

# 船体の摩擦抵抗低減に関する研究（第3報） 摩擦抵抗低減船の開発

平田敏明、斯波信雄、倉本恵治、富永克徳\*、黄九龍\*\*

## Study on the Reduction of the Frictional Resistance of Ships (3rd Report) Development of the Ship Reduced Frictional Resistance

HIRATA Toshiaki, SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, TOMINAGA Katsunori and KOH Kyuhryuh

It has been well known that one of the effective methods reducing the frictional resistance of ships is injecting micro bubbles into the boundary layers of their bottoms. So, we examined a few proposals to improve the reduction of the frictional resistance of ships. The results were as follows:

We could reduce the frictional resistance of model ships by injecting micro bubbles. And we worked out the partly force-gauge. It becomes possible for us to predict the reducing the frictional resistance of real ships. We found that the expansion with micro bubbles is important for the reduction of the frictional resistance. When the long model, the greater reduction was achieved and the reducing effect of micro bubbles was kept .

キーワード：船舶、摩擦抵抗、マイクロバブル、抵抗低減

### 1 緒 言

地球温暖化をもたらす大気中の二酸化炭素増加への対応策として船舶にも排気ガスの削減が求められている。その為には省エネルギーが必要で、大型船舶の抵抗の大部分を占める摩擦抵抗の低減は重要な課題となっている。そこで船舶に比較的適用しやすく低減効果が大きいとされるマイクロ気泡を用いる方法で、抵抗低減の効果を検討した。そして実船に適用する際に必要となる抵抗低減の発生を検知する手法を検討すると共に、より効果的とされるリブレット状の溝と気泡との複合効果による抵抗低減試験を実施したのでその結果を報告する。

### 2 実験方法

#### 2.1 模型船の製作

模型船は1800mmと2800mmの長さのものを製作した。いずれも発泡ウレタンを積層した構造で、船体外面はポリエステル樹脂で固化し船底塗料で仕上げた。船底にはカートリッジ式の気泡発生装置と、気泡を周囲に逃がさないためのガイドバーを取り付けた。気泡発生装置に使用したフィルターは文献<sup>3)</sup>で報告した平均孔径10 $\mu$ m、気孔率35%のセラミックフィルター

である。なお1800mmの模型船には、局所荷重の測定が可能な局所荷重測定器を搭載した。2800mmの模型船の形状は、船首が流線形で船底は平底型である。1800mm模型船の形状を図1に示す。

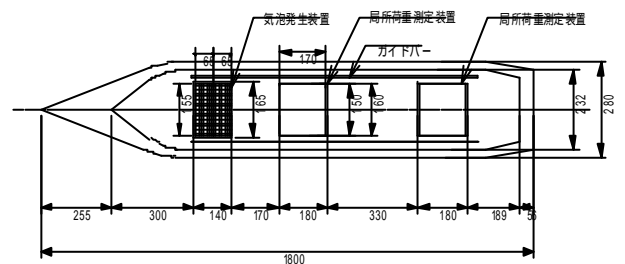


図1 1800mm 模型船船底図

#### 2.2 局所荷重測定器の試作

局所荷重測定器は船底の局所にかかる荷重を測定する目的で試作した。測定器の概念を図2に示す。この測定器はアクリル製の箱型（縦×横×高さ 180×150×120mm）形状で、船底の2ヶ所へ取り付けが可能である。メカニズムは底面の荷重受け面が可動式になっており、これが水流から受ける荷重により本体に固定されているシャフト上を微動する。この微動はロッドを介してロードセル（最大荷重0.98N）から船外の動ひずみ計に伝わり荷重に変換される。

\* (有)エヌケイクラフト      \*\*中谷造船(株)

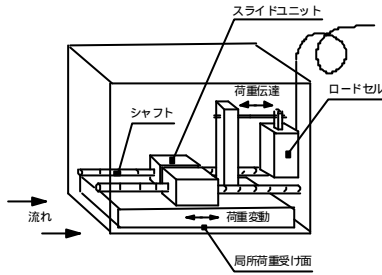


図2 局所荷重測定器の概念図

### 2.3 試験方法

水槽は西日本流体技研製の垂直循環型回流水槽を用いた。水槽の仕様は文献<sup>2)</sup>で報告した通りである。1800mm 模型での試験の構成を図3に示す。

