

22m 長尺平板模型船を用いたマイクロバブル実験

輸送高度化研究領域 * 牧野雅彦、高橋孝仁、堀利文、川島久宣、児玉良明

1. はじめに

船舶の抵抗低減手段として、船体表面より微小気泡を吹き出すマイクロバブル法¹⁾が知られている。このマイクロバブル法を商船のような大型船舶に対して適用する場合に、十分な抵抗低減効果があるか、船長全体にわたって抵抗低減効果が持続するか、気泡発生部の圧力損失が十分小さいか、気泡発生部が水棲生物等による汚損の影響を受けないか、等の点を調査検討しておく必要がある。

十分な抵抗低減効果が、長距離にわたり持続するかを調べるために、全長の長い平板模型船を用いる必要がある。また同時に、局所摩擦抵抗分布および局所ボイド率分布を測り抵抗低減現象を把握する必要がある。気泡発生部に生じる圧損や汚損の対策としては、気泡発生部を細長いスロット状にする方式が考えられる。

今回、スロット方式の気泡発生部を装着した長尺平板模型船を用いて、全抵抗計測、長さ・幅方向の局所摩擦力分布計測、局所ボイド率計測を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験状態

実験は当研究所 400m 曳航水槽(長さ 400m,幅 18m,深さ 8m)で行われた。

計測に用いた平板模型船(図 1 参照)は長さ

22m 幅 1m 喫水 45mm であり、大型タンカー等の船底を模擬するために平板船底をしている。

気泡発生用空気は、コンプレッサにより供給され、圧力・流量を調整するタンクを経由し、マスフローメータで所定の流量になるように調整される。その後、船首端より 3m の位置に取り付けられた気泡発生部へ送られ、気泡発生板を通して水中に噴出される。

その気泡発生板(図 2)は、過去に配列多孔板(AHP)、焼結金属板(PP)等を主に報告²⁾してきた。しかし、実海域での汚損や圧力損失などの問題が懸念され、今回はそれらに強いスロット板(SP)を実験に使用した。気泡発生板のスロットの大きさは幅 500mm、長さ 5.2mm で開口部面積は AHP(直径 1mm、3x5mm ピッチ)のそれと等しくなるようにした。

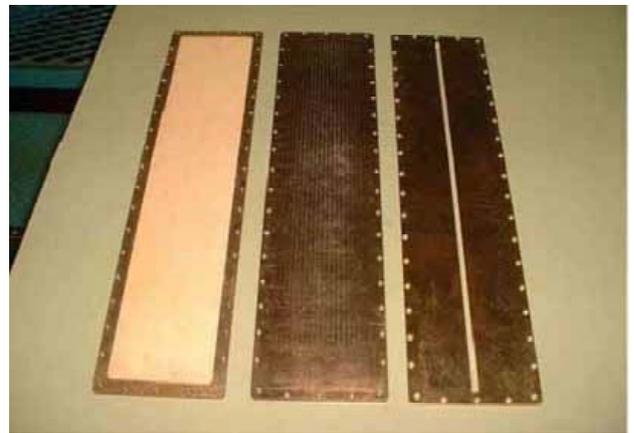


図 2 気泡発生板
(左から PP,AHP,SP)

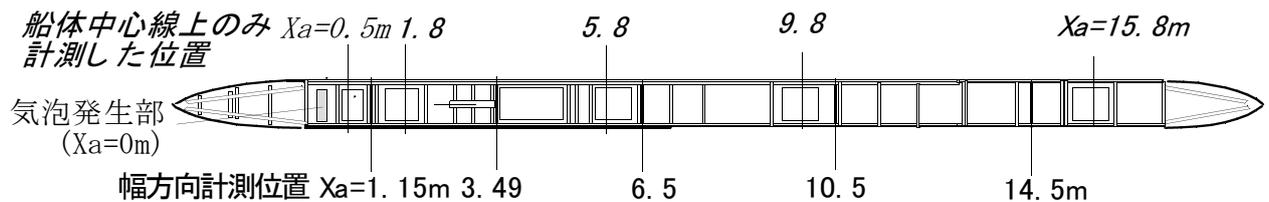


図 1 22m 長尺平板模型船

計測項目は、全抵抗・局所摩擦力・局所ボイド率である。

全抵抗はロードセルを用いて計測した。

平板模型船の船底には、観測兼計測用の窓および計測専用の小窓が付いている。これらの窓に局所摩擦力計または局所ボイド率計を取り付け、それぞれ局所摩擦力・局所ボイド率を計測した。

