

PS-5 実船省エネ付加物周りの流場解析および

実船 PIV 計測結果を用いた検証

流体性能評価系 * 坂本 信晶, 小林 寛, 大橋 訓英

1. はじめに

一般商船では、船舶運航時の省エネルギー化に対応するため、船尾周りに省エネ付加物を装備することが多い。実船で効果を発揮する省エネ付加物は、実船流場に基づいた設計および性能評価が為されるべきであると考えられ、そのためには実船流場計測とそれに基づくシミュレーション手法の高度化が必要である。シミュレーション手法の一つである CFD (Computational Fluid Dynamics)を用いた船体周りの流場解析は、これまで模型スケールで行われることが殆どであったが、近年では世界的に、その手法を実船スケール流場に適用する研究が進んでいる。本研究では、実運航状態における一般商船の実船スケール CFD 解析を実施し、その結果を PIV(Particle Image Velocimetry)による実船流場計測結果(PS-2を参照)に基づいて検証した結果を報告する。

2. 粘性 CFD 計算手法の概要

本研究では、海上技術安全研究所(海技研)で開発を進めている、重合格子対応の船用粘性 CFD ソルバー NAGISA ver.3.3(Ohashi et al. 2018)を用いた実船スケール計算は二重模型流れ状態で実施し、自航計算の際には、別途計算した造波抵抗係数を自航時の船体抵抗に加えることで、プロペラ荷重度に対する造波抵抗の影響を考慮した。プロペラモデルには、無限翼数理論に基づく体積力モデルを用いた。乱流モデルには、 $k-\omega$ モデルベースの EASM (Explicit Algebraic Stress Model) モデルを用い、壁関数を使用せず粘性底層まで解像する計算を行った。壁面粗度を考慮する際は、粗度高さを $150\mu\text{m}$ とした。運動量方程式の移流項離散化精度は 3 次であり、局所時間刻みを用いた定常計算を行った。

3. 供試船型・計算格子および流場条件

本研究に用いた供試船型は、国内造船所にて建造された 63,000DWT のバルクキャリアであり、船尾にダクト形の付加物を装備している。図 1 に、供試船型および船尾ダクトの概要を示す。また表 1 に、供試船型の主要目を示す。



図-1 供試船型(左)および船尾ダクト(右)の概要

表-1 供試船型の主要目

L_{pp}/B	6.048
B/d	2.406
D_p/L_{pp}	0.0323
$V_s(\text{knot})$	14.5

表 1 において、 L_{pp} は垂線間長、 B は全幅、 d は計画満載喫水、 D_p はプロペラ直径、 V_s は設計船速を示す。

計算格子を生成する際、特に実船スケール計算用の計算格子において、船体の静的トリム状態は、実船計測状態に合わせた。計算格子は全て、構造格子を用いて生成した。本研究では、主船体、船尾管、船尾ダクト、舵周りについてそれぞれ独立した格子を生成した。それぞれの格子間の補間情報は、CFD 計算を実行する前に、海技研で開発を進めている重合格子生成ソフトウェア UP_GRID(Kobayashi and Kodama 2016)を用いて計算した。壁面第 1 層の格子間隔は、使用した乱流モデルが正しく動作するよう、無次元粘性長さ y^+ が 1~2 程度となるように設定した。この格子を使用した計算で、船体中央部の船底における境界層速度プロファイルが、滑面・粗面共に、壁法則によく一致していることを確認した。表 2 に、本研究に用いた計算セル数を示す。

表-2 計算セル数

要素	セル数
ダクト	1,576,960
船尾管	2,876,800
舵	1,656,000
主船体	6,739,200
矩形格子	25,088
総セル数	12,874,048

CFD 計算を実施する際の流場条件であるレイノルズ数 (Rn) は、計算結果の検証に用いた水槽試験状態および実船流場計測状態に合わせ、表 3 に示す通りとした。

表-3 主な CFD 計算に使用した流場条件

Rn	計算目的
$7.93E+06$	模型スケール伴流推定精度の検証
$1.10E+09$	実船スケール伴流推定精度の検証

4. 計算結果および考察

ここでは紙面の都合上、流場に関する計算結果および考察を行う。図2に、プロペラ位置における模型スケールの公称伴流分布の検証結果を示す。 θ は、プロペラ直上を0度とし、船尾から見て右回りを回転方向とする。CFD計算は、全ての半径位置(r/R)において、水槽試験結果をよく再現した。 $r/R=0.7, 0.8$ の $\theta=90$ 度から270度付近に見られる、船尾ダクトに起因する軸方向速度(u_x/U_0)の低速領域も、本研究で用いた計算手法により、精度良く捉えることが出来た。