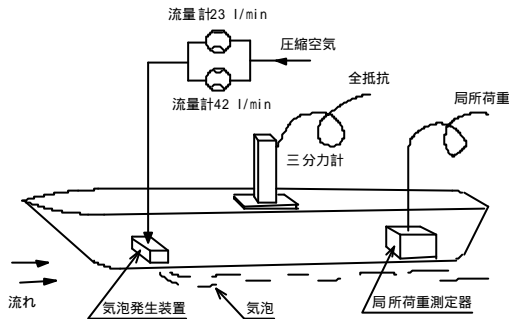


図3 抵抗低減試験構成図

図のように、模型船を三分力計に取り付け、流速と気泡発生装置に流入する空気量を変化させ、模型船にかかる全抵抗、および船底後方に取り付けた局所荷重測定器により局所荷重を測定した。また注入する空気量により変化する気泡の膨らみ高さを、船底のガイドバーを基準とし目視で計測した。試験条件を表1に示す。

表1 試験条件 (1800mm 模型)

項目	試験条件
流速	0.8 ~ 1.8 m/s
吃水	20 mm
空気量	0 ~ 65 l/min
ガイドバー高さ	20、30、45 mm

次に、より実船に近い形で気泡による抵抗低減効果を検証するため 2800mm 模型船で試験を行なった。1800mm 模型船の試験と同様に模型船を三分力計に取り付け、船底より気泡を注入し全抵抗を測定した。その後船底にリブレット状の溝を付け、気泡との複合効果による抵抗低減試験を実施した。溝は1.25mm間隔に、船底の気泡発生装置から船尾まで縦方向に掘り込んだ。試験条件を表2に示す。

表2 試験条件 (2800mm 模型)

項目	試験条件
流速	0.8 ~ 2.0 m/s
吃水	20 mm
空気量	0 ~ 65 l/min
ガイドバー高さ	20 mm

## 3 実験結果と考察

### 3.1 長さ1800mmの模型船

#### 3.1.1 抵抗値と空気量の関係

気泡発生装置に注入する空気量を変化させた時、船にかかる抵抗値の変化を図4に示す。

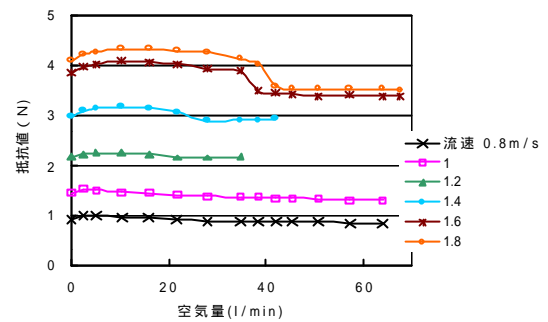


図4 抵抗値と空気量の関係

全体的な傾向としては、空気を注入すると最初は抵抗値は増加するが、ある空気量から抵抗値は減少し始める。流速が速いほど低減量は大きい、これに要する空気量も多い。流速 0.8、1.0m/s の時は緩やかな低減が生じる。流速 1.2、1.4m/s の時は、空気量 22 ~ 27 l/min での低減がやや顕著だが、それ以上空気を注入すると気泡の一部がガイドバーから漏れて抵抗は増加する。試験を中止しているのはそのためである。1.6、1.8m/s の時は、40 l/min 前後の空気量で大きな低減が生じるが、それ以降の低減は極めて少ない。

#### 3.1.2 局所荷重と空気量の関係

同様に注入する空気量の変化に伴う船底の局所荷重の変化を図5に示す。

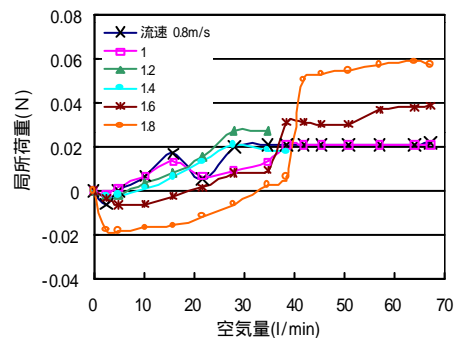


図5 局所荷重と空気量の関係

全体の傾向としては、局所荷重は空気を注入すると最初は負の値（船首方向の力）であるが、空気量を増すに従い正の値（船尾方向の力）に移行し、流速が速いほど大きな値となる。流速 1.6、1.8m/s を例にとると空気量 40 l/min 前後で局所荷重が大きく増加しているが、これは図 4 で示した大きな抵抗低減が生じた時と一致している。他の流速でも同様で、船にかかる全抵抗が減少する時に局所荷重は増加している。従って、局所荷重の増加を検出することにより、抵抗低減の発生を認識することができる。これは実船において抵抗低減を検知する手法として活用が可能と思われる。

