

PS-4 非定常 RaNS 法による波浪中船尾流場の解析

流体設計系 *坂本 信晶、流体性能評価系 大橋 訓英

1. はじめに

実海域では、船舶は波浪中を航行していることから、その流力性能を波浪中で推定することは極めて重要であり、この推定が十分な精度で達成出来れば実運航時の省エネに資する情報を得ることが出来る。その推定には近年、波浪中水槽試験・ストリップ法等の理論計算¹⁾に加え、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)が利用されつつある。

粘性 CFD の適用範囲は、定常問題を計算する抵抗・推進性能シミュレーションから、非定常かつ動的な問題を計算する操縦・耐航性能シミュレーションにも広がってきた。当所での適用例としては、従来の操縦運動数学モデルを使わず自由航走シミュレーションによる運動航跡の直接計算²⁾、規則波中での波浪中抵抗増加量³⁾およびスラスト変動⁴⁾の推定等がある。

本資料では、規則波中を 2 自由度運動しながら航行する模型スケールの船体について、粘性 CFD シミュレーションによりその船尾流場を解析した結果⁵⁾を紹介する。

2. 粘性 CFD ソルバー-SURF の概要

本研究には、(独)海上技術安全研究所において開発が進められている、非構造格子ベースの非圧縮性レイノルズ平均 Navier-Stokes 方程式 (RaNS) ソルバー SURF⁶⁾を用いた。以下に、その主な機能を示す。

- 疑似圧縮法による速度場-圧力場結合
- 有限体積法による空間離散化
- Dual-time stepping による非定常計算
- 1 方程式・2 方程式乱流モデル(等方・非等方)
- 単相 Level set 法による自由表面モデル
- 移動格子法による格子変形、および予測子-修正子法を用いた運動方程式ソルバーによる動的問題解法
- 規則波・不規則波に対応した波浪モデル
- 無限翼数理論に基づく簡易プロペラモデル

3. 計算条件

3.1 対象船型および計算条件

研究対象船には、汎用ベンチマーク船型である Series 60 ($C_B=0.6$) の他、自動車運搬船など要目の異なる複数種類の船型を用いた。本資料では、主に Series 60 の結果を示す。

図 1 に、使用した計算格子および境界条件を示す。計算格子は O 型トポロジーであり、Gridgen®を用いて総セル数約 1.12M(片舷)の構造格子を生成した。計算

に用いるフルード数 (F_n) およびレイノルズ数 (R_n) は、垂線間長 L_{pp} および船速を代表値として、 $(F_n, R_n)=(0.24, 3.2E+06)$ を用いた。波浪場は正面規則波として inflow 境界より計算領域に入射させ、波長船長比 (λ/L_{pp}) は $1.0 < \lambda/L_{pp} < 1.6$ 、波高 (ζ_a/L_{pp}) は $5.56E-03$ とした。

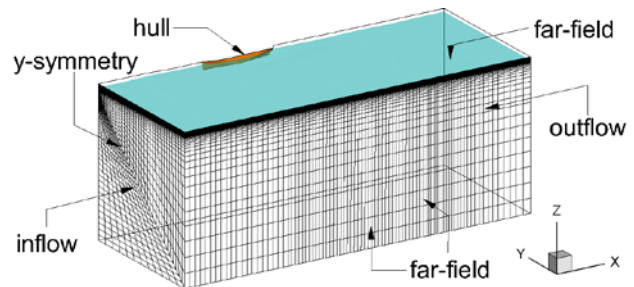


図 1 計算格子および境界条件

3.2 船尾流場解析

非定常船尾流場の解析では、プロペラ面付近の流速分布およびプロペラ面での公称伴流係数 ($1-w_n$) の時刻歴に注目した。RaNS 方程式は地球固定座標系で解いていることから、計算の後処理で、オイラー角を用いて流場を船体固定座標系に変換した後に、流速分布および $1-w_n$ を計算した。 $1-w_n$ 計算の際、プロペラ直径 (D_p/L_{pp}) は 0.03641 、ボス比は 0.2 とした。 $1-w_n$ の時系列は、入射波に対する出会い周期を用いてフーリエ解析し、その振幅成分を算出した。

4. 解析結果

4.1 非定常船尾流場

図 2 に、 $\lambda/L_{pp}=1.0$ における出会い周期 (t/T_0) 2 周期分のヒープ、ピッチ、プロペラ中心位置の相対変位および $1-w_n$ の時刻歴を示す。図 3 には、図 2 中”■”の時刻に対応したプロペラ面付近の流速分布を示す。参照値として、塚田ら⁷⁾が計測した類似船 ($C_B=0.52$, $\lambda/L_{pp}=1.0$) の同時刻における計測伴流を示す。計算により得た $1-w_n$ の変動は、船体運動に伴い平水中の値よりも約 6%程度大きくなっており、塚田らの計測値(約 5%程度増加)と一致している。プロペラ面付近の流速分布計算結果では、船尾の上下運動に伴い主に 3 時-6 時の領域で境界層が上下に伸縮し、12 時-2 時の領域で船尾縦渦が変化していることが分かり、こちらも塚田らの計測伴流の変化と定性的に一致している。境界層の伸縮は、船体運動に伴いプロペラ面が下に下がると、船尾が速い流れの中に入るため、境界層が部分的かつ周