局所摩擦力計は三計エンジニアリング社のS10W-2型(容量2g)を使用した。受感部の直径は10mmでフローティングエレメント方式となっており、その受感部は周囲のフランジ面にたいして $20\mu\text{m}$ 以下の凹凸で取り付けられている。局所摩擦については $X_a=0.5, 1.8, 5.8, 9.5, 15.8\text{m}$ では船体中心線上($Y=0\text{m}$)のみを、 $X_a=1.15, 3.49, 6.5, 10.5, 14.5\text{m}$ の各位置では幅方向分布($Y=0, 0.125, 0.250, 0.375\text{m}$)も計測した。

局所ボイド率は、RBI社製の光学式ボイド率計を用いて、 $X_a=1.15, 3.49, 6.5, 10.5\text{m}$ の船体中心線上($Y=0\text{m}$)位置で、深さ方向に数点トラバースし計測した。

本報告では次式による相当空気厚さ t_a を用いてデータを整理した。

$$t_a = \frac{Q_{\text{air}}}{B_{\text{air}}V}$$

Q_{air} : 吹きだし空気流量

B_{air} : 空気吹き出し部幅(500mm)

V : 曳航速度

3. 実験結果

3. 1. 全抵抗

気泡を吹き出さない状態で計測を行った全抵抗係数 C_t を図3に示す。横軸はフルード数、縦軸は抵抗係数である。 $fn=0.25$ 付近でハンプがある。 $1+k$ はプラハスカの方法で1.13であった。全抵抗の大部分を摩擦抵抗が占めるマイクロバブル実験に適した船型であることが分かった。

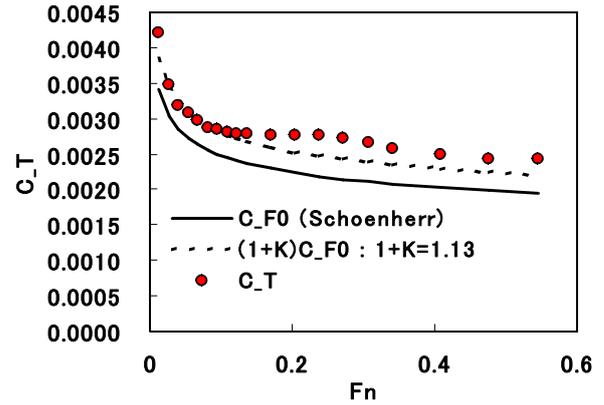


図3 全抵抗曲線

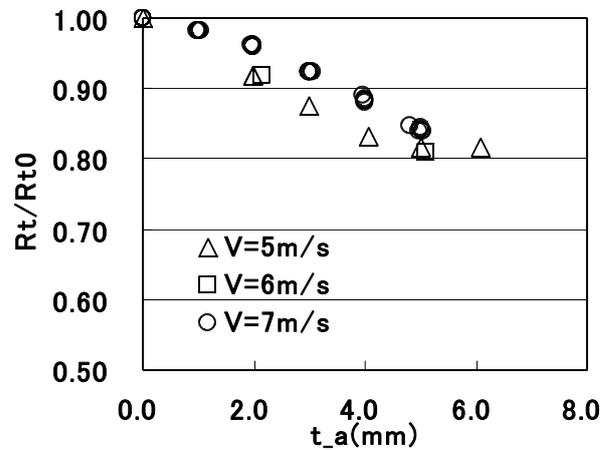


図4 全抵抗低減率と空気流量

3. 2. 全抵抗低減効果の空気量依存性

全抵抗低減効果と吹き出し空気量の関係を、速度をパラメータとして図4に示す。横軸は相当空気厚さ t_a [mm]、縦軸は気泡を吹き出したときの全抵抗 R_t と気泡を吹き出さない時の全抵抗 R_{t0} との比(全抵抗低減率)であり、この値が1より小さいほど抵抗低減効果が大きいことを意味している。

全体的に空気流量を増やすとより大きな抵抗低減効果を持つ傾向がある。

抵抗低減効果は $V=7\text{m/s}$ より $V=5\text{m/s}$ が大きい。この原因は、速度が遅いと乱流拡散が少なくなり気泡の散逸が減るためと思われる。

$V=5\text{m/s}$ では $t_a=5.0\text{mm}$ 以上で抵抗低減効果が飽和する傾向がある。この速度では、気泡が気膜を形成したのち、ちぎれて再度気泡を形成する現象が観測された。これにより抵抗低減効果が打ち消

されたためと思われる。V=7m/s では速度が速いので気泡は気膜を形成することなく流れたために飽和現象が生じなかったと推測される。また、実船相当 (V=6m/s) では気膜の生成は確認されず飽和現象も起こらなかった。V=7m/s については数回の計測を行い再現性を確認した。

