

# 流水中性能評価のための氷海水槽試験法

Test methods of an ice tank to evaluate performance in pack ice fields



技術研究所 氷海研究 G

安齋 圭祐

ANZAI Keisuke

## 概要

オホーツク海で運用される砕氷船の開発では流水中における性能が重要となる。本稿では、流水中性能の推定に必要となる流水中抵抗/自航試験法について解説する。氷海水槽では目標とする氷厚/強度の平坦氷を製氷した後で、それを切り分けることで流氷を再現する。流氷のサイズが大きく密接度が高いほど流氷中の抵抗は大きくなる傾向があるため、流氷中性能を適切に評価するためには実際に船が運用される海域の特性を把握することが重要となる。この試験によって得られた結果は船型の性能評価だけでなく、シミュレーションの検証データ等にも活用される。

## 1. 緒言

氷海域を航行する砕氷船は平坦な氷だけでなく、流氷や乱氷帯、氷丘脈といった様々な氷況（図 1）の中を航行する。

砕氷船の船型開発において、砕氷艦「しらせ」の様に積極的に氷盤を割っていく砕氷船では平坦氷中の性能が重要となるが、北海道北東のオホーツク海で運用される砕氷船では氷況の傾向が異なるため、流氷中に

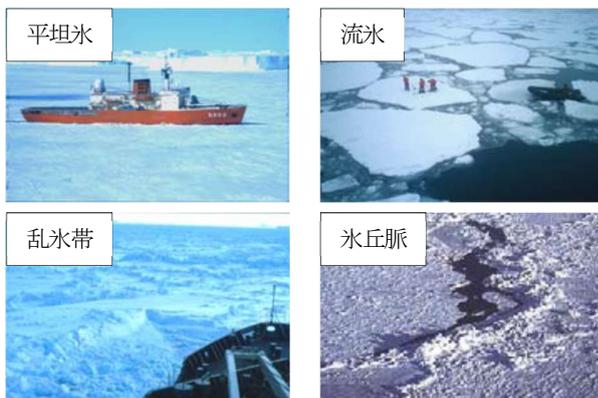


図 1 砕氷船が遭遇する様々な氷況

Fig.1 various ice conditions encountered by icebreakers

おける性能が重要となる。

本稿では流氷中性能の評価技術として、当社の氷海水槽<sup>1)</sup>における流氷中抵抗/自航試験法について解説する。

## 2. 流氷中航行時の現象

初めに、砕氷船が流氷中を航行する際に船体と流氷の干渉によって生じる現象について説明する。

### 2.1 流氷の破壊

平坦氷中において砕氷船は氷盤を破壊しながら進んでいく。一方、流氷中では氷が固定されていないため、流氷の破壊は確実に発生するとは限らない。流氷の破壊は流氷のサイズが大きく、氷の密接度（流氷中で氷が占める面積割合）が高い条件で発生しやすい（図 2）。これは、流氷のサイズが小さいと破壊に至るほどの荷重を与えられず、氷の密接度が低いと隙間が大きく流氷が逃げやすいためである。

### 2.2 流氷の水平移動・沈降

船体と接触した流氷は水平方向に押し分けられると共

に、水中へ押し沈められる (図 3)。流氷の押し分け、押し沈めは船体形状や氷の密接度によって挙動が異なり、船首フレアが開き、氷の密接度が高くなるほど押し沈められやすくなる。

### 2.3 流氷の排除

水中へ押し沈められた流氷は船体に沿って側方へ押し出され、排除されていく (図 4)。この際、船体には流体力に起因する抵抗が生じる。



図 2 流氷の破壊  
Fig.2 Destruction of pack ice pieces

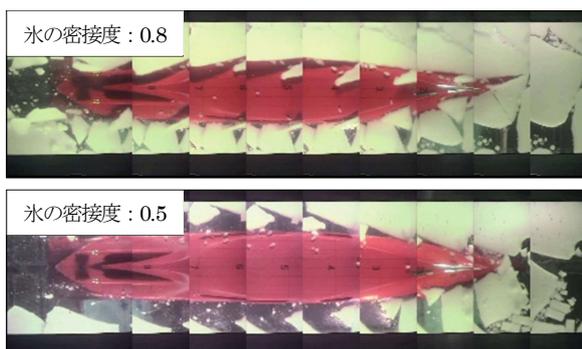


図 3 船底から見た流氷の流れ  
Fig.3 Pack ice pieces flow from bottom view

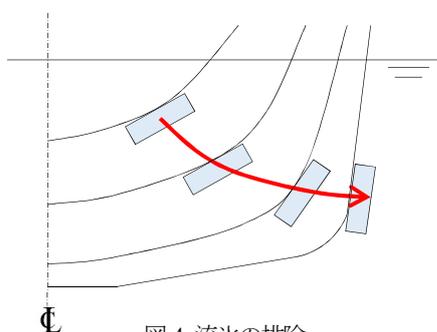


図 4 流氷の排除  
Fig.4 Clearing of a pack ice piece

## 3. 試験条件

### 3.1 流氷の特性パラメータ

平坦水中の試験では氷盤の破壊が中心的な現象となるため、氷厚と氷の曲げ強度、弾性率が主要な特性パ

ラメータとなる。流氷中の試験ではこれに加えて流氷のサイズと氷の密接度が重要なパラメータとなる。

### 3.2 相似則

流氷中抵抗試験を行うにあたり、実現象を適切に再現するためには力学的な相似則を満たす必要がある。

水中航行においては氷の破壊による影響が大きく、水中では船速が遅く粘性力の影響をあまり受けないことから、慣性力と弾性力の比であるコーシー数を基準として試験条件を以下の様に設定する。

