

# PS-9 周期吹出による空気潤滑法の抵抗低減効果拡大について

流体設計系 \*若生 大輔、川北 千春、濱田 達也

## 1. はじめに

船舶の省エネルギー技術として船底から空気を吹出し船体表面を気泡流で覆うことで、船体抵抗の大きな割合を占める摩擦抵抗を低減させる空気潤滑法がある<sup>1)</sup>。

本研究では摩擦抵抗低減効果の向上を目的に、気泡を連続的に吹出す従来の方法(連続吹出)と周期的に吹出す方法(周期吹出)<sup>2)</sup>による摩擦抵抗低減効果を実験的に調査した。

## 2. 供試模型および試験条件

### 2.1 供試模型

供試模型は平らな船底を持つ長尺模型で、分割模型となっており長さ6mの船首部模型および船尾部模型と、8mの中間部模型を組み合わせることにより長さの異なる模型とすることができる。模型船の主要目を表-1に示す。本論文では36m模型について報告する。

表-1 模型船主要目.

Length on water line: $L_m$ [m]	36.00
Breadth[m]	1.00
Draft[m]	0.07
Wetted Surface: $S$ [m <sup>2</sup> ]	46.816
Wetted Surface Area on bottom: $S1$ [m <sup>2</sup> ]	34.228
Wetted Surface Area of bubble coating on bottom: $S2$ [m <sup>2</sup> ]	32.164

### 2.2 試験条件

試験は海上技術安全研究所 400m 水槽にて実施した。模型船の Pitch, Roll および Heave はフリーとし, Surge, Sway, Yaw は固定としている。

#### (1) 連続吹出 (CBI: Continuous Bubble Injection)

連続吹出は,  $ta$ [mm]: 相当空気膜厚さと,  $V_m$ [m/s]: 船速を変化させ行った。 $ta$ は投入した空気が船底に均一にかつ膜状に広がったときの相当空気膜厚さであり, 式(1)で表される<sup>3)</sup>。

$$ta = Q / (V_m \cdot B_a) \tag{1}$$

$Q$ は空気吹出量[L/min],  $B_a$ は空気吹出部幅[mm]である。

#### (2) 周期吹出 (RBI: Repetitive Bubble Injection)

周期吹出は,  $ta$ [mm]: 相当空気膜厚さ, Duty 比[-],  $V_m$ [m/s]: 船速,  $f$ [Hz]: 吹出周波数をそれぞれ変化させ試験を行った。

Duty 比は, 1 周期中の空気を吹出している時間の割合である。一周期当たりの吹出量は,  $ta$ が等しければ Duty 比にかかわらず同一である。周波数が異なる場合も時間当たりの流量は同一である。

### 2.3 解析手法

計測した全抵抗より求めた気泡被覆部 (S2) の摩擦抵抗低減率  $\Delta Rf / Rf_0$  を(2)式に示す。

$$\Delta Rf / Rf_0 = \Delta R t_m / Rf_0 \tag{2}$$

空気なしの S2 の摩擦抵抗  $Rf_0$  は, Schoenherr の平均摩擦抵抗係数の式を用いて(3)式より算出する。

$$Rf_0 = Cf_0 [Re(L_m)] \cdot \frac{1}{2} \rho S_1 V_m^2 - Cf_0 [Re(L_{m1})] \cdot \frac{1}{2} \rho (S_1 - S_2) V_m^2 \tag{3}$$