3. 3. 局所摩擦低減効果の長さ方向分布

V=7m/s, $t_a=4\text{mm}$ において船体中心線上 (Y=0m) で局所摩擦低減率の長さ方向分布を計測した。その結果を図 5 に示す。横軸は気泡発生部からの距離 X_a [m]、縦軸は気泡を吹き出したときの摩擦係数 c_f と気泡を吹き出さない時の摩擦係数 c_{f0} との比 (局所摩擦低減率) であり、この値が 1 より小さいほど摩擦低減効果が大いことを意味している。このとき水の密度 ρ は、気泡無し状態の値を両状態で使用した。

同じ計測位置で異なるセンサーを使用して計測を行い (図中○と△)、再現性を確認した。

摩擦低減効果は、特に気泡発生部直下流で大きく、気泡発生部から離れるに従い小さくなる傾向があるが、 $X_a=6.5\text{m}$ 以降になるとほぼ一定値に落ちつき $X_a=15.8\text{m}$ でも十分な摩擦低減効果が保持されていることが分かる。また、 $X_a=3.49\text{m}$ で摩擦低減効果が局所的に小さくなっている。このように、摩擦低減効果は単調減少ではなく、振動をしながら小さくなる。この現象は度々発生³⁾しているが、原因は、気泡が船体境界層の内外を遷移するためと思われる。

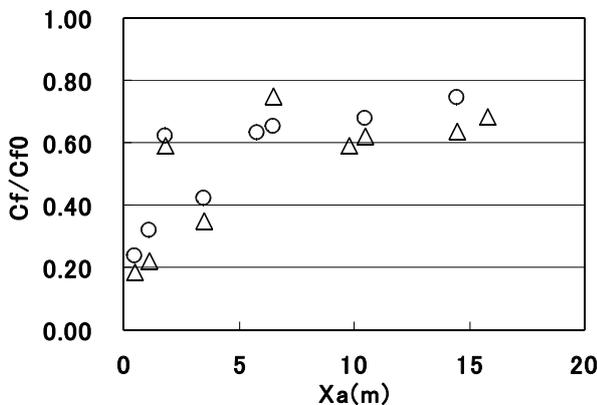


図 5 局所摩擦低減効果の長さ方向分布 (V=7m/s, $t_a=4\text{mm}$)

3. 4. 局所摩擦低減効果の幅方向分布

V=7m/s, $t_a=4\text{mm}$ において局所摩擦低減率の幅方向分布を計測した。その結果を図 6 に示す。横軸は船体中心線を原点とした幅方向位置 Y [m]、縦軸は局所摩擦低減率である。

局所摩擦低減効果は、船体中心線上 (Y=0m) を最大とする傾向がある。気泡発生部直下流の $X_a=1.15\text{m}$ では、拡散による気泡分布の差が生じるとは考えにくいので、この原因として、気泡発生部の表面圧力が均一でないことに起因する気泡分布の非一様性等が考えられる。

$X_a=1.15\text{m}$ に比較して $X_a=3.49\text{m}$ では一様に摩擦低減効果が小さくなっている。さらに、気泡発生板の端部より外側 (Y $\geq 0.25\text{m}$) には、摩擦低減効果がほとんど認められないので、気泡が気泡発生板の幅を超えて大きく広がっていないことを示唆している。以上の理由により、気泡は幅方向ではなく深さ方向に拡散していると思われる。

局所摩擦低減効果の長さ方向分布と同様に船首付近で大きな局所摩擦低減効果を示し、 $X_a=6.5\text{m}$ 以降ではほぼ一定値に落ち着く傾向がみられる。

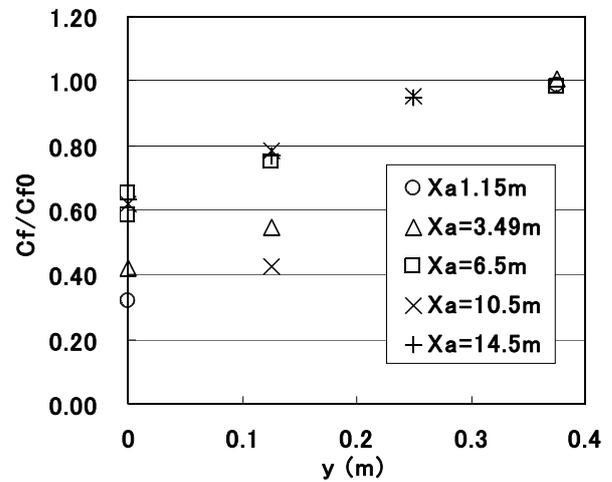


図 6 局所摩擦低減効果の幅方向分布 (V=7m/s, $t_a=4\text{mm}$)

