

PS-6 次世代型帆装船の帆の角度制御法について

流体性能評価系 * 鈴木 良介、塚田 吉昭、上野 道雄

1. はじめに

環境負荷の低減への関心から再び帆装船(次世代型帆装船¹⁾)の研究開発がおこなわれるようになりつつある。一方で、次世代型帆装船の実現に向けては数多くの課題が存在する。その一つとして帆の干渉影響による推進力の低下が挙げられる。これは、複数帆を設置した場合に、帆は他の帆や船体からの干渉を受けるため、帆単独と比較して発揮できる最大推進力が低下する現象である。帆走性能を十分に発揮するためには、帆単独の形状の開発に加え、この干渉影響を最小化することが不可欠である。しかし、これらに関する研究は十分とは言えない。

本研究では、複数帆の干渉影響を小さくする帆の角度制御方法を新たに提案し、この制御方法にもとづく推進力係数を風洞実験で調査して、過去に提案された帆の角度制御法²⁾と比較する。

2. 風洞実験

2. 1. 風洞模型

次世代型帆装船の風洞模型を図-1に示す。船体は満載状態のばら積船模型である。船体上には、硬帆・スラット・三角形軟帆から構成される4本の高揚力複合帆²⁾を搭載している。模型船と帆の主要目および寸法は文献²⁾に従う。

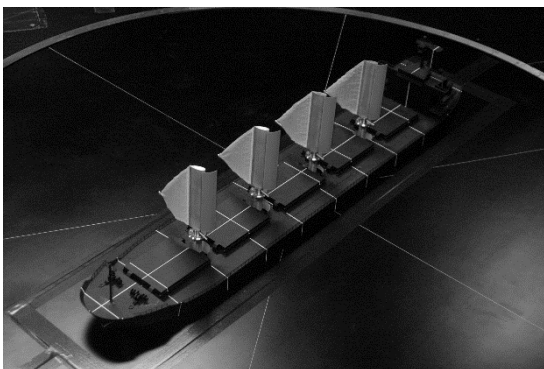


図-1 次世代型帆装船模型

2. 2. 実験の方法と実験状態

実験は当所変動風水洞でおこなった。風洞試験では、後述の手順(2.1.3 節参照)に従って帆の角度を制御していき、干渉影響を含んだ帆の推進力係数の最大値とその時の帆の迎角を見掛けの風向ごとに求めた。推進力係数は、帆を搭載した模型船上の個々の帆に働く前後力、左右力、帆の旋回軸周りのモーメントを文献²⁾同様に各帆

に取り付けた三分力計で計測することで求めた。

複合帆のスラット角とブーム角最大揚力が得られる 35° と 30° ²⁾でそれぞれ一定にした。三角形複合帆の投影面積の定義は文献²⁾に従い、この状態での投影面積 S_{sail} は 0.0176m^2 となる。本模型寸法における最大閉塞率(風洞断面と模型側面投影面積比)3.0%では閉塞影響はほぼ見られないことが報告³⁾されているため、閉塞影響による風速修正はおこなっていない。

実験のはじめにそれぞれの帆の風圧係数への風速の影響を調べ、風速 15m/s 以上でその値がほぼ変化しなくなることを確認した。そのため、基準風速 20m/s の一樣風のみで実験をおこなった。

各帆の番号を船首側からNo.1~4と定義する。

2. 3. 帆の角度制御法

本研究では、干渉影響を考慮しない”単独帆重ね合わせ”と過去に提案された”傾斜配列法”²⁾に加え、新たに提案する2つの帆の角度制御方法の”傾斜角度差保持法”、”反復傾斜配列法”の計4種類の制御法を調査する。以下に”単独帆重ね合わせ”と新たに提案した2種類の帆の角度制御法の概要を述べる。

