

PS-5 PIV/SIT を用いた気液二相流計測技術

流体設計系 * 拾井 隆道、濱田 達也、牧野 雅彦、川北 千春

1. 緒言

国際海運から温室効果ガス排出規制により、2025 年からは 30% の EEDI 削減率が求められる。規制を達成するためには、船型の最適化や省エネ付加物の開発と同時に、特に肥大船において抵抗成分の大きな割合を占める摩擦抵抗の低減技術の開発も重要と考えられる。空気潤滑システムは、船底に空気を送り込み摩擦抵抗を低減させる省エネ技術であり、現在多数の船舶に適用されているが、その摩擦抵抗低減メカニズムは不明なところが多い¹⁾。現在空気潤滑船の設計には CFD が用いられているが、より精度の高い推定を行うには詳細な流場データから気泡流モデルを高度化する必要がある。

PIV (Particle Image Analysis) は、非接触面計測が可能な流場計測手法で、船舶分野においても模型船の船尾伴流等に用いられている。一方空気潤滑状態における PIV 計測は、気泡界面において可視化のためのレーザー光が反射しトレーサ粒子画像の取得が困難、カメラとレーザーシート間の気泡がレーザーシート上の画像取得を妨げる、液相の流速に加え気泡の速度及び形状の同時計測の必要があるなどの技術的課題がある。これらの課題を解決するために、PIV と SIT (Shadow Image Technique) を複合した計測手法²⁾ をチャンネル乱流に適用した。

2. 実験手法

2.1 小型高速流路

実験は試験部において完全発達平行平板流れを実現する小型の回流水槽である小型高速流路にて行われた。小型高速流路の全体図を図-1 に示す。観測部はアクリル製で長さ 3000mm、高さ 20mm、幅 100mm の矩形断面を持つ。本実験においてはチャンネル上流の縮流部から 1028mm 下流位置において空気の吹き出しを行い、吹きだし位置から 1000mm 下流の位置において流場計測を行った。

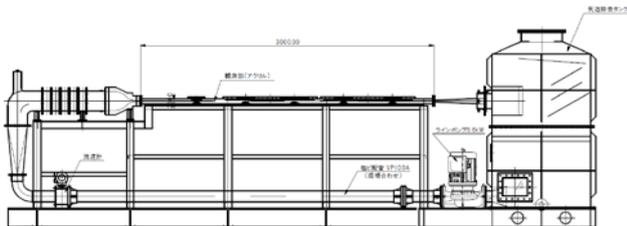


図-1 小型高速流路全体図

2.2 PIV/SIT 計測システム

PIV/SIT 計測システムの概要図を図-2 に示す。計測システムは液相撮影用と気相撮影用の二台 CCD カメラ (フローテック

クリサーチ: 1600×1200pixel, 8bit) と、液相可視化用の Nd:YAG レーザ (フローテッククリサーチ: 300mJ, $\lambda=532\text{nm}$)、気相可視化用の赤外線 LED 群 ($\lambda=850\text{nm}$)、流場挿入用誘多膜平面ミラー、気相液相画像分離用のコールドミラー (シグマ光輝: CLDM-50S)、気泡からの散乱光を除去するためのカットオフフィルタ (シグマ光輝: SCF-50S-560、透過限界波長 $\lambda T=560\pm 5\text{nm}$) で構成される。流場に挿入した誘多膜平面ミラーにより、可視化位置と撮影位置の光学距離を短縮し気泡の画像への重なりを小さくすることにより、気泡流中での計測を可能とした。

液相計測では、気泡の散乱光とトレーサ粒子の散乱光を分離するために、ローダミン B が配合された蛍光粒子 (ダンテックダイナミクス: 粒子径 1-20 μm 、励起波長 560nm、蛍光波長 584nm) を用いた。レーザーシートにおいて可視化された画像は誘多膜平面ミラー及び可視光のみを反射するコールドミラーによって反射され、カットオフフィルタにより蛍光粒子の波長のみ取り出されて撮影される。

