

No.24 マイクロバブルの摩擦抵抗低減効果とその特徴

児玉良明、高橋孝仁、牧野雅彦、杉山和靖、北川石英（海技研）

Skin friction reduction effect of microbubbles and its characteristics

Y. Kodama, T. Takahashi, M. Makino, K. Sugiyama, H. Kitagawa*

* National Maritime Research Institute

ABSTRACT

The effectiveness of microbubbles was proved by a full-scale experiment using a training ship of length over 100m. The skin friction decreased by 3%, which resulted in the net power-saving of 2%, by taking into account the energy needed for air injection. A PTV/LIF technique was used to measure turbulence of microbubble flows, and the reduction in Reynolds stress by bubbles was measured. The numerical simulation of bubbles injected into horizontal channel flow was carried out, and the skin friction reduction was successfully simulated.

Key Words: microbubbles, skin friction reduction, full-scale experiment, PTV, LIF

1. はじめに

マイクロバブル(microbubbles)は、水の境界層中に気泡を注入することによって摩擦抵抗を最大 80%も低減させることができる摩擦抵抗低減デバイスである。

マイクロバブルは、平らで広い船底をもつ船舶にとって特に適したデバイスであり、一昨年の9月に、主著者をリーダーとするチームによって、長さ 100m を超える船を用いて実船実験が行われた^{1),2)}。その概要を次章で紹介する。

マイクロバブルは、顕著な摩擦低減効果にも拘わらず、低減メカニズムが十分に解明されていない。第3章では、筆者らによって行われているメカニズム解明の研究の最近の成果を紹介する。

2. 実船実験

供試船は、長さ 116m 幅 18m の、航海訓練所練習船「青雲丸」である。図 1 に示すように、船首船側に気泡吹き出し装置を取り付け、前方甲板に置かれたコンプレッサにより空気を供給した。吹き出された気泡は船体表面に沿って流れ、中央部で船底に流れ込み、船体後半部で再び上昇し、船尾でプロペラ上部に達した。プロペラを一定回転数で回し、気泡吹き出しの有無による船速の変化を測ることによって、船体抵抗の低減効果を推定した。図 2 に、大型タンカーの巡航速度に相当する約 14 ノットの船速における船速と主機馬力数を示す。気泡を吹き出すことによって船速が増加し主機馬力数がやや低減している。これを同一速度に換算すると、気泡吹き出しによって 3%の馬力低減が得られたことになる。またこのとき、それから吹き出し部の静水圧に基づく気泡吹き出しエネルギーを差し引いて、2%の正味の馬力低減が得られた。



図 1 船首部に取り付けられた気泡発生装置²⁾

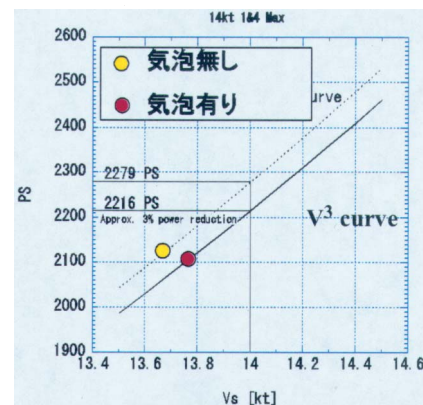
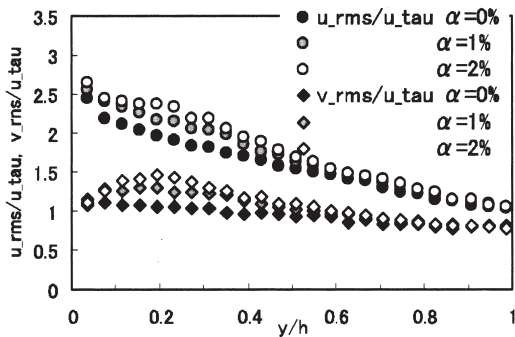


