

PS-19 遊漁船の波浪中運動に関する研究

流体性能評価系 * 河村 昂軌, 大橋 訓英, 田口 晴邦, 黒田 貴子, 柳 裕一朗

1. はじめに

漁船を始めとする小型高速船が波浪中を高速航行すると、激しい船体動揺を生じる場合があり、急激な船体動揺により、乗客や釣り客が負傷する事故も発生している。事故防止の対策を考える場合、平水中、波浪中での高速船の運動を把握する必要があるが、高速船は小さな設計変更で喫水や姿勢が変わってしまい、限られた時間と費用面等から模型試験で全てを把握することは困難であり、より柔軟に対応できる数値計算による推定は有効であると考えられる。そこで本研究では数値流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)を用いて遊漁船の運動推定を行う。平水中曳航シミュレーションと比較的高いフルード数 ($Fn=0.789$) における規則向波中での船体運動シミュレーションを行い、模型試験結果との比較を行う。また、小型高速船では横揺れ軽減のためのビルジキールが全長に渡って取り付けられていることがあり、ビルジキールの有無による船体運動、波浪中での船体平均姿勢への影響についても調査する。

2. 数値計算手法

本研究では海上技術安全研究所で開発された NS ソルバー「NAGISA」¹⁾を用いてシミュレーションを行った。本ソルバーの支配方程式は以下に示す非圧縮の三次元レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式であり、疑似圧縮性を仮定し、圧力と速度のカップリングを行っている。

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial q^*}{\partial \tau} + \frac{\partial(e - e^v)}{\partial x} + \frac{\partial(f - f^v)}{\partial y} + \frac{\partial(g - g^v)}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

$$q = [0 \quad u \quad v \quad w]^T \quad (2.2)$$

$$q^* = [p \quad u \quad v \quad w]^T$$

(2.1)及び(2.2)式は密度 ρ_0 、代表速度 U_0 、代表長さ L_0 で無次元化されており、 $(x \ y \ z)$ 方向の流速は $(u \ v \ w)$ で表す。実時間は t 、疑似時間は τ である。自由表面モデルとして一相のレベルセット法を適用し、乱流モデルには線形の二方程式モデルである $k-\omega$ SST モデルと壁関数モデルを使用した。

3. 対象船と模型試験

シミュレーションの検証のために三鷹第三船舶試験水槽において遊漁船模型の平水中、波浪中曳航試験を実施した。使用した遊漁船模型を図 1 に、模型船の主要寸法を表 1 に示す。図 1 に示す様に、供試船型は小さなチェーンラインを 2 つ、大きなチェーンラインとその角を延長させたビルジキール、さらにセンタースケグを有する船型である。



図 1 遊漁船模型

表 1 主要目

	Model
Loa (m)	2.455
Lpp (m)	1.850
B (m)	0.561
d (m)	0.089

4. 計算条件

CFD 計算における計算格子には図 2 に示す船体格子周りの格子と、矩形格子による重合格子を用いた。格子総数は船体格子と矩形格子とも約 210 万点である。船体運動は移動格子法により反映し、動的重合格子手法は使用せず、重合関係が成立している範囲を船体運動と同じく変形させることで初期の重合情報を使い続ける手法を適用した。ビルジキール有無での影響も調査するため、まず、チェーンラインとビルジキールを再現するよう格子を生成し、ビルジキールなしの状態ではビルジキール周り以外は可能な限りビルジキール有りの状態と同一となるよう生成した。計算条件等は以下の通りである。

- ・フルード数 平水中：(0.4 から 1.0) 波浪中：0.789
- ・波長船長比 1.0～4.0
- ・波向き 向波
- ・波高 9.5cm (模型試験相当)
- ・ヒープ及びピッチ運動を計算し、サージ運動は固定。

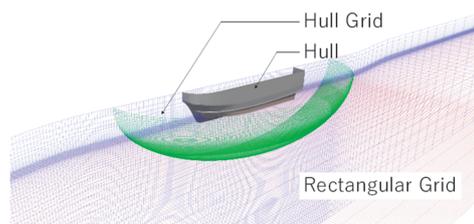


図 2 主船体周りの計算格子

5. 計算結果

始めに、平水中曳航計算結果と模型試験結果の比較を行った。シンケージとトリムの比較を図 3 に示す。

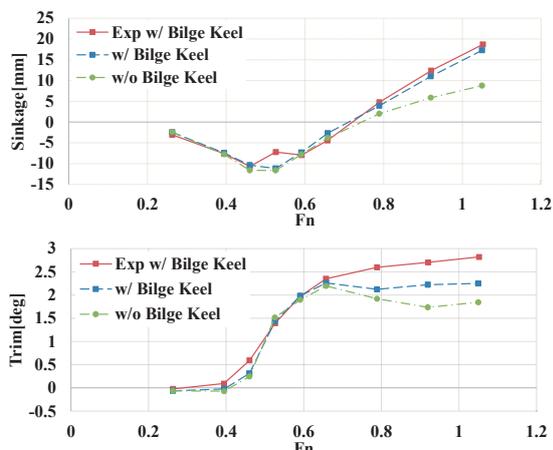


図 3 平水中航行姿勢 (上: シンケージ 下: トリム)