気相計測では LED によって照射された赤外光が誘多膜平面ミラーによって反射されて、赤外光のみを透過するコールドミラーを透過して撮影される。画像において気泡形状は影となって撮影される。

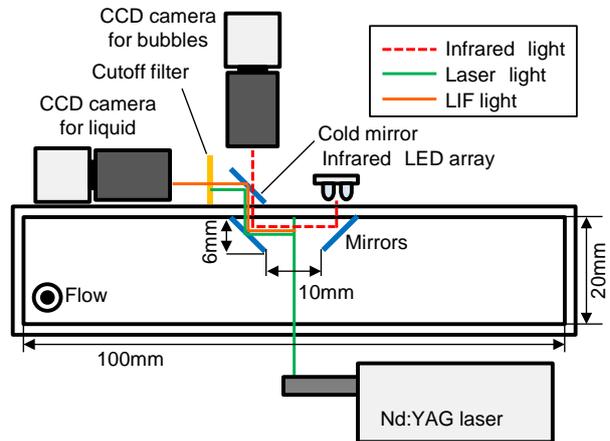


図-2 PIV/SIT 計測システム

3. 計測結果

断面内平均流速 $U_m=5.0\text{m/s}$ 、 U_m とチャンネル高さ 2δ に基づくバルクレイノルズ数 $Re_m (= U_m(2\delta)/\nu)$ 、 ν (m^2/s): 動粘性係数) = 122259、ボイド率 $\alpha (= Q_g/(Q_g+Q_L))$ 、 Q_g : 気体流量、 Q_L : 液体流量) = 0.67% において計測を行った。画像の撮影は、フレームストロリング法によって行われ、2 画像間の時間間隔は 20 μs とし、6000 組の画像を取得した。空間解像度は

6. $54 \mu\text{m}/\text{pixel}$ である。

液相の解析は、PIV 解析に十分な粒子密度を実現出来なかったため粒子一つ一つの流速を解析する PTV (Particle Tracking Velocimetry) 解析により計測された。気相解析画像の一例を図-3 に示す。解析の対象画像は、撮影画像の輝度を反転させたもので、白く写っているものが気泡である。また画像中には焦点の合っている気泡と合っていない気泡が含まれているため、輝度勾配法により焦点の合った気泡のみ抽出を行った。赤く塗りつぶされているのが抽出された気泡であり、これらの気泡に対しては PTV により気泡速度の解析も行うことが出来る。一方、像が重なっている粒子や合体している気泡に関しては抽出精度が低下するため、今後高ボイド率に対応するためには抽出アルゴリズムを検討する必要がある。

図-5 に気泡無しと気泡有り時の液相 (uL) 及び気相 (uG) 主流方向平均速度分布を示す。今回の計測条件では、気泡の有無による液相速度の変化は見られなかった。また気泡速度は液相速度に対し減速し、そのスリップ比は $y/\delta = 0.05 \sim 0.50$ において 0.99 であった。

