

翼型気泡発生装置を用いた船舶摩擦抵抗低減に関する曳航水槽実験

Towing Tank Experiments on Ship Drag Reduction by Hydrofoil Bubble Generators

佐藤 弘康

指導教員 熊谷 一郎

明星大学 大学院 理工学研究科 機械工学専攻 流体工学研究室

キーワード：マイクロバブル，水中翼，船舶，抵抗低減

1. はじめに

近年の地球温暖化問題に対して様々な分野における省エネルギー化が推進される中、船舶分野においても省エネルギー化のための抵抗低減技術の開発が期待されている。中でも、環境に優しい技術として、船体と海水の間に気泡や気膜の層を設けることで摩擦抵抗を低減する空気潤滑法が注目されている。一方で、ブローヤやコンプレッサーの使用による消費電力の増加や微細気泡生成時の圧力損失によって、正味の抵抗低減効果を減少させてしまう問題がある。そこで我々の研究グループでは、空気導入管の直下に水中翼を取り付け、翼上面に発生する負圧を利用した空気導入法を提案し、より少ないコストで正味摩擦抵抗低減効果を得られる翼型気泡発生装置を開発した (Kumagai et al, 2015; Murai et al, 2022)。しかしながら、これまで実船の巡航速度における実験例が少ないため、本装置の空気導入性能(空気流量、ボイド率、気泡サイズ)や摩擦抵抗低減効果の向上に関する知見は乏しい。そこで本研究では、実船の巡航速度での曳航が可能な海上技術安全研究所の400m水槽と36mの長尺模型船を用い、翼型気泡発生装置による空気潤滑法に関する実験を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に模型船と翼型気泡発生装置の断面の概略図を示す。模型船(長さ36m、幅1m、高さ375mm、喫水70mm)には、翼型気泡発生装置、せん断応力

センサー、気泡可視化のためのラインカメラ2台、高速度カメラ3台を設置した。

本実験で使用した水中翼(翼弦長 $c=40\text{mm}$ 、翼幅 $b=200\text{mm}$ 、迎角 $\alpha=12^\circ$ 、翼型NACA4412)は3Dプリンターを用いて製作した。また、両端の柱状部分はNACA0024を採用した。水中翼は模型船の最も船首側の応力計取り付け窓部に右舷と左舷にそれぞれ1つずつ装着し、その直上に3本の空気導入管を取り付けた。3本の空気導入管の内、中央の1本には空気流量計を設置した。

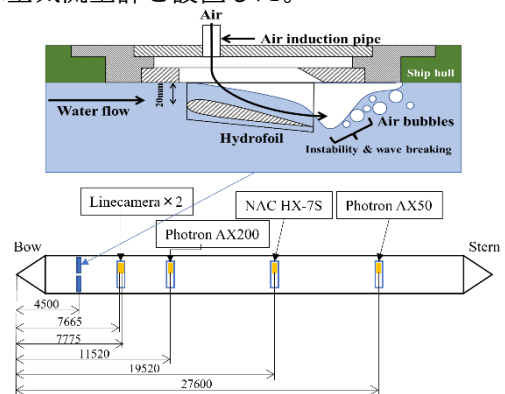


図1 模型船と翼型気泡発生装置の断面の概略図

2.2 実験条件

摩擦抵抗低減効果の船速依存性を調べるため、曳航速度 U を4~8m/sの範囲で実験を実施した。また、気泡発生装置が未装着の模型船にかかる摩擦抵抗との比較から、翼型気泡発生装置による正味摩擦抵抗低減率を求めた。装置を装着した場合には、気泡を発生させない場合(close)、3本の空気導入管を全開した場合(A3)の摩擦抵抗をそれぞれ計測した。

3. 実験結果および考察

3.1 全摩擦抵抗低減率

図2に模型船の全摩擦抵抗低減率(dR_{fbc}/dR_{fbc0})を示す。空気導入管を閉じた場合(close)、装置装着の影響により摩擦抵抗が増加した。一方、3本の空気導入管を全開すると(A3)、曳航速度 U が大きくなるにつれ摩擦抵抗の低減率が増大し、 $U=5\text{m/s}$ の時、最も抵抗低減率が大きくなった。さらに速度を増加させると抵抗低減率は減少していった。