ここで,  $Cf_0$  は, 空気なしの相当平板の摩擦抵抗係数で, (4)式の Schoenherr の式より算出する。 $Re$ [-] はレイノルズ数,  $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>] は水の密度,  $\nu$ [m<sup>2</sup>/s] は水の動粘性係数,  $L_{m1}$ [m] は船首から空気吹出部の距離 3.110m である。

$$1/\sqrt{Cf_0} = 4.13 \log_{10} Re \sqrt{Cf_0} \tag{4}$$

せん断力計設置位置における局所摩擦抵抗低減率  $\Delta\tau / \tau_0$  を(5)式に示す。

$$\Delta\tau / \tau_0 = (\tau_0 - \tau) / \tau_0 \tag{5}$$

ここで,  $\tau$ [gf] は空気ありの局所摩擦抵抗,  $\tau_0$ [gf] は空気なしの局所摩擦抵抗である。

## 3. 計測結果および考察

### 3.1 摩擦抵抗低減率

#### (1) 連続吹出

連続吹出における  $ta/V_m$  と摩擦抵抗低減率  $\Delta Rf / Rf_0$  の関係を図-1に示す。図より  $ta/V_m$  が大きくなると摩擦抵抗低減率も大きくなる。これは, 川島ら<sup>4)</sup>と同様の傾向である。

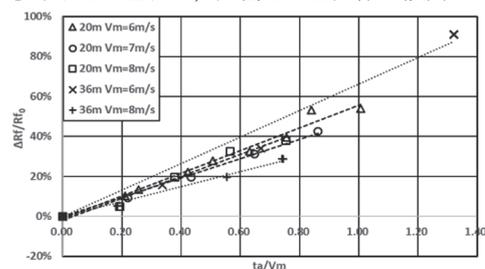


図-1 摩擦抵抗低減率の比較(連続吹出)。

#### (2) 周期吹出

船速 8m/s における周期吹出の相当空気膜厚さ  $ta$  と摩擦抵

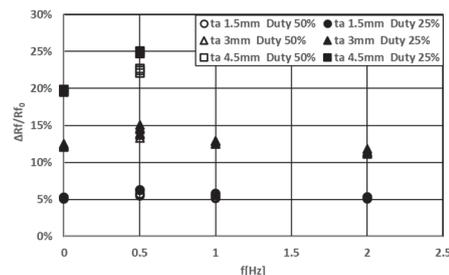


図-2 摩擦抵抗低減率の比較(周期吹出)。

抗低減率 $\Delta Rf / Rf_0$ の関係を図-2 に示す。

周波数 0Hz は連続吹出である。  $ta$ が大きくなると摩擦抵抗低減率が高くなることわかる。周波数影響は、0.5Hz でもっとも低減率が高くなること分かる。摩擦抵抗低減効果は、船速 8m/s, Duty 比 25%で、 $ta=4.5$ mm で最大 5.2%向上している。

### 3. 2 局所摩擦抵抗低減率

#### (1) 連続吹出

船速 8m/s における連続吹出時の局所摩擦抵抗低減率の結果を図-3 に示す。横軸は船首からの距離 $X$ である。局所摩擦抵抗低減率は、 $ta$ が大きいくほど高くなる。 $ta$ が大きいと船首近傍で低減率は高くなり、離れるに従い低減率は低くなる。12.5m まで低減率は下がり、以降は変化が小さくなる。

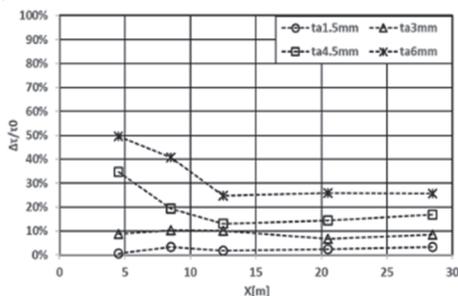


図-3 局所摩擦抵抗低減率( $V_m=8$ m/s) (連続吹出)。

#### (2) 周期吹出

船速 8m/s における周期吹出時の相当空気膜厚さ $ta$ の局所摩擦抵抗低減率への影響を図-4 に示す。横軸は船首からの距離 $X$ , 縦軸は局所摩擦抵抗低減率である。Duty 比はすべて 50%である。