- ・氷厚、氷の曲げ強度、氷の弾性率、流氷のサイズを実海氷の  $1/\lambda$  ( $\lambda$ は実機と模型の寸法比) に近づける。
- ・氷と水の密度差、氷の密接度を実海氷の値に近づける。

## 4. 流氷中抵抗/自航試験法

### 4.1 流氷作成

流氷中試験を行う際は以下の手順で流氷を作成する。

- 1) 目標とする氷厚、強度を持った平坦氷を製氷する。
- 2) 目標とする氷の密接度に対して余剰な氷板を切り出し、排除する。
- 3) 目標とする流氷のサイズに合わせて流氷を切り出し、水面上に分散させる。

また、航走時に流氷があまり破壊されず再利用が可能な場合、流氷を再成形して繰り返し試験を実施することが出来る。作成された流氷を図 5 に示す。



図 5 作成された流氷  
Fig.5 Created pack ice pieces

### 4.2 特性パラメータの計測

#### ①氷の曲げ強度、弾性率

氷の曲げ強度と弾性率の計測には片持ち梁試験を用いる。この試験を行うためには氷板が固定されている必要があるため、氷板の切り出し前に実施する。

#### ②流氷のサイズ、氷の密接度

流氷のサイズと氷の密接度の計測には撮影した流氷の画像を用いる。あらかじめ流氷とサイズの基準とな

るスケールを同時に撮影しておき、その比率から流氷のサイズを求める。また、画像を 2 値化して流氷を抽出し、水を含めた全体との面積比から氷の密接度を求める。

### 4.3 抵抗/自航試験

#### ①抵抗試験

検力計を介して模型船と曳引車を連結し、流氷中を曳航することで模型船にかかる抵抗を計測する。

#### ②自航試験

プロペラを数点の回転数で回しながら模型船を曳航し、曳引力が 0 となる状態（自航状態）における推進機と氷の干渉や、それに伴う推力減少などの自航要素を求める。抵抗試験と自航試験の結果を基にして流氷中航行時の所要馬力を推定することが出来る。

結果を流氷中性能シミュレーションの検証データとして活用することで、高精度な数値計算法を開発していく所存である。

### 参考文献

- 1) 増子 章、増田 聖始、正司 公一、尾崎 伯哉、水野 滋也：ジャパン マリンユナイテッドの船舶用試験水槽設備、日本マリンエンジニアリング学会誌、第 49 巻 3 号、pp373-380、(2014)



安齋 圭祐

## 5. 実施例

流氷中試験の実施例として、船速 3kt で流氷のサイズと氷の密接度を変更して行った流氷中抵抗試験の結果を図 6 に示す。ここでは氷中抵抗を同一船速における平坦氷中の抵抗に対する割合で表している。

流氷中の抵抗は流氷のサイズ及び氷の密接度に対して正の相関が見られる。また、平坦氷中の抵抗に比べると流氷中の抵抗は著しく小さい。流氷中の抵抗は流氷の特性パラメータによって大きく変動するため、実際に運用される海域の特性を把握しておくことが重要となる。

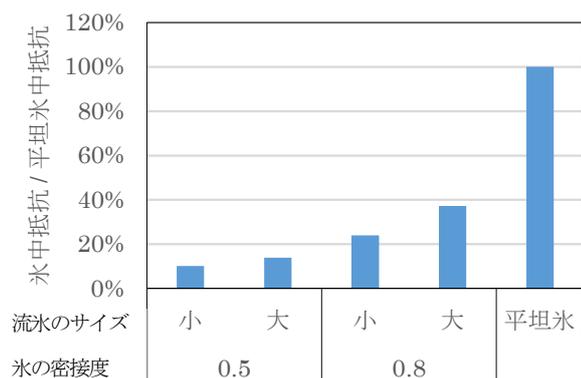


図 6 流氷中抵抗試験結果  
Fig.6 Results of pack ice resistance tests

## 6. 結言

当社の氷海水槽における流氷中抵抗/自航試験法について解説した。本試験は流氷中で運用される船舶の開発に必須の試験である。流氷の作成など手作業が多いため、安定した条件の再現が難しい試験ではあるが、より良い船型を開発するための基盤技術として、今後も試験精度の向上、安定化に努めていく。また、試験