(1) 単独帆重ね合わせ

単独帆重ね合わせは船体や帆から干渉影響を受けない帆の流体力特性、つまり干渉を理想的にゼロにできた場合に到達できる帆の流体力特性の限界を示す。単独帆の性能は、船体を設置せずに一本の支柱に帆を取り付けた状態で計測をし、支柱のみの状態での計測値を差し引いた値で評価をした。帆の迎角 α は船体前後方向の推進力が最大となるように、船体基準風向角 $\psi=30^\circ$ で $\alpha=10^\circ$ 、 $\psi=40^\circ\sim 50^\circ$ で $\alpha=20^\circ$ 、 $\psi=60^\circ\sim 90^\circ$ で $\alpha=30^\circ$ 、 $\psi=100^\circ\sim 170^\circ$ で $\alpha=35^\circ$ 、 $\psi=180^\circ$ で 70° と実験より設定した。

(2) 傾斜角度差保持法

本法では傾斜配列法²⁾で定めた4本の帆の迎角の差が最適であると仮定して帆の角度を制御する。

① 傾斜配列法²⁾により4本の帆の迎角を求める。

② ①で定めた帆の状態から、4本の帆の角度の差を保ちながら、すべての帆の迎角を同時に同量だけ微小角増減させる。

③ ②で微小角変化させたときに、4つの帆の船体前後方向の推進力係数の平均値 $\overline{c_{xsail}}$ が増加する方向にすべての帆の迎角を同時に同量さらに変化させる。

④ $\overline{c_{xsail}}$ が最大となる迎角で4本の帆の迎角を定める。

(3) 反復傾斜配列法

この方法は傾斜配列法²⁾を2回反復することによって迎角を定める方法と言える。

- ① 傾斜角度差保持法で4本の帆の迎角を定める。
- ② No.1 帆の迎角を①で定めた角度に固定し、その状態から、傾斜配列法で定めた No2 帆以降の3つの帆の迎角の差を保ちながら、それら3つの帆の迎角を同時に同量だけ微小角増減させる。
- ③ ②で微小角変化させたときに、 $\overline{c_{xsail}}$ が増加する方向に No.2~No.4 の帆の迎角を同時に同量さらに変化させていく。
- ④ $\overline{c_{xsail}}$ が最大となる迎角で No.2 帆の迎角を定める。
- ⑤ 以降 No.3,4 の帆と繰り返す。

2. 4. 実験結果の評価の方法

三分力計で計測された個々の帆の前後力、左右力およびその時の迎角と船首方位から船体の前後力成分 $X_i (i=1,2,3,4)$ を求めた。この成分は次式で無次元化をおこなった。 ρ_A は空気密度、 U_A は平均風速を示す。

$$C_{Xi} = X_i / 0.5 \rho_A U_A^2 S_{sail}$$

これらの値より、平均推進力係数 $\overline{c_{xsail}}$ を求め実験結果をまとめた。

3. 実験結果

見かけの風向ごとに各帆の角度制御法によって得られた最大 $\overline{c_{xsail}}$ を図-2 に示す。また、例として $\psi_A = 40^\circ$ における最適迎角の違いを図-3 に示す。図-2 より、傾斜配列法¹⁾・傾斜角度差保持法・反復傾斜配列法の3つでは帆に作用する船の前後方向の推進力係数に大きな差がないことが確認できる。この3法は向風から横風では干渉影響が小さく単独帆重ね合わせの状態に近いことが確認できる。一方、横風から追い風にかけては干渉影響が大きいことが確認できる。

図-4 に傾斜角度差保持法と反復傾斜配列法による傾斜配列法¹⁾からの最大 $\overline{c_{xsail}}$ の変化率を示す。本図より、傾斜角度差保持法の推進力係数は向風ほどその変化率が大きく、最大4.5%程度大きくなることが確認できる。これは、傾斜配列法¹⁾からの最適迎角の変化量が、向風になるほど大きくなるためであると推測される。横風から真追い風では傾斜配列法¹⁾との最適迎角の変化はないため $\overline{c_{xsail}}$ に変化は見られない。同様に反復傾斜配列法による推進力係数も、向風になるほどその変化率が大きい。その増加率は傾斜角度差保持法よりわずかに大きく最大5%程度である。また、横風から追い風の範囲で最適迎角に変化のある見かけの風向きでは、推進力係数は大きくなることが明らかとなった。実験結果と実験時の軟帆の状態の観察から、この現象には軟帆失速が関係しているものと考えられる。

