

58 船舶の流体抵抗低減法に関する研究の概要

推進性能部 児玉良明、日野孝則、日夏宗彦、角川明、平田信行、高橋孝仁、川島英幹、牧野雅彦、川村隆文*、A. Sowdon*、F. Larrarte* (*;当時)

1.はじめに

船舶の抵抗低減は、近年深刻化する地球温暖化問題対策として、また、高付加価値化・差別化の手段としての高性能による我が国造船業のコスト競争力の向上の観点から、益々重要になってきた。当研究所では、運輸省(現国土交通省)特別研究として平成7年度から5年間「次世代CFDによる船舶の流体抵抗低減法に関する研究」を実施した。その成果の概略を報告する。

2.研究の目的

走行する船舶は周囲の流体から表1に示すような抵抗を受ける。本研究では、タンカーやコンテナなどの大型船舶の流体抵抗の低減を目的としており、ミクロとマクロの2つのアプローチから研究に取り組んだ。

ミクロ面の研究では、流線型をしている船体の最大の抵抗成分である摩擦抵抗の低減を目指した。船体表面の境界層内の乱流を抑制して摩擦を低減する抵抗低減デバイスは、リブレットをはじめ様々に提案されているが、それらは摩擦速度と分子粘性係数で無次元化されるため、実船のように極めて大きなレイノルズ数の流れでは、その高さが0.01mmと非常に小さく、汚損が発生する海洋環境では実用的でない^[1]。一方、微細な気泡を壁面に沿って注入するマイクロバブルは、最大80%と極めて大きな低減効果をもち、また摩擦速度ベースのデバイスでは無いため、実船に適していると判断し、本研究で中心的に取り組んだ。一方、取り上げたもう1つのデバイスであるLEBU(Large-Eddy Break-up Device)は、境界層の中程の高さに置かれた平板状の物体であり、摩擦低減効果は高々数%と小さいが、摩擦速度ベースのデバイスで無いことに加えて動力を必要としない簡便性があり、実

船に適していると判断した。

マクロ面の研究としては、船型の最適化の研究に取り組んだ。本研究の前身である「数値シミュレーションを利用した新船型開発技術に関する研究」(昭63~平4)により、船型が与えられると、その周りの水の流れや船体抵抗を数値計算のみによって高精度で推定するCFD(数値流体力学)手法が開発された。本研究では、さらに一歩進んで、与えられた初期船型から出発して、体積一定などの拘束条件の下に、船体抵抗を最小にする船型を自動的に探索する船型の最適化技術に関する研究を行った。

3.研究成果

3.1 粘性抵抗の発生機構の解明に関する研究

数値計算(LES法及びDNS法)によりチャンネル乱流の数値シミュレーションを行い、実験的には不可能な壁面乱流の微細構造の可視化を行い、さらに数値計算手法を抵抗低減デバイスの1つであるLEBUに適用し、LEBUが乱流境界層とどのような干渉しているかを明らかにした^[2]。図1に厚さゼロの平板型LEBUがおかれたチャンネル内乱流のシミュレーション結果を示す。2色の面は回転の向きが異なる縦渦を示す。LEBUの無い同様な計算結果(図2)と比較すると、LEBUによって縦渦が下流方向の長い範囲で減ることが分かる。

3.2 LEBUに関する研究^[3]

当研究所の変動風水洞を用いてLEBUの実験的研究を行った。従来の研究と比較して、高レイノルズ数が特徴である。図3に実験配置を、図4に翼断面型LEBU(NACA0010-35、弦長=30mm)による壁面摩擦の低減効果の下流方向分布を示す。LEBU位置は $x=4.2m$ 、風速は25m/s

である。低減効果が下流まで続いている。摩擦低減効果を積分し、LEBU 自身の抵抗を引いた正味の抵抗低減量を図 5 に示す。数%の正味の低減が得られた。LEBU 自身の抵抗を考慮に入れた正味の抵抗低減効果が殆ど得られなかった。従来の研究と比較した本研究の特徴は、摩擦低減効果を従来よりも遙かに下流まで計測できたことにありと思われる。低減効果は小さいが、多段に適用するなど、今後さらに研究を実施する価値がある。