期的に薄くなることに起因していると考えられる。船尾縦渦の変化は、船体運動に伴い、船体表面からの3次元剥離位置が変化することに起因していると考えられる。

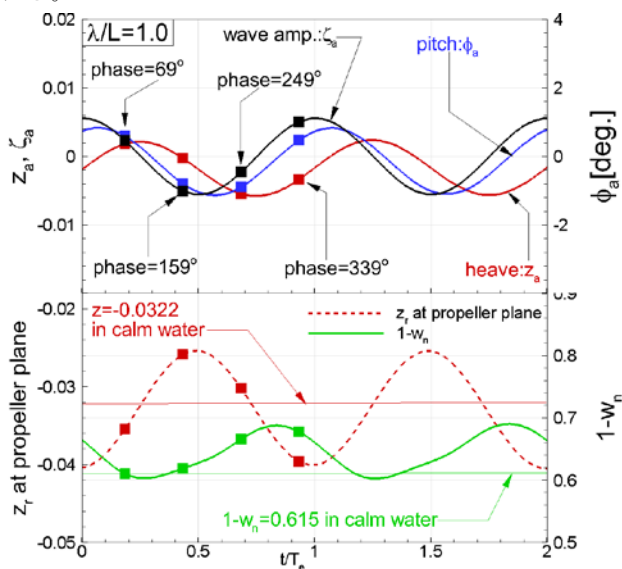


図2 船体運動および $1-w_n$ の時刻歴

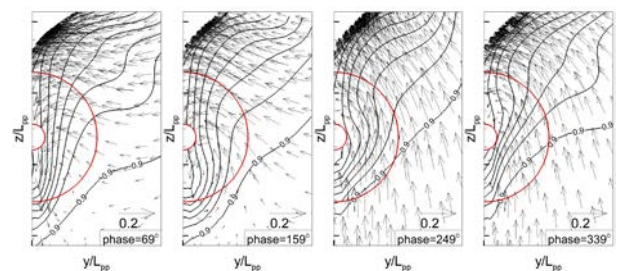
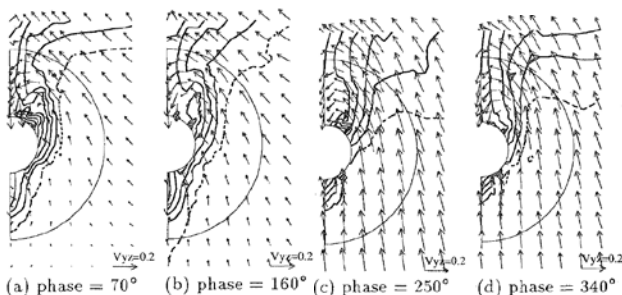


図3 プロペラ面付近の流速変動：参照計測値⁷⁾(上) vs 計算結果(下)

4.2 船体運動と公称伴流係数の関係

波浪中 $1-w_n$ の平水中値に対する増加が、どの運動によるものかを解明するため、2自由度予測運動計算結果を入力として、1) 平水中強制ピッチ、2) 平水中強制ヒープの強制動揺計算を実施し、 $1-w_n$ の時間変動を調べた(図4および表1)。その結果、ヒープ、ピッチ運動のどちらもが、 $1-w_n$ の平水中値に対する増加つまりプロペラ面内での軸方向運動量供給に寄与しており、どちらの運動が支配的であるかを特定することは難しいことが分かった。また $1-w_n$ の時刻歴に関して、2つの強制運動計算結果の重ね合わせは、2自由度予測運

動の計算結果に一致せず、線形重ね合わせが成り立たないことが分かった。更に $1-w_n$ の0次・1次成分は共に、波長船長比によって変化し、船体運動の応答特性に類似した変化を示すことが分かった。

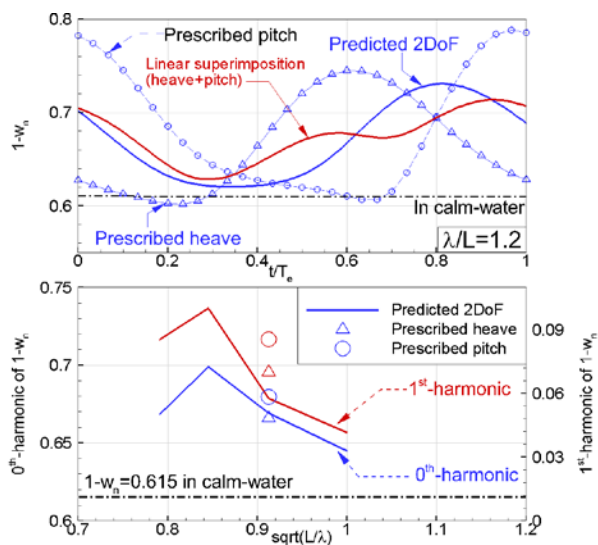


図4 強制動揺計算による $1-w_n$ の時刻歴

表1 各運動計算時の $1-w_n$ 比(波浪中/平水中)

	Present cal.	Tsukada et al. ⁷⁾
Predicted 2DoF	1.09	1.06
Prescribed pitch	1.10	1.04
Prescribed heave	1.08	-
Fixed in waves	-	1.01

5. まとめ

規則波中をヒープ、ピッチの2自由度運動しながら航行する船体について、粘性CFDシミュレーションによりその船尾流場を解析することで、波浪中推進性能推定に資する結果を得た。

謝辞

本研究は一部、科研費若手(B)#24760680の助成を受け実施しました。関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 辻本他, 2010, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.10, pp.97-104.
- Sakamoto and Ohashi, 2014, to be presented, Proc. 17th Numerical Towing Tank Symposium, Sweden.
- Ohashi et al., 2013, Proc. MARINE 2013, Germany.
- 大橋他, 2013, 第27回数値流体力学シンポジウム, 講演番号 A08-3.
- Sakamoto and Ohashi, 2012, Proc. 26th CFD Symposium, Paper No.D09-2, Japan.
- Hino et al., 2008, Proc. AMEC2008, Japan.
- 塚田他, 1997, 関西造船協会誌, 第228号, pp.15-20.