4. まとめ

複数帆の推進力の増加を目的として、帆および船体から帆の受ける干渉影響を軽減させるための新しい2つの

帆の角度の制御方法、“傾斜角度差保持法”・“反復傾斜配列法”

を提案し、風洞実験により帆の推進力係数が傾斜配列法と比べ最大約5%改善されることを明らかにした。

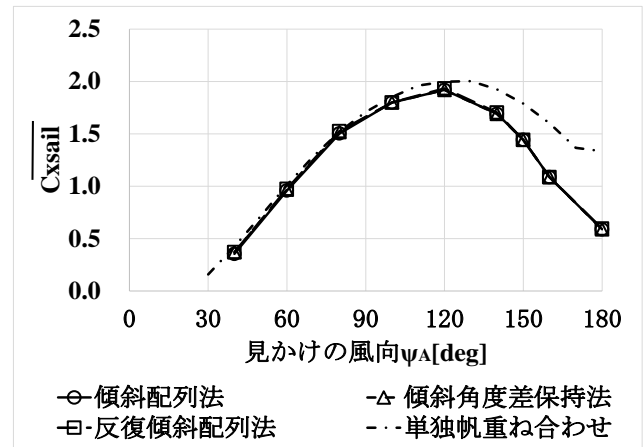


図-2 帆の角度制御の違いによる $\overline{c_{xsail}}$ の比較

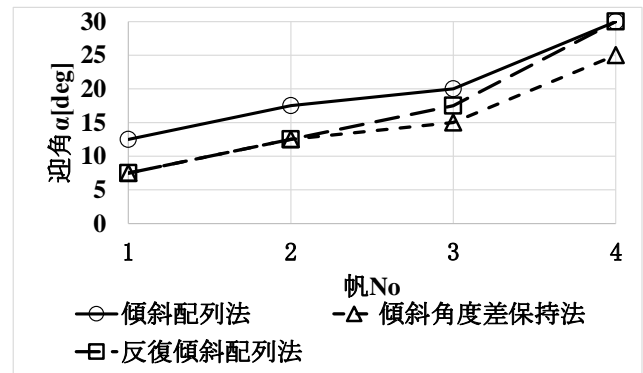


図-3 帆の角度制御ごとの最適迎角の比較 ($\psi_A = 40^\circ$)

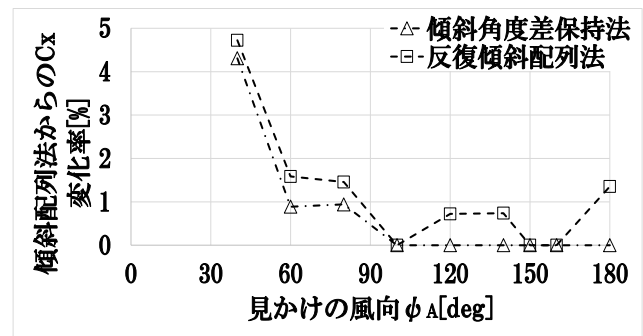


図-4 傾斜配列法からの $\overline{c_{xsail}}$ の変化率

参考文献

- 1) 上野道雄ほか：次世代型帆装船の基礎研究：海上技術安全研究所報告，第4巻第6号，pp.2-3，2004。
- 2) 上野道雄ほか：次世代型帆装船の基礎研究：海上技術安全研究所報告，第4巻第6号，pp.21-31，2004。
- 3) 建築物風洞実験ガイドブック：日本建築センター，1994