3.3 マイクロバブルに関する研究

マイクロバブルに関する研究では、初年度には図 6 に示す平底船を作り、曳航水槽において実験した^[4]。船速が最大 2m/sec と低速なため多孔質板から吹き出される気泡が直径数 mm と大きく、抵抗低減効果は殆ど得られなかった。

そこで 2 年度目に図 7 に示す小型高速流路を製作し、基礎研究を実施した^[5]。図 8 に摩擦センサーにより計測した壁面摩擦の低減効果を示す。横軸は流路内平均ボイド率である。吹き出し空気量が増えると、最大約 30%の低減効果が得られた。図 9 に吸い込み管を用いて計測した流路断面内局所ボイド率分布を示す。横軸は吹き出し面のある上壁面からの垂直距離である。上壁面近くに気泡が集中している。壁面再近傍の局所ボイド率と、図 8 の低減効果を比較すると、壁面近傍に気泡が集中しているほど高い摩擦低減効果があることが分かる。

これらの基礎データを基に、400m 曳航水槽において、図 10 に示す長さ 12m の平板船を用いたマイクロバブル実験を行った^[6]。図 11 に吹き出し部下流部分の摩擦抵抗(Schoenherr 式により推定)に対する低減効果を示す。船速 $V=5\text{m/sec}$ において最大 50%の低減結果が得られた。また、局所ボイド率計測を行い、図 12 に示すように、吹き出し部のすぐ下流では壁近くに気泡が集中していること、下流では境界層内に拡散されていることが分かった。

マイクロバブルを長さ 300m 程度の大型船で実用化するためには、吹き出された気泡の低減効果が下流方向にどれくらい長く持続するかを

知る必要がある。そこで、12m 船の平行部を延長し、長さ 50m の平板船を作り実験した。図 13 に示すように、吹き出し部のはるか下流まで低減効果が持続していることが分かり、マイクロバブルの実用化の有力な結果を得た^[7]。

3.4 船型の最適化に関する研究

マクロ面での研究としての本研究では、NURBS を用いた船体形状ハンドリング技術、CFD による船体まわり流れの数値計算、感度解析による線形変化と性能変化の関係の把握、及び最適化アルゴリズムを組み合わせ、ある与えられた船型を基に抵抗が最小になる船型を自動的に探索する船型最適化技術を開発した。タンカー船型を例に抵抗最小化を実施し、6%の抵抗低減を得、実験により低減効果を確認した。さらに造波影響も考慮できるように拡張した。この技術は、従来の CFD が単に与えられた船型まわりの流れを計算するだけなのに対し、高性能な船型の自動的設計につながるものであり、コンピュータ利用ソフトウェア技術として今後さらに発展させるべきである。

3.5 タンカー船型まわりの流場構造の解明の研究

風洞において X 線型熱線風速計を用いて長さ 3m のタンカー船型(Dyne Hull)のダブルモデルの船尾流れを計測し、レイノルズ応力分布など乱流モデルの改良のためのデータを得た。

4. おわりに

船体抵抗低減法についてミクロとマクロの両面において多くの研究成果が得られた。これらの成果は、開放融合研究「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」(H12-H16)、特別研究「SBD の概念による高速船の船型設計法の研究」(H12-H16)などで発展的に研究が進められている。

マイクロバブルに関する研究の一部は日本造船研究協会 SR239 との共同研究として行われた。

参考文献

- [1]児玉「次世代 CFD による船舶の流体抵抗低減法に関する研究」、第 66 回船研講演会、平成 7 年 11 月。
- [2]川村「LEBU 抵抗低減デバイス周り流れの並列数値シミュレーション」、第 74 回船研講演会、平成 12 年 6 月。
- [3]Sowdon,A.(海技研報告として発表予定)。
- [4]高橋他「平底船を用いた微小気泡による船体抵抗低減実験」第 66 回船研講演会、平成 7 年 11 月。
- [5]川島他「マイクロバブルによる摩擦抵抗低減効果と局所的なボイド率との関係」、第 72 回船研講演会、平成 10 年 12 月。
- [6]高橋他「平板模型船を用いたマイクロバブルによる摩擦抵抗低減実験」、日本流体力学会 '99 年会講演集、1999 年 7 月。
- [7]角川他「マイクロバブルによる摩擦抵抗低減メカニズムと尺度影響に関する実験」、本講演論文集。
- [8]Hirata,N.: "An Efficient algorithm for Simulating Free Surface Turbulent Flows around an Advancing Ship", 日本造船学会論文集 185 号, 1999 年 5 月。
- [9]Hino,T.: "Shape Optimization of Practical Ship Hull Forms using Navier-Stokes Analysis", 7th Int. Conf. on Num. Ship Hydrodynamics", 1999 年 7 月。

