期性運動，因此在輸出自推表以及螺槳平面流場時將會以一週期分為 8 個區間來輸出，週期的取法是以最低點至下一個最低點視為一週期。Wave 1 的初始推力值經換算為 2.952 牛頓、扭力值為 0.178 牛頓·公尺，Wave 2 的初始推力值經換算後為 5.125 牛頓、扭力值為 0.286 牛頓·公尺，因為是固定轉速的情況下，推、扭力的結果與章節中以方法一模擬分析的波浪中自推模擬的結果差距不大，如表 5。

IV 頂靠模擬計算結果

在本節中我們將說明頂靠時所需的摩擦力以及 SWATH 頂靠時的螺槳推力計算。摩擦力計算中將包含頂靠點的位置設定以及輸出參數設定，並且將討論相同波浪情況下，船舶固定與否、尚未頂靠時以低速航行時的案例，觀察各案例的運動情形和流場分布。摩擦力計算指的是模擬穩定頂靠時所需要的摩擦力，分析的方式是透過黏性流方法，分析模型中，風機塔柱為一直徑 1.6 公尺的圓柱，而船長 5 米的 SWATH 甲板距離風機塔柱 0.2 公尺，來波方向為頂浪情況，亦即波浪經過圓柱後接觸到 SWATH，SWATH 除了開放起伏運動和縱搖運動之外，額外給予限制，在風機塔柱與 SWATH 之間設定一頂靠點，位置在距離圓柱和 SWATH 各 0.1 公尺處，SWATH 視此頂靠點為旋轉中心，旋轉的方向為對 Y 軸旋轉，運動模式類似於鉸鏈(Hinge)。

圖 8 和圖 9 為 Wave 1 和 Wave 2 自 STAR CCM⁺ 所輸出的 Z 方向受力結果，由於軟體本身的輸出設定，船體 Z 方向受力中包含了海水對船的浮力以及欲求取的摩擦力大小，圖中的藍色直線是以排水量進行換算而得的浮力，紅色曲線則是 Z 方向總受力，兩者的差值則為

欲克服滑動所需要的摩擦力大小，當差值為正值時表示 SWATH 該時間點欲向上滑動離開頂靠點，當差值為負值時表示該時間點 SWATH 欲向下滑動離開頂靠點，摩擦力與運動方向相反，因此摩擦力應取其差值的相反數，然而向上滑動和向下滑動都需要被考量，在後續計算螺槳需增加多少轉速才能達到需要的摩擦力大小時此處所得的摩擦力結果僅取其絕對值。

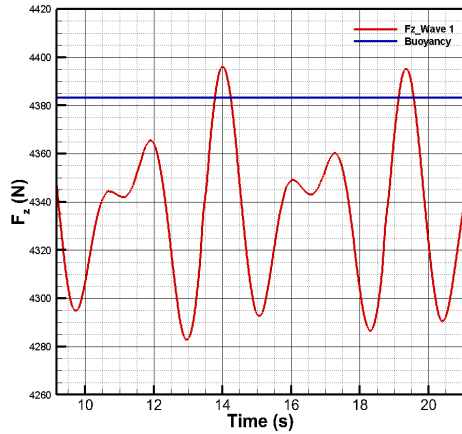


圖 8 Wave 1 的波浪條件下 Z 方向受力結果

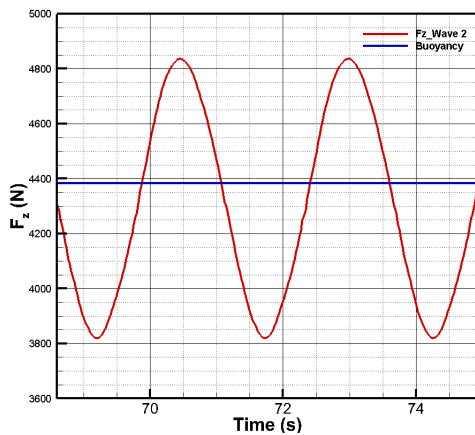


圖 9 Wave 2 的波浪條件下 Z 方向受力結果

表 6 Wave 1 波浪條件下所需要的正向力

單位：N	Wave 1 Max	Wave 1 Min
F_z	4396.11	4282.74
$F_z - B$	12.808	-100.561
$ F_z - B /\mu$	16.010	125.702

表 7 Wave 2 波浪條件下所需要的正向力

單位：N	Wave 2 Max	Wave 2 Min
F_z	4831.36	3823.3
$F_z - B$	448.058	-560.001
$ F_z - B /\mu$	560.072	700.002

表 6 和表 7 為 Wave 1 和 Wave 2 的摩擦力計算結果，參考文獻將摩擦係數取為 0.8，Wave 1 防止向上滑動縮需要的正向力大小約為 16.01 牛頓、防止向下滑動所需要的正向力大小約為 125.702 牛頓；Wave 2 防止向上滑動縮需要的正向力大小約為 560.072 牛頓、防止向下滑動所需要的正向力大小約為 700.002 牛頓。