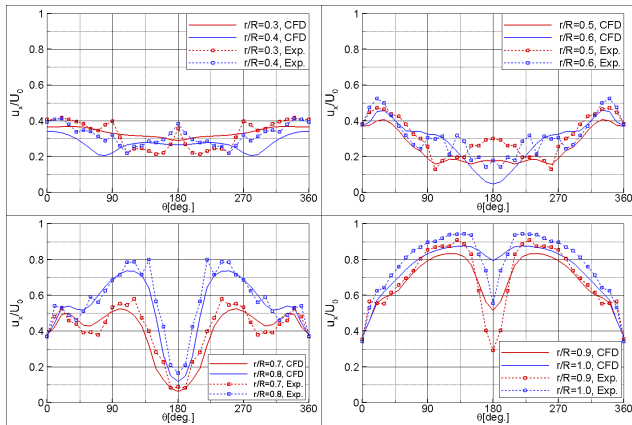


図-2 模型スケール公称伴流分布推定精度の検証

図3に、プロペラ位置における実船スケール(但しダクト無し状態)の公称伴流分布を、各種方法により推定した結果を示す。船体表面を滑面とした実船スケール計算結果は、CFDで推定した模型スケール伴流分布を、笹島・田中法により実船外挿した結果に、全体的によく一致した。壁面粗度を考慮した実船スケール計算結果では、滑面の計算結果との差は $r/R=0.6$ まで顕著であるが、それ以降はその差が目立たなくなった。壁面粗度をCFD計算に取り入れることで、船尾伴流に顕著な差を生じる可能性があり、実船スケール公称伴流をプロペラ・省エネ付加物等の設計に用いる場合には、壁面粗度の有無は重要な要素となり得ることが分かった。

図4に、2箇所の異なる計測断面(Fr. 9, Fr. 7)における、実船スケール伴流分布(軸方向)の推定精度検証結果を示す。どちらの計測断面においても、壁面粗度を考慮した計算結果が、考慮しない結果に比べ、実船計測結果に良く一致する傾向を示した。また、壁面粗度の有無により、ダクト上面の流れが大きく変化していることが分かった。壁面粗度を考慮した場合、滑面に比べ境界層が厚くなり、結果としてダクトに対する流入角度が小さくなることで、滑面時にダクト上面で生じていた流れの剥離が起りにくくなったと考えられる。

5. まとめ

本研究では、省エネ付加物付きバルクキャリアの実船スケール計算を実施し、実船計測結果を用いた検証を行った。その結果、壁面粗度を考慮した計算により、実船スケール船尾流場を精度良く推定出来る可能性があることを示した。

謝辞

本研究は、国土交通省からの請負研究「実船の流場計測等による船舶の高度性能評価システムの構築のための調査研究業務」により実施しました。関係各位に御礼申し上げます。

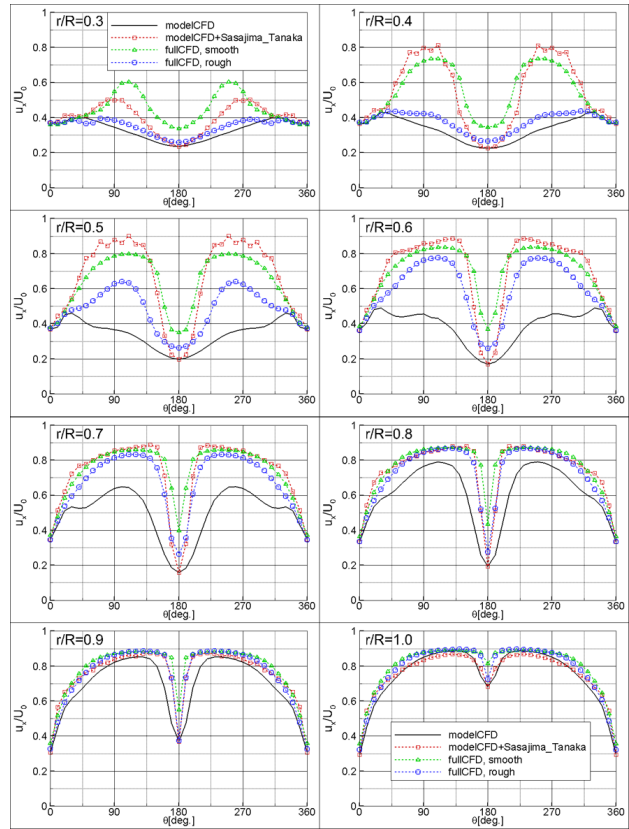


図-3 各種方法による実船スケール公称伴流分布の推定

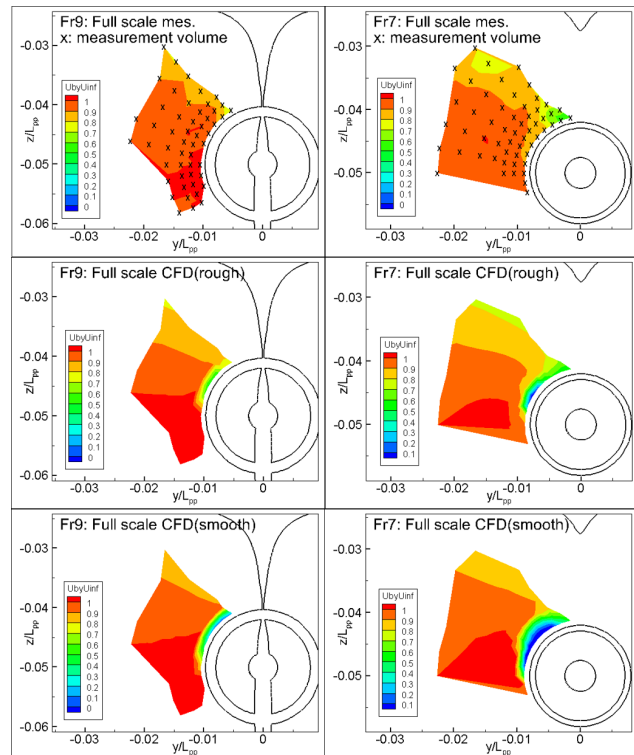


図-4 実船スケール伴流分布(軸方向)推定精度の検証