表 1 船舶の流体抵抗成分の割合

		タンカー		コンテナ	
流体抵抗	水抵抗	粘性抵抗	摩擦抵抗	75%	50%
			圧力抵抗	10%	10%
		造波抵抗		10%	30%
	空気抵抗		5%		10%

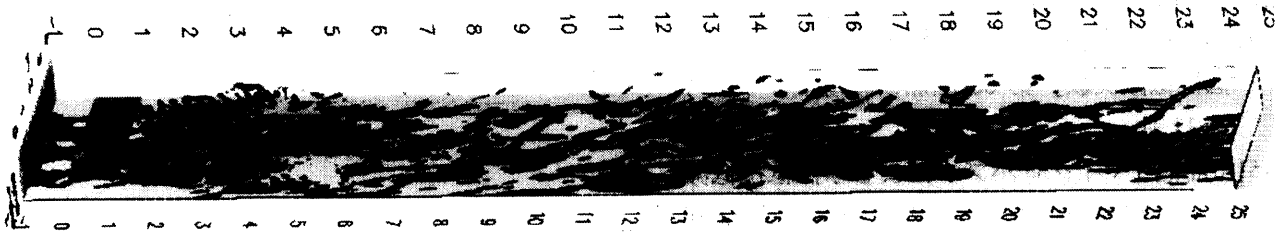


図 1 LEBU が置かれたチャンネル乱流の DNS[2]。レイノルズ数(チャンネル高さと最大速度ベース)=3300。

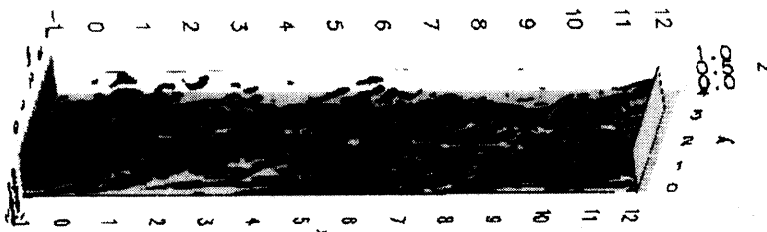


図 2 チャンネル乱流の DNS[2]。

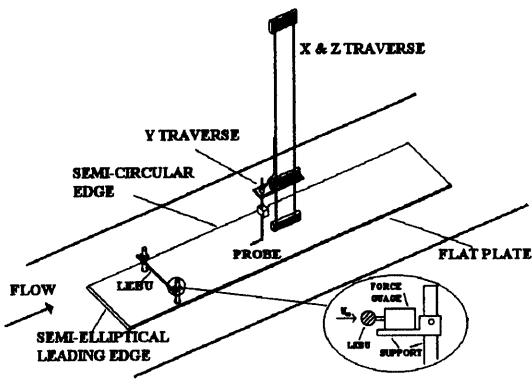


図 3 LEBU 実験一般配置[3]

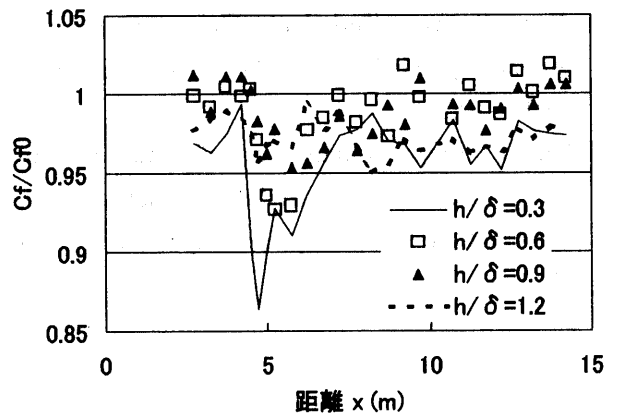


図 4 LEBU 実験における局所摩擦の x 方向分布[3]