$ta$ が大きいくほど局所摩擦抵抗低減率も高くなる。局所摩擦抵抗低減率は吹出部直後から、 $ta=3$ mm の場合、船首部で高く、下流に向かい低下し、 $X=12.5$ m より下流では変化が小さい。図-3 の連続吹出と比較した場合、 $ta=3.0$ mm では連続吹出は全域で 10%前後の局所摩擦抵抗低減率となるが、周期吹出では吹出部直後の 4.5m 位置では 20%を越え、連続吹出と同じ 10%になるのは 12.5m 位置である。これが連続吹出と比べ周期吹出の摩擦抵抗低減率が大きくなる部分だと考えられる。

船速 8m/s における周波数, Duty 比の影響を図-5 に示す。 $ta=1.5$ mm, 周波数 0.5, 1, 2Hz, Duty 比 50%, 25%の結果をプロットしたものである。

周波数が同じ場合、Duty 比 50%と比べ Duty 比 25%は特に船首部で局所摩擦抵抗低減率が高くなる。周波数影響は、0.5Hz が最も低減率が高く、より下流まで効果が維持される。全般的に、周波数, Duty 比に関わらず、最終的には連続吹出と同じ局所摩擦抵抗低減率になるが、周波数, Duty 比は小さい方が、より下流まで高い低減率を維持する。同じ $ta$ の場合、吹き出す空気と空気の間隔が広がるほど、連続吹出と比べより後方まで低減効果が高くなる。つまり、単位時間当たりの吹出空気量を一定とした場合、吹出周波数を小さくして、吹出時の空気量を多くすることが、摩擦抵抗低減に効果的

あると考えられる。

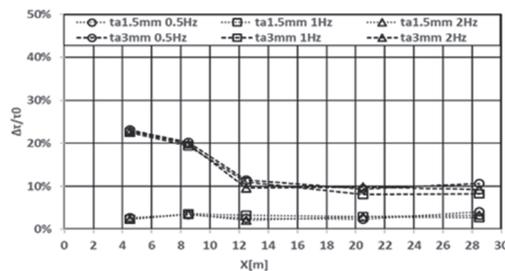


図-4 局所摩擦抵抗低減率 (周期吹出)。

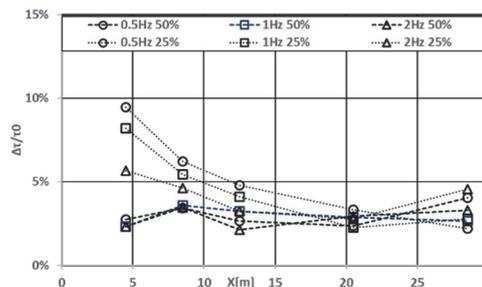


図-5 局所摩擦抵抗低減率の周波数, Duty 比での比較。

### 4. まとめ

- 連続吹出に比べ周期吹出はより高い摩擦抵抗低減効果が得られる可能性のあることが分かった。吹出周波数 0.5Hz のときに摩擦抵抗低減率をもっとも高くなり、摩擦抵抗低減率向上効果は連続吹出に比べ、船速 8m/s, Duty 比 25%の条件で、 $ta=4.5$ mm では最大 5.2%向上が得られた。
- 吹出周波数 0.5Hz の条件で、摩擦抵抗低減率及び局所摩擦抵抗低減率のどちらも、Duty 比 50%と比べ Duty 比 25%とした場合の低減率が高い。

### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP17H01245 の助成を受けたものです。研究実施にあたり北海道大学工学研究院 村井裕一教授、朴炫珍助教、室蘭工業大学もの創造系領域 大石義彦助教より貴重なご指導や助言を頂きました。心よりお礼申し上げます。

### 参考文献

- 児玉良明他：大型セメント運搬船を用いた空気潤滑法による省エネ実船実験(結果と解析), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 6 号, 2008, pp.163-166.
- Park, H. J 他: Drag Reduction Promoted by Repetitive Bubble Injection in Turbulent Channel Flows, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 75, pp. 12-25, 2015.
- 川島久宜他：50m 平板を用いた 2 段吹き出し法によるマイクロバブル抵抗低減実験, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 2E 号, 2006.
- 川島英幹他：空気潤滑における速度とポイド率の抵抗低減効果への影響, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号, 2020