



Title	A CFD Study on Added Resistance, Motions and Phase Averaged Wake Fields of Full Form Ship Model in Head Waves
Author(s)	Wu, Ping-Chen
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/26191">https://doi.org/10.18910/26191</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Synopsis of Thesis

Title: Title: A CFD Study on Added Resistance, Motions and Phase Averaged Wake Fields of Full Form Ship Model in Head Waves

(向かい波中の肥大船模型船の抵抗増加、運動、位相平均伴流場に関する数値流体力学による研究)

Name of Applicant: Ping-Chen Wu

The prediction of added resistance of a ship in waves is essential to evaluate the ship performance in seaway. Also, it is of interest as the main factor for the fuel consumption in seaway to meet the requirement for minimum energy efficiency level measured by an Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) which are regulated by the International Maritime Organization's (IMO) Marine Environment Protection Committee (MEPC). Since the added resistance has a second order nature and it is based on the mean value of wave force, its value is relatively small compared to the amplitude of the excitation force. Thus a high degree of accuracy is required both in experiments and calculations. Once the added resistance, ship motions and wake field are predicted precisely, the propulsion design with higher efficiency, a more appropriate engine margin and lower gas emission could be expected. The present work is for the model ship KVLCC2 at design-Froude number 0.142 in fully loaded and ballast condition, in long and short waves.

The dissertation is divided into five chapters:

Chapter 1 reviews the literatures. The approaches developed to predict or estimate the added resistances are introduced: analytical method, advanced Potential Flow (PF) and lately Computational Fluid Dynamics (CFD). Along with the computation, the studies about Experimental Fluid Dynamics (EFD) are referred. The factors to influence the added resistance such as ship motions, ship speed, wave length, wave height, wave heading, hull form, bow shape and bow relative motion are discussed. In the end of section, the studies related to ship propulsion and nominal wakes in waves are reviewed.

Chapter 2 briefly introduces the experiment conducted in the towing tank of Osaka University, including the PIV (Particle Image Velocimetry) measurement for the wake field, and the other experiment data sources. The data is used for the validation of the present CFD simulation. The model ship's geometry is provided in the figures and a table.

Chapter 3 explains the CFD method (CFDSHIP-IOWA V4.5) utilized in the present work in detail. Absolute inertial earth-fixed coordinates are employed with the blended  $k-\varepsilon/k-\omega$  turbulence model using no wall function. The free-surface is modeled by the single phase level-set method. The 2DOF motion: free to heave and pitch and 3DOF motion: free to heave, pitch and surge are considered. The computational domain and boundary conditions and grid topology to capture the free surface, wave height/length and boundary layer/turbulence are discussed.

Chapter 4 introduces the uncertainty analysis. The theory of CFD verification and validation are explained. The verification study is performed for the wave length  $\lambda/L=1.1$  in fully-loaded condition. The iterative, grid and time step uncertainties are investigated. The total numerical uncertainty is less than 4%, which is better than the results of the other seakeeping studies published using CFDSHIP-IOWA.

Chapter 5 discusses the maximum ship response and resonance condition. The empirical formula for the natural frequency of heave and pitch motion are introduced. The CFD natural frequency simulations are performed at  $Fr=0.0$  for 1DOF or 2DOF with a constant value of initial ship motion. The CFD results are compared with the empirical values. The diffraction and radiation problem investigated by CFD and PF method are explained.

Chapter 6 presents the results for global variables. Firstly, the calm water resistance is discussed for

fully-loaded and ballast condition. For fully-loaded condition, the time histories for three wave lengths are studied and then the RAOs (Response Amplitude Operators), forces, moments and added resistance responses are analyzed. The surge/heave/pitch amplitude and phases are predicted fairly well. The relative bow and stern motions are discussed. The added resistance shows a peak near the wave length  $\lambda/L=1.1$ . It is slightly under predicted for shorter waves  $\lambda/L<1.2$  and over predicted for longer waves  $\lambda/L>1.2$ . The maximum ship responses and natural frequency of heave and pitch motion are investigated. The PF and CFD results for diffraction and radiation problem are compared. The wave amplitude effect for  $\lambda/L=1.1$  is discussed. For ballast condition, the RAOs and the added resistance are presented. The CFD free surge simulation can predict surge/heave/pitch amplitude. The added resistances are slightly under predicted generally. Both CFD and EFD show the peak is at  $\lambda/L=0.9$ .

Chapter 7 is to find the source of added resistance by local flow analysis and investigate the impact on the propulsion in waves. The X-force distribution after subtracting the calm water values on the hull shows the upper part of bow surface around FP has the major contribution for mean value, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> harmonic component. According to the unsteady wave pattern analysis, the non-zero mean value is induced by the diverging wave amplitude in waves higher than that in calm water. The 1<sup>st</sup> harmonic component including radiated and diffracted waves initiates at the fore-body shoulder and transom corner. The nominal wake behavior in waves is studied by comparing CFD result and PIV measurement in tank-fixed and ship-fixed coordinate. The bilge vortex and the vortex shedding around the shaft are observed. The bilge vortex is developed from the boundary layer on the stern hull and shedding into the propeller plane. It moves relative to the ship motion. The vortex shedding around the shaft is induced by vertical stern motion. A low speed area under the shaft extends downward deeply as the stern moves up. Two vortex systems are in different rotating directions. The orbital velocities along different vertical positions, vorticity/circulation and volume mean velocities on propeller plane are analyzed. The appearance of phase lag and 2nd harmonic component on the periodic oscillation of these variables is related to the movement and development of the bilge vortex. Their mean values would be different from the calm water one.