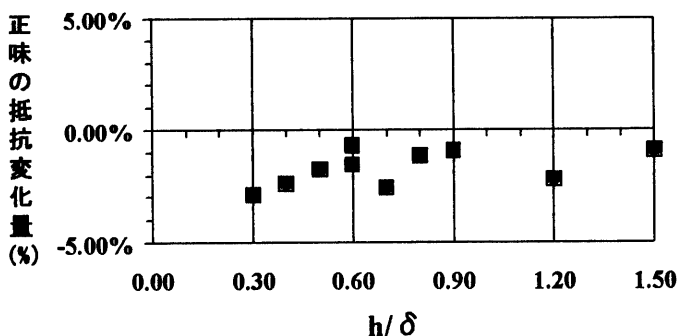


図 5 翼断面型 LEBU 実験における正味の抵抗低減効果[3]

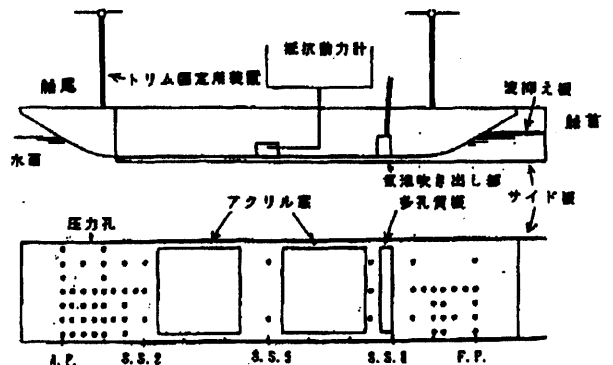


図 6 マイクロバブル実験用平底船[4]

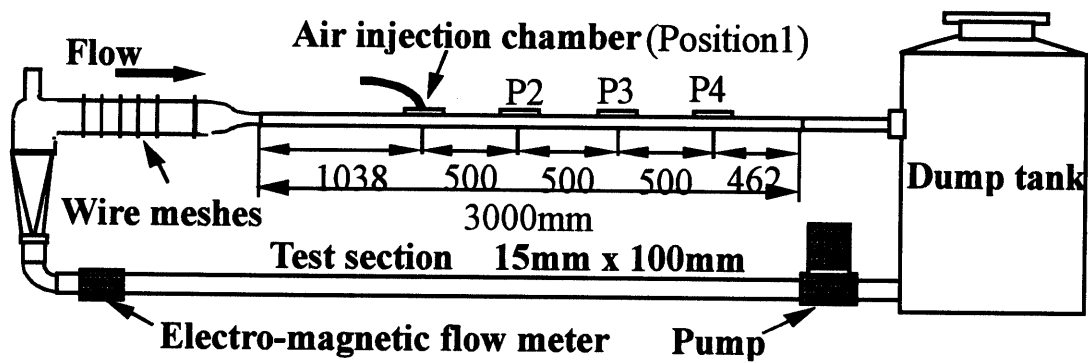


図7 マイクロバブル基礎実験用小型高速流路[5]

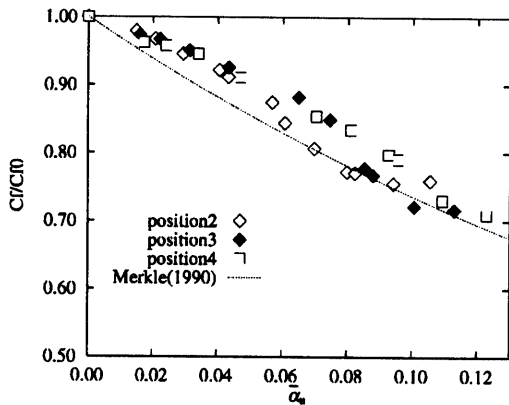


図8 平均ボイド率と摩擦低減効果
 $U=7\text{m/sec}$ [5]