### 3.1.3 流速と抵抗低減量の関係

各流速における最大の抵抗低減量を図 6 に示す。

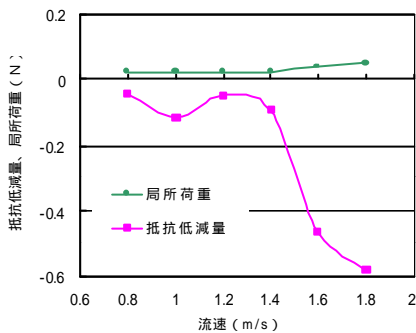


図 6 流速と抵抗低減量の関係

図 4 で示した通り、空気量を増していくと抵抗値が大きく低減する時があるが、図 6 はこの時の抵抗低減量をプロットしたものである。流速が 1.4m/s より遅い時は低減量が 0.1N 以下でほぼ均一であるが、それ以上の流速では抵抗低減量は大きく増加している。実船での流速（船速）は当然これより大きくなり、流速が速くなるほど抵抗低減量が大きく生じるのは好ましい傾向といえる。流速 1.8m/s の時の抵抗低減量は 0.58 N（気泡を出さない時の抵抗値は 4.1N）であるから抵抗低減率は約 14% となる。

もう一つのグラフは抵抗低減量に対応した局所荷重の値である。この時の局所荷重は常に正の値（船尾方向の力）を示し、抵抗低減量の増加に伴い直線的に大きくなる。

### 3.1.4 抵抗低減に要する空気量

抵抗低減に必要な空気量を図 7 に示す。

抵抗値が大きく低減するのに必要な空気量を初期空気量、その後引き続き抵抗低減が生じる限り注入する空気量を追加空気量と呼ぶことにする。図 7 より、抵抗低減に要する初期空気量は流速にほぼ比例して増加している。また図 4 と合わせて見れば、抵抗低減の大

部分は初期空気量で生じており追加空気量での低減は少ないことがわかる。なお流速 1.2、1.4m/s の時は、3.1.1 で述べたように追加空気により空気漏れが生じ抵抗が増加したので、初期空気のみグラフに表示している。

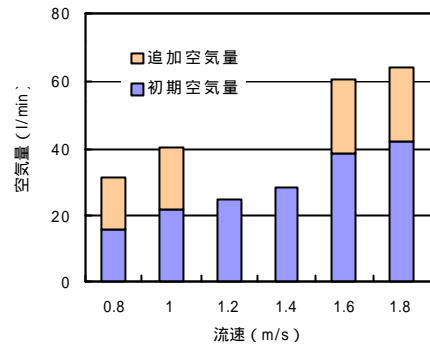


図 7 抵抗低減に要する空気量

### 3.1.5 気泡の放出による膨らみ

船底に気泡を放出させると、空気の膨らみを生じる。この模式図を図 8 に示す。

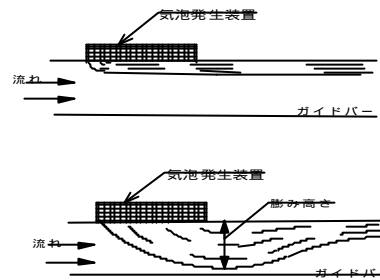


図 8 気泡による膨らみ

図において、注入空気が少ない時気泡は船底に沿って後方へ移動するが、注入空気が初期空気量に達すると模型船の抵抗は著しく低減し、気泡発生装置のやや後方に膨らみを形成する。この膨らみ高さはガイドバーの高さにより変化する。そこでガイドバーの高さを変化させて、抵抗低減が大きく生じた時の膨らみ高さを図 9、その時の抵抗低減量のグラフを図 10 に示す。