Chapter 8 draws the conclusion and proposes the future work. CFD is a powerful tool to predict ship motions and added resistance. Also the detail flow field could be provided to investigate the source of the added resistance and understand the phenomena of the ship wake behaving in waves. For the future work, the study of different heading wave effect is proposed. And the effective wake will be studied with a rotating propeller simplified by a propeller model. The appended rudder will be also considered.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Ping-Chen Wu )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	戸田 保幸
	副 査	教授	柏木 正
	副 査	准教授	松村 清重
	副 査	准教授	鈴木 博善
論文審査の結果の要旨			
<p>船舶からの温室効果ガス排出に関して国際海事機関 IMO の EEDI (Energy Efficiency Design Index) 規制が実施されることになり、船舶の更なる省エネルギー化が求められている。また将来の実運航時の温室効果ガスの排出削減に対する規制も議論されており、波浪中の推進性能の重要性も増してきている。このような中、波浪中で可変ピッチプロペラの翼角制御などにより更なる省エネルギー化をねらうことも行われ始めている。しかし現状では、推進性能に大きく関係するプロペラへの流入速度の変動などについての研究が少なく、詳細が分かっていないのが現状である。また波浪中の船体抵抗、運動については数多くの研究が行われているが、短波長域での現象がうまく表現できていないところもある。これらの問題に対して本論文では、粘性領域の流れの詳細まで解くことができる最新の CFD (数値流体力学) コードを用いて検討を行っている。</p> <p>最初に、現在までの研究の現状を調査し、ポテンシャル理論による手法、CFD を用いた手法などについて概要を述べるとともに、これまで行われた研究によって得られた知見をまとめている。また今回の計算と比較検討するための肥大船についての検証データについて述べ、大阪大学で行われた PIV (粒子画像流速計測) による流場計測について実験の概要を述べている。</p> <p>次に本論文で使われた CFD 手法について詳細を述べている。その手法では、空間固定の慣性座標系においてレイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式を解くとともに、物体固定座標で 3 自由度 (ヒープ、ピッチ、サージ) の運動方程式を連立させて解く手法について説明するとともに、乱流モデル、自由表面の取り扱いなどについて述べている。またその次に格子の大きさを変えた計算による数値計算に対する不確かさ解析を行い、計算手法の妥当性を調査した結果を述べている。</p> <p>力、運動などに対する計算結果をまず示し、本論文の計算手法が、波浪中抵抗増加、船体運動を精度良く推定できることを短波長域から長波長域まで実験データと比較することにより示している。さらに肥大船の載荷状態による違いについてもよく表現できることを示している。また、運動などの時系列を計測値と直接比較し、定常成分と変動成分についても表現可能であることを示している。さらに波浪中抵抗増加の原因や、波浪中推進性能を考える上で重要な流れ場や波動場について詳細な検討を行っている。まず波浪場や表面圧力の分布の計算結果から抵抗増加に大きく寄与している部分についての考察を行い、その特性を示して</p>			

いる。また速度場についても検討を行っているが、主には波浪中推進性能に大きく関係するプロペラ面の速度分布について実験結果と詳細に比較し、本論文の計算手法が波による流れの変動をよく表していることを示している。ここで粘性の影響を受けた境界層内部では波粒子の速度の変動とは異なる位相で変動し、単純な周期運動ではなく高次成分も含んでいることを示している。またこれらの結果をもとに、船体固定座標でのプロペラ流入速度の変動について考察し、高次成分の生じる理由として、船体から発生する一対の縦渦（ビルジ渦）が船体運動によって相対的に船体の上下方向へ移動すること、運動によってプロペラボス部から発生する一対の渦による影響が大きいことを示している。またプロペラ面内でプロペラ軸方向流速を平均することによりプロペラ円内公称流速の時間変化を求め、その平均値が平水中の場合より大きくなること、その変動振幅は波粒子速度の変動とは異なることを示している。この現象は、自由航走模型による推力の計測実験により求められた有効流速と平水中の有効流速の差の実験結果を説明しており、今後、波浪中推進性能を考える上で非常に重要な指針となる結果が得られている。

最後に本論文で得られた知見をまとめるとともに、今後行うべきプロペラ作動時の計算手法について示し、本論文で示された手法の発展可能性について述べている。

以上のように、本論文は波浪中推進性に関してこれまで多く議論されてきた、波浪中抵抗増加や波浪中の船体運動だけではなく、粘性の作用を強く受けたプロペラへの流入速度の分布や推力変動について重要で新たな知見を示しており、今後の波浪中における省エネルギー化に大きく寄与するものと思われる。また公聴会においても活発に質問がなされたが、いずれも申請者の説明によって質問者の理解が得られたことから、十分な専門知識があるものと認める

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。