図 2 マイクロバブルによる主機馬力の低減²⁾
このように、マイクロバブルの有効性が実船において

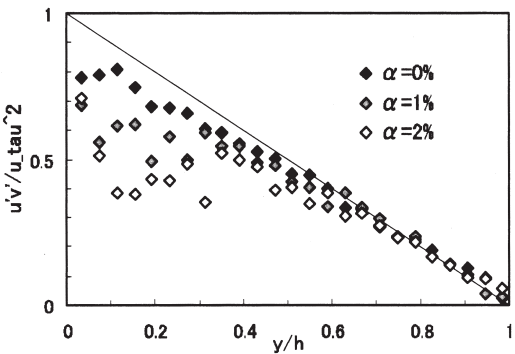
も確認されたが、同時に、気泡のプロペラ流入によってプロペラ性能が低下するなど、実用上の問題点も明らかになった。船型の改良など今後の対策が必要である。

3. 摩擦抵抗低減メカニズムの解明

マイクロバブル流れ、すなわち水平に置かれた平板の下面に発達する境界層中の気泡流では、壁面摩擦が顕著に低減する。そのメカニズムを解明するため、北川ら³⁾は、蛍光トレーサを添加したマイクロバブル流れにレーザ光をあて、トレーサ粒子の運動を PTV 計測することにより、液相の乱流を計測した。結果を図3に示す。横軸は壁からの距離である。気泡の注入によって、変動速度2成分は共に増加するが、両者の相関を表すレイノルズ応力は減少し、摩擦抵抗低減メカニズムの一端が明らかになった。



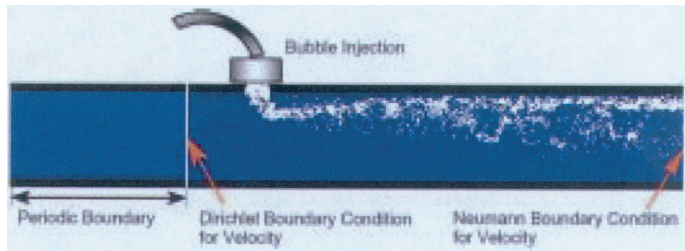
(a) 速度変動成分 U_{rms}, V_{rms}



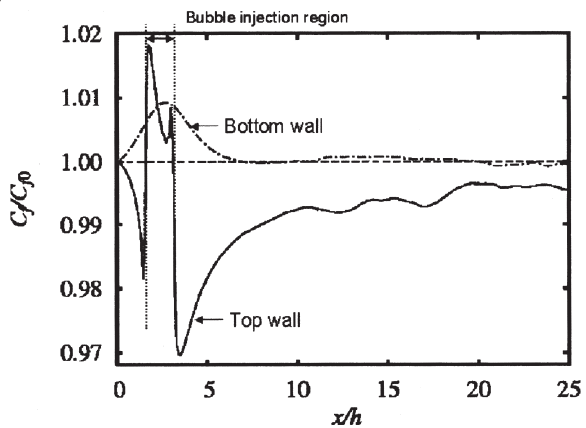
(b) レイノルズ応力

図3 PTV/LIF システムによる乱流変動計測³⁾

一方、数値シミュレーションを用いた研究では、従来は、流れ方向に周期境界条件を用いて、一様に気泡が分布する状態から計算を出発させており、摩擦抵抗低減効果がシミュレートできなかったが、杉山ら⁴⁾は、EL 法によって、実験状態に対応して、水平チャンネル上壁の一部から気泡が注入される流れの数値シミュレーションを行った(図4a)。そして、気泡が注入される上壁面において、長く下流まで持続する摩擦抵抗低減効果をシミュレートすることができた(図4b)。



(a) 境界条件の模式図



(b) 上下壁面におけるせん断応力分布

図4 EL 法による過渡的流れの数値シミュレーション⁴⁾

4. おわりに

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減効果が大型船において実証された。また、その基本的メカニズムの解明についても、実験的にも計算的にも進展があった。今後、実用化にむけて、プロペラ性能低下の問題点の解決(または回避)や、適した船型の検討、気泡運動の同時計測によるメカニズムの一層の解明などが必要とされる。

実船実験は(社)日本造船研究協会の SR239 部会により、メカニズム解明の2研究は文科省の開放的融合研究「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」により実施された。

参考文献

- 1) 児玉良明他: 日本造船学会論文集 第 192 号 (2002) pp.1-13.
- 2) 永松哲郎他: 日本造船学会論文集 第 192 号 (2002) pp.14-27.
- 3) Kitagawa et al., 第 4 回知的乱流制御シンポ (2003) http://www.turbulence-control.gr.jp/sympo_e/FY2002/index.html.
- 4) Sugiyama et al., 第 4 回知的乱流制御シンポ (2003).