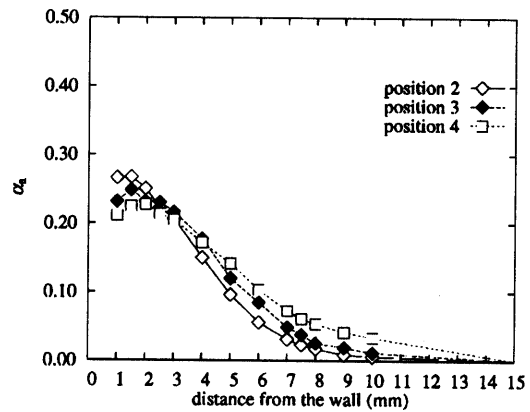


図9 断面内局所ボイド率分布[5]
 $U=7\text{m/sec}$, $\bar{\alpha}=0.08$

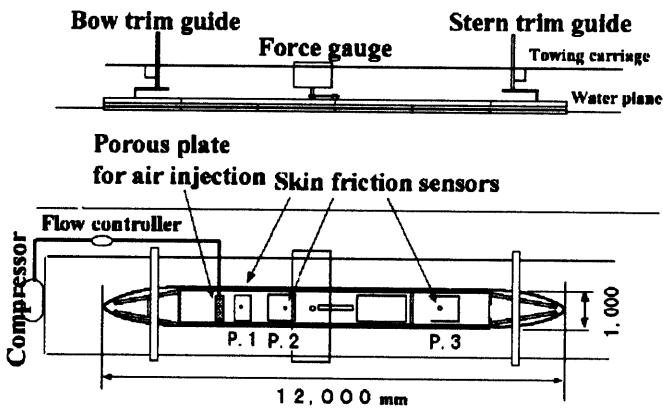


図10 12m 平板船[6]

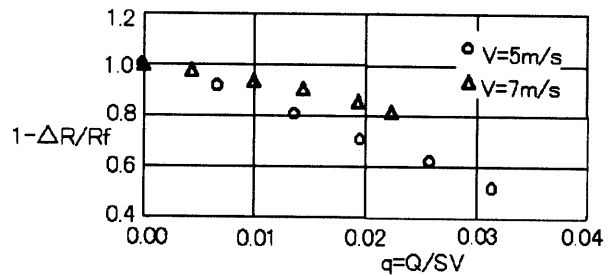


図11 12m 平板船の抵抗低減[6]

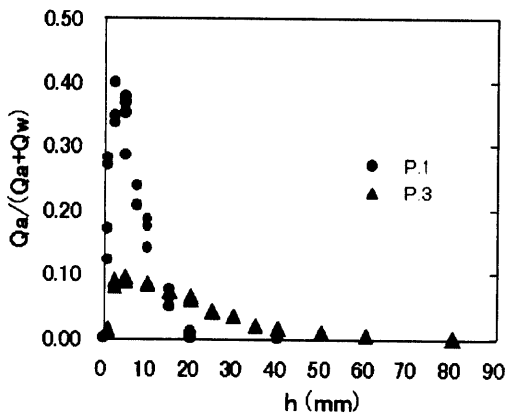


図12 12m 平板船の境界層内局所ボイド率分布[6]

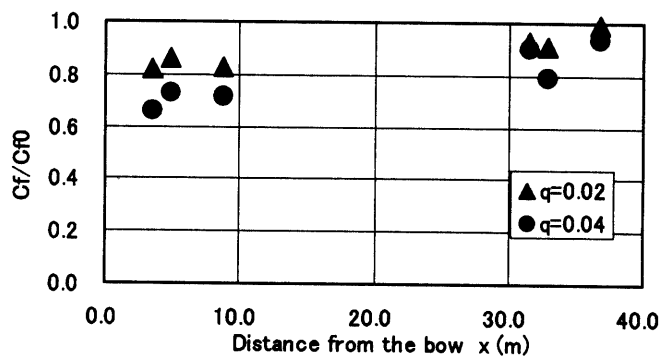


図13 50m 平板船の局所摩擦係数の低減($V=5\text{m/s}$)[7]