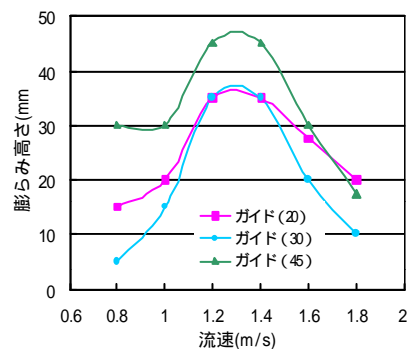


図 9 抵抗低減時の膨らみ高さ

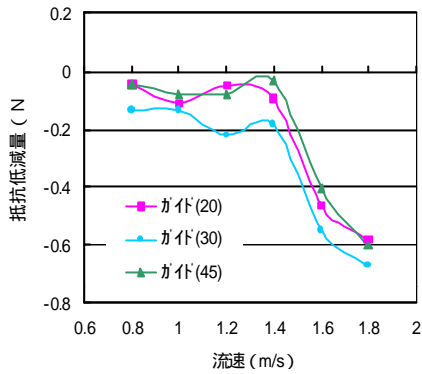


図 10 流速と抵抗低減量の関係

図 9、図 10 よりガイドバーの高さが 20mm の時、流速が 1.4m/s 以下では抵抗低減量は 0.1N 前後でほとんど差はないが、膨らみ高さは流速 1.2、1.4m/s の時がピークで 35mm 前後になる。この時は気泡の一部がガイドバーを越えて模型船の側方から漏れる状態で、これ以上空気を注入しても抵抗は低減せず逆に増加する。流速が 1.6m/s 以上になると膨らみ高さは小さくなり抵抗低減量は増大する。

ガイドバーの高さが 30mm では、抵抗低減量はやや増大するが、ピーク時は同様に 35mm 前後の膨らみが生じ気泡はやはり側面から上方に漏れる。

ガイドバーが 45mm では、抵抗低減量はやや減少し、膨らみ高さはこれまでより一段と高くなり気泡の漏れはやはり防止できない。従ってガイドバーの高さを変えると気泡の膨らみ高さは変化するが、気泡の漏れは防止できない。また抵抗低減量にも大きな違いは見られない。従ってガイドバーの高さは気泡を船体の側面に逃がさない高さで十分である。

### 3.2 長さ 2800mm の模型船

#### 3.2.1 抵抗低減および使用空気量

長さ 2800mm の模型での気泡による抵抗低減試験の結果を図 11 に示す。

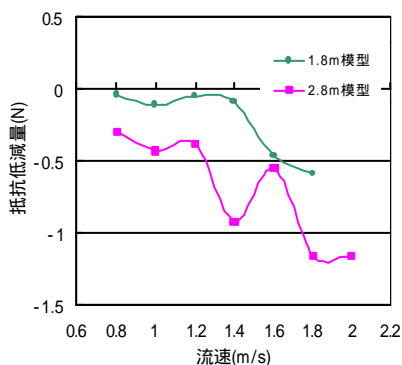


図 11 流速と抵抗低減量の関係

図で示す抵抗低減量は、初期空気量で生じた抵抗低減量である。1800mm 模型の結果と比較すると低減量は概ね 2 ~ 3 倍で、流速 1.8m/s の時では約 1.2N (抵抗低減率 17.5%) の低減がみられる。しかも使用空気量は、図 7 で示した 1800mm 模型船の空気量とほぼ同じである。つまり幅が同じ模型船で長さを長くしても、同量の空気により大きな抵抗低減が生じているわけで、これは気泡による抵抗低減効果が持続していることを示している。

#### 3.2.2 リプレットの効果

船底にリプレットを形成し抵抗低減試験を実施した。その結果を図 12 に示す。

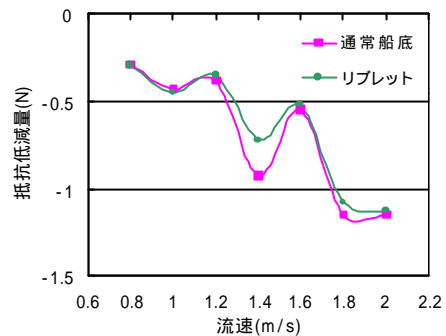


図 12 リプレットによる抵抗低減

リプレットは抵抗を増大させる乱流境界層へ、より大きなエネルギーを持った「縦渦」を発生させて乱れを抑え、抵抗を低減させようとするものである。図 12 より、船底にリプレットを形成したほうが抵抗低減が少ない傾向を示した。リプレットの効果には間隔、深さ、材質等が関係すると思われるが、この度の試験に関してはリプレットと気泡の複合効果による抵抗低減は見いだせなかった。

## 4 結 言

- (1) 抵抗低減の検知法として局所荷重測定器の有効性が確かめられ、実船での活用の見通しがついた。
- (2) 長い(2800mm)模型船ではより大きな抵抗低減がみられ、気泡の持続効果が確認できた。
- (3) 抵抗低減が生じる時は気泡発生装置の後方に膨らみが形成されるが、ガイドバーは必要以上に高くしても低減量は増加しない。また抵抗低減に要する初期空気量は船速にほぼ比例する。

## 文 献

- 1) 須賀堯三：水理模型実験 山海堂,1990,35
- 2) 平田他：広島県西部工技研究報告, No.42(1999),5
- 3) 平田他：広島県西部工技研究報告, No.43(2000),63