これは船舶に発生する摩擦抵抗は船速の2乗が関係していることから船速が大きくなるとそれだけ摩擦抵抗も大きくなり、 $U=5\text{m/s}$ を超えると翼型気泡発生装置による気泡導入によって得られる抵抗低減効果よりも摩擦抵抗のほうが大きくなったため抵抗が増加してしまっただと考えられる。このことから本装置を用いた船舶の抵抗低減には適切な船速があることが明らかになった。

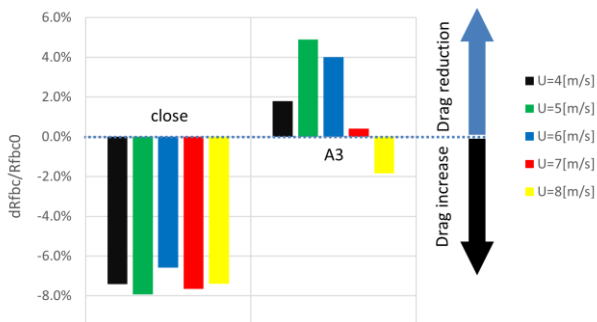


図2 全摩擦抵抗低減率

3.2 投影ポイド率の算出

本研究では画像解析を行うにあたってオープンソースの画像解析ソフトである ImageJ を用いた。ImageJ による画像解析の手順を図3に示す。高速度カメラの映像をスタック画像に変換し、スタック画像の Z 方向(時間方向)の各 pixel の輝度の平均値をとり背景画像を作成した。そしてスタック画像から背景画像を減算することでノイズを除去し、二値化処理を行い、投影ポイド率を算出した。

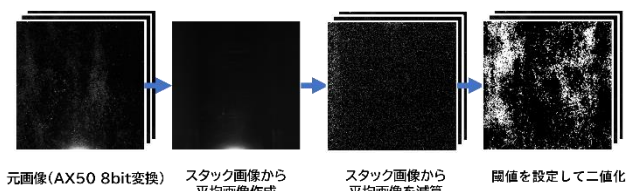


図3 投影ポイド率の算出手順

3.4 平均投影ポイド率

図4に平均投影ポイド率と曳航速度を示す。どの曳航速度においても船舶中央で平均投影ポイド率が増加した後、後方で減少した。これは水中翼により導入された気泡が船舶中央で船底に沿うように拡散し、後方で船底から離脱したと考えられる。

また、 $U=5\text{m/s}$ より速い速度帯での平均投影ポイド率の増加はほとんど見られなかった。曳航速度が高速になるほど抵抗が増加する一方で、平均投影ポイド率の増加が見られないため、高速域において十分な抵抗低減効果が得られていないことが考えられる。これは $U=5\text{m/s}$ を超えると全摩擦抵抗低減率が低下したことから整合的である。

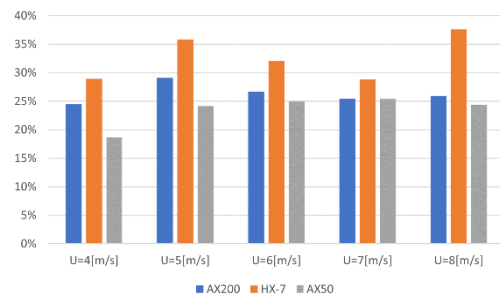


図4 平均投影ポイド率と曳航速度

4. まとめ

本研究では翼型気泡発生装置を用いて船底へ空気を導入し、模型船の全抵抗を計測するとともに高速度カメラによって気泡導入の様子を撮影した。その結果、正味抵抗低減効果を最大限得るには、平均ポイド率の船速依存性の影響で最適な巡航速度があり、模型船では 5m/s で最大 5% 程度の正味抵抗低減効果が得られた。模型船の空気放出口は船幅の 40% であるため、実船において空気放出口幅を船幅と同じにした場合には、12.5% の正味抵抗低減効果が得られる可能性があることが明らかになった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17H01245、17H03499、21H04538、23K04255 の助成を受けた。また本実験は、海上技術安全研究所、北海道大学、室蘭工業大学、明星大学との共同研究によってなされた。ご助力下さった関係各位に感謝申し上げます。