III 中所計算的推、扭力結果是用來抵抗 SWATH 自身的阻力值，所需摩擦力的計算則是達成穩定頂靠時需要的正向力，產生摩擦力的概念是利用繫纜拖力的方式，固定一點並增加螺槳推力，使用的方式為勢流計算工具 PATPAN-SBP 進行計算。由 PATPAN-SBP 所獲得的 J 等於 0 時的推力係數為 0.562，扭力係數為 0.074，由此可以計算不同轉速下所得的推力、扭力值。圖 10 和圖 11 分別為兩種波浪情況下所需的摩擦力和轉速與推力曲線，藍色和綠色直線表示所需摩擦力的最小值，曲線表示各轉速對應的推力值，紅色點則為初始頂靠條件。Wave 1 的波浪情況下轉速最小值在 4.294rps(如圖 10)；Wave 2 的波浪情況需要的轉速最小值約為 10.133rps(如圖 11)，再將此推、扭力結果置入黏性流中欲觀察螺槳平面流場、周圍流場，為了使其留有餘裕，在放置回黏性流時，Wave 1 以轉速 5rps、Wave 2 以轉速 11rps 帶回黏性流計算。

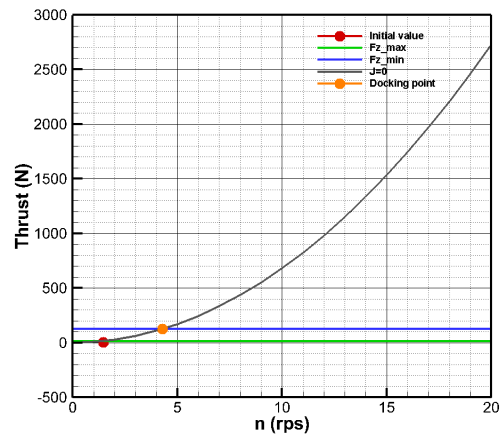


圖 10 Wave 1 波浪情況下摩擦力界限和轉速推力曲線

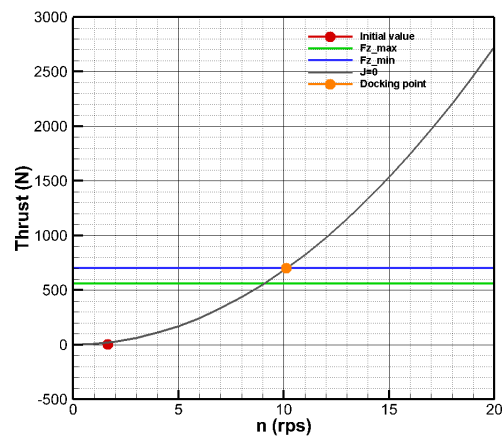


圖 11 Wave 2 波浪情況下摩擦力界限和轉速推力曲線

完成頂靠計算後，我們對於 Wave 2 的流場進行觀察，圖 12 為運動中所擷取的 5 個時間點船體運動情形，由計算結果與流場的分析。由流場可以看到當螺槳網格超過水面時速度的值立刻提高，這是因為黏性流分析中流體體積法的不穩定造成的結果，而導致數值計算上的錯誤，然而在真實世界中螺槳在作用時的確可能因船體的運動造成浮出水面，而造成空化或通氣(Ventilation)的現象。

此外，我們對於頂靠模擬計算的結果，可以得到以下的結論：

1. SWATH 在低速航行的情況下，起伏運動相較於設計航速航行時有明顯的增加，縱搖運動則沒有明顯的增加；
2. SWATH 在圓柱後方不論船艙固定與否起伏運動都有明顯的增加，縱搖運動雖有增加但增加幅度較起伏運動小；
3. 船艙固定的情況可減緩起伏運動；
4. 在低速時 SWATH 受波浪的軌跡運動後對起伏運動較為敏感。