計算結果は実験結果と良く一致しており、高速域においてビルジキールを考慮しない場合、シンケージとトリム共に小さくなるのが計算結果において確認できる。図 4 に $F_n=1.052$ での船首付近の自由表面の可視化図を示す。船首付近においてビルジキールの下面により自由表面の上昇が抑えられ、これにより船首が持ち上がることでシンケージとトリムの増加に繋がったと考えられる。

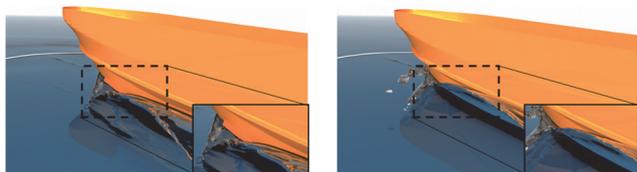


図 4 船首部の自由表面の可視化 ($F_n=1.052$)
左: ビルジキール考慮 右: 無し

次に、向波中での計算を行った。運動の応答関数の比較を図 5 及び図 6 に示す。参考としてストリップ法²⁾の結果も図中に示す。CFD による計算結果は上下揺れ、縦揺れ共に計測結果と概ね一致しており、ストリップ法では $\lambda/L=2.4$ 付近で過大な応答が見られるが、CFD では現れていない。向波中におけるビルジキールの影響については、上下揺れ、縦揺れともにわずかに運動を抑える方向に働くことが確認された。ビルジキールは入射波との干渉により、船体運動を抑える効果があると考えられる。また、平均姿勢を見ると CFD による計算結果は実験結果と概ね一致しており、平水中と同様に、ビルジキールなしでは平均姿勢もわずかながら小さくなるのが確認された。

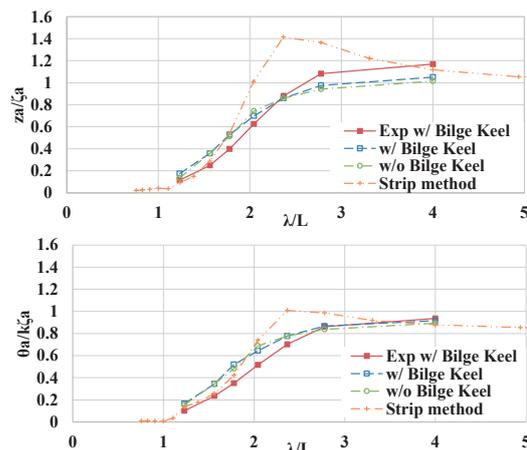


図 5 応答関数 (上: 上下揺れ 下: 縦揺れ)

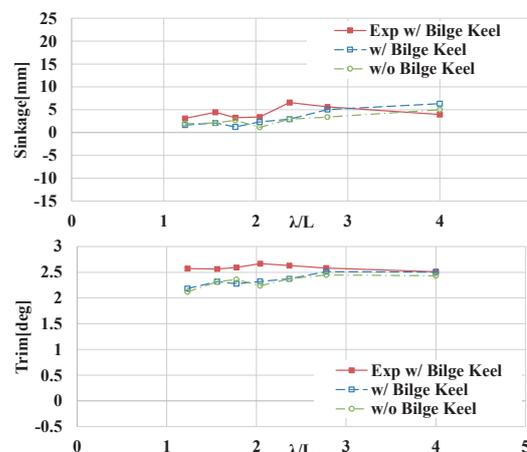


図 6 波浪中平均姿勢 (上: 上下揺れ 下: 縦揺れ)

6. 結論

海上技術安全研究所で開発を進めている NS ソルバー「NAGISA」を用いて高速で航走する遊漁船の平水中及び波浪中での計算を行い実験結果と比較した。計算結果は、平水中での航行姿勢、波浪中での上下揺れ及び縦揺れの応答関数と平均姿勢について実験結果と概ね一致することを示した。波浪中での運動の応答関数に与えるビルジキールの影響を確認し、上下揺れ及び縦揺れともにビルジキールはわずかに運動を抑える方向に働くことが分かった。また、平水中と同様にビルジキールなしでは平均姿勢も小さくなるのが確認された。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 20K14966 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Ohashi et al. "Development of a structured overset Navier-Stokes solver with a moving grid and full multigrid method". JMST (2018).
- 2) N.Salvesen et al. "Ship Motions and Sea Loads". TSNAME(1970).