3. 5. 局所ボイド率分布

船体中心線上 (Y=0m) で計測した局所ボイド率分布を図 7 に示す。横軸は船体表面からの距離 Z [mm]、縦軸は局所ボイド率である。

気泡発生部直下流の $X_a=1.15\text{m}$ では、船体表面

近くに局所ボイド率の高いピークが生じている。そのほかの X_a 位置では、局所ボイド率のピークは生じていない。

局所ボイド率の高いピークが生じている X_a 位置においては、摩擦低減効果が大きく、局所ボイド率のピークが生じていない X_a 位置では、摩擦低減効果がそれほど大きくない。局所ボイド率と局所摩擦低減効果の間には関係があることが分かる。

また、 $X_a=3.49, 6.5, 10.5m$ の各 X_a 位置で局所摩擦低減効果(図 3. 3.)に大きな差は認められずほぼ一定値を示した。それら X_a 位置での局所ボイド率にも顕著な差が認められない。局所摩擦低減効果が X_a 位置によらずほぼ一定値を示した原因は局所ボイド率がほぼ一定値を示したことにあると思われる。

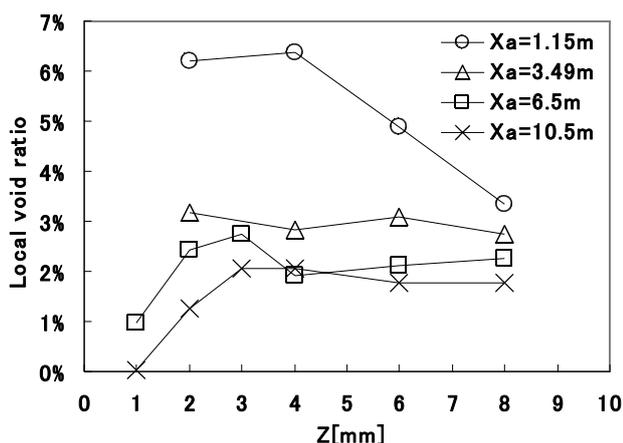


図7 局所ボイド率分布
($V=7m/s, t_a=4mm$)

4. まとめ

- 1) 実験に使用した平板模型船は $1+K$ が 1.13 と小さく、摩擦抵抗の占める割合が大きいマイクロバブルに適した船型であった。
- 2) マイクロバブルを使用することで、全抵抗で最大 18% の低減が得られた。
- 3) より実船に適応していると思われるスロット板でも 抵抗低減効果が確認できた。
- 4) $V=5m/s$ では気膜が生じ抵抗低減効果に飽和現象が生じた。

$V=7m/s$ では気膜は生じず、抵抗低減効果の飽和現象も生じなかった。実船相当 ($V=6m/s$) では気膜の生成は確認されず飽和現象も起こらなかった。

- 5) 局所摩擦低減効果は、気泡発生部直下流で大きく、気泡吹き出し位置から離れるに従い小さくなる傾向があるが、 $X_a=6.5m$ 以降になるとほぼ一定値に落ち着き $X_a=15.8m$ でも十分な摩擦低減効果が保持されていることが分かった。
- 6) 気泡は、気泡発生板の幅を超えて大きく広がらなかった。
- 7) 気泡は、深さ方向に拡散していると思われる。
- 8) 気泡発生部直下流で、船体表面近くに局所ボイド率の高いピークが生じている。
- 9) 局所ボイド率分布と局所摩擦低減効果の間には関係があることが分かった。

今後の課題として、船体各所での局所ボイド率を計測し、摩擦低減効果と局所ボイド率の関係をさらに詳しく調査する必要がある。それにより、さらなる摩擦低減効果が得られる可能性がある。

謝辞

本研究は、文部科学省科学技術振興調整費、開放的融合研究推進制度「乱流制御による新機能熱流体システムの創出」(H12~H16)の一環として行われた。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 児玉良明、"マイクロバブルの実用化の可能性と課題"、日本造船学会試験水槽委員会シンポジウム「乱流研究の現状とその応用」、pp. 150-185.
- 2) 高橋他、"3種類の吹き出し方法を用いたマイクロバブルに関する研究"、日本造船学会論文集2号(2003). pp121-122
- 3) 高橋他、"長尺平板船を用いたマイクロバブルの尺度影響に関する研究"、関西造船協会論文集239号(2002). pp11-20