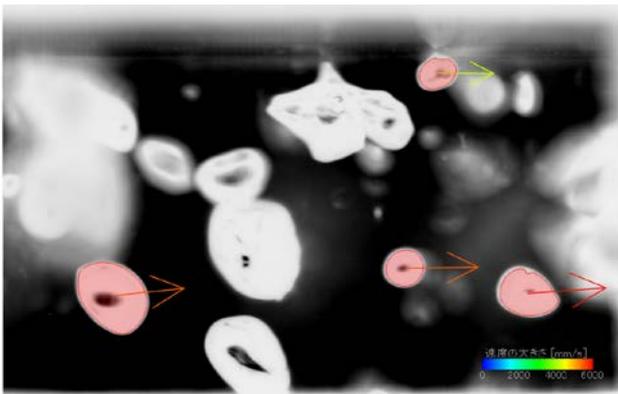


図-3 気相解析画像

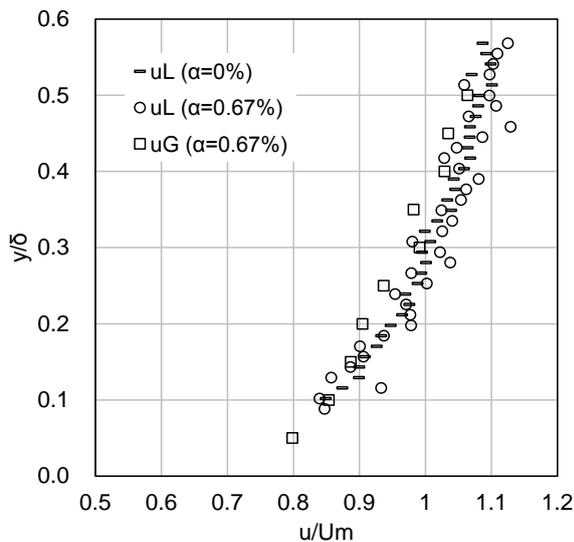


図-4 液相気相主流方向平均速度分布

図-5 に面積相当気泡径の頻度分布を示す。気泡径は $100 \sim 1300 \mu\text{m}$ 程度で最頻値は $800 \mu\text{m}$ であることがわかった。図-6 に平均面積相当気泡径の壁面からの距離に対する分布を示す。 $y/\delta = 0 \sim 0.3$ にかけて壁面からの距離に対して気泡径は増大することがわかった。

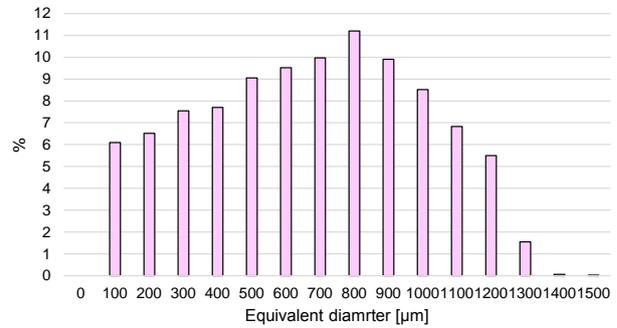


図-5 面積相当気泡径頻度分布

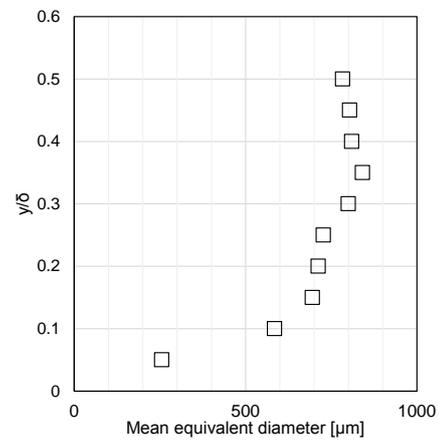


図-6 平均面積相当気泡径分布

4. 結言

本研究では、空気潤滑のメカニズム解明のために PIV/SIT による高ボイド率気液二相流の流場計測技術を開発した。これにより、本実験条件において気泡径の最頻値は $800 \mu\text{m}$ 、また気泡径は壁面からの距離に対して増大すること、気泡速度のスリップ比は 0.99 であることがわかった。一方、気泡の抽出アルゴリズムに課題がある事が分かった。

今後はレイノルズ数、ボイド率等との乱流統計量、気泡径、抵抗低減量などの関係を調査し、空気潤滑の更なる抵抗低減効果向上を目指す。

参考文献

- 1) 上入佐光, 川島英幹, 牧野雅彦, 竹子春弥: 空気潤滑法による船舶省エネルギー技術, 海上技術安全研究所報告, 第14巻, 第2号, pp.135-156, 2014.
- 2) 北川石英, 菱田公一, 児玉良明: マイクロバブルチャネル流中の乱流変調の粒子画像複合計測, 日本機械学会論文集, B編, 71巻, 701号, pp.44-51, 2005.