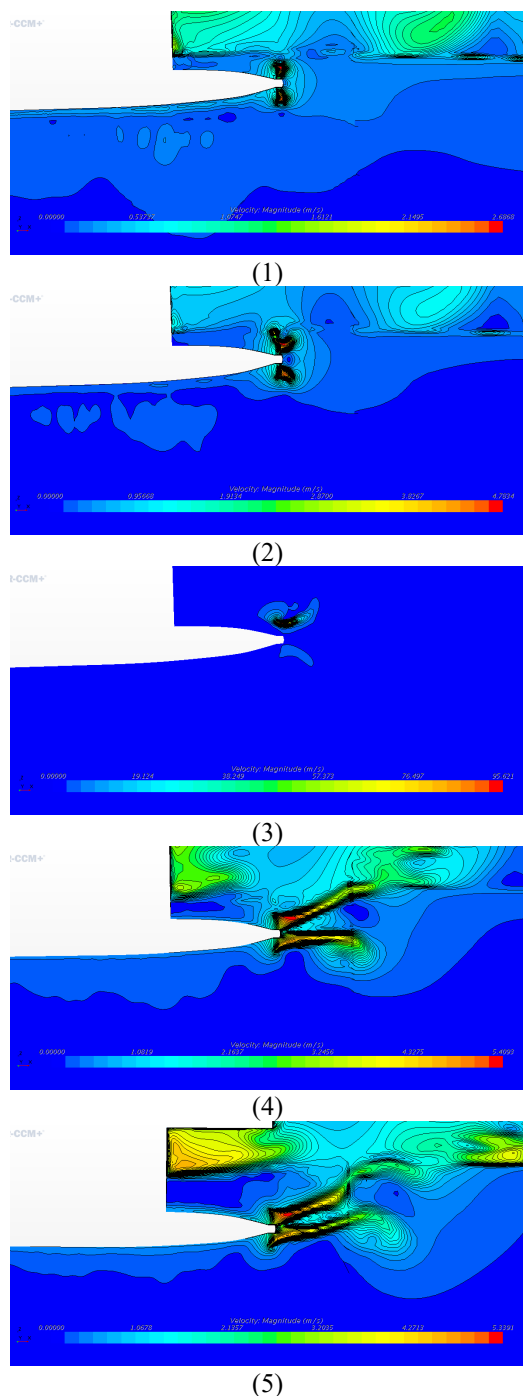


圖 12 SWATH 在 Wave 2 的波浪條件下，計算所得頂靠時運動中所擷取的 5 個時間點的流場。由上至下分別為時間點 1 至 5

V. 結論

本文分別應用黏性流方法以及勢流方法對頂靠問題進行模擬分析，將問題拆解為初始頂靠的推力、扭力計算；穩定頂靠所需的摩擦力計算；以繫纜拖力概念求取 SWATH 需增加的轉速值以達到所需的摩擦力。本文完成兩種波浪條件的在頂靠時所需的最小螺槳轉速計算，而在船體運動較大的情況下(如 Wave 2)在進行頂靠時可能遇到螺槳超出水面的情況，這表示當波浪大時，螺槳推力計算必須考慮自由液面效應。

在本研究中我們透過問題的分解建立了一套離岸風電工作船舶頂靠風機塔柱時的模擬計算，透過此模擬可以獲得在不同的波浪條件下船舶利用摩擦力來頂靠風機塔柱時螺槳所需要額外給予的推力大小，此方法未來可對不同波浪條件進行分析，並且應用於營運維護人員評估可出海工作的機率。

IV. 誌謝

本論文之研究由科技部與財團法人中國驗船中心支持，科技部計畫編號為 MOST 108-3116-F-002-003-CC1，由於他們的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

- [1] H. P. Stumpf, B. Hu, "Offshore Wind Access 2018", Energy Research Center of Netherlands (ECN), ECN-17-071,2018.
- [2] Dennis J. Clark, William M. Ellsworth, John R. Meyer, "The Quest for Speed at Sea", Naval Surface Warfare Center, Carderock Division, 2004.
- [3] Lee,C.M., and Curphey, R.M., " Prediction of Motion, Stability, and Wave Load of Small-Waterplane-Area, Twin-Hull Ships", SNAME Transactions, 1977.
- [4] Curtis A. Collins, James R. Clynych, Thomas A. Rago, " Comparison of SWATH and Monohull Vessel Motion for Regional Class Research Vessels", Naval Postgraduate School Monterey, CA 93943-5000, 2005.
- [5] 謝侑雯， "計算與分析小水面雙體船及其凌波控制設備在波浪中的性能"，碩士論文，國立臺灣海洋大學，2018.
- [6] 曾郁安， "離岸風車單樁基礎所受波浪力之計算"，碩士論文，國立臺灣海洋大學，2019.
- [7] 邱方伶,曾郁安,林宗岳,范秉天,辛敬業， "應用不同計算方法評估離岸風機基礎之波浪負荷"，2018台灣風能學術研討會暨科技部成果發表會，2018年12月7日，成功大學，台灣台南市
- [8] MingKang Wu, "Numerical analysis of docking operation between service vessels and offshore wind turbines", Norwegian Marine Technology Research Institute,2014.
- [9] Heine Grotting, "Small Water Plane Area Solutions for Access of Offshore Wind Turbines", Norwegian University of Science and Technology Department of Marine Technology,2015.
- [10] 辛敬業，林炳志， "計算繫纜拖力之邊界元素法 PATPAN-SBP"，台灣國際造船股份有限公司研發報告
- [11] 李勁甫， "在靜水與波浪中自推之模擬"，碩士論文，國立臺灣海洋大學，2015.
- [12] 林均達， "應用不同計算方式探討波浪對於推進性能的影響"，碩士論文，國立臺灣海洋大學，2016.