

# 砕氷船のラミング砕氷性能向上に関する研究

## Study on Improvement in the Ramming Performance of Icebreakers



技術研究所 氷海研究室

岸 進 KISHI Susumu  
 山内 豊 YAMAUCHI Yutaka  
 水野 滋也 MIZUNO Shigeya

### 概要

砕氷船は厳しい氷況に遭遇した時にラミング砕氷を行うが、前後進を繰り返すため平均的な船速は著しく低下する。また、氷盤上の積雪がラミング砕氷時の進出距離に大きな影響を与えることが、わが国の南極観測船の航海実績より明らかとなっている。ラミング砕氷性能を向上させることができれば、航海時間の短縮や航海スケジュールの安定化に大きく寄与することになる。本稿では、連続砕氷性能を維持しつつラミング砕氷性能を向上出来る船首形状と、散水システムの積雪湿潤化によるラミング性能向上効果について述べる。

### Summary

An icebreaker breaks ice by multiple ramming when she encounters a heavy ice condition. Average ship speed falls significantly by repeatedly running ahead and astern. According to voyage experience of the Japanese Antarctic research observation ship, it is found that the snow gives large influence to the ramming distance. Therefore, the improvement of ramming performance is expected to lead to shortening of hours underway and stabilization of voyage schedule. This paper reports the bow form which improves ramming performance while maintaining continuous icebreaking performance, and reports the lubrication effect of the seawater flashing system.

## 1. 緒言

砕氷船は氷厚が大きくなって連続砕氷が出来なくなるとラミング砕氷を行う。ラミング砕氷とは、船を氷盤から後進離脱させた後、連続砕氷時より速い船速で助走して氷盤に突入し、運動エネルギーを利用して砕氷する方法である。砕氷船によく用いられる大きく傾斜した船首形状は、連続砕氷には適しているが、厚い氷盤に対しては乗り上げ易く、ラミング砕氷には適していない(図1)。また氷盤上の積雪はラミング砕氷時の進出距離を減少させる事が知られており、積雪による抵抗を減少させる事も重要である。

ラミング砕氷性能を向上させるためには、曲げ破壊だけでなく圧壊の抵抗が小さく、積雪の圧密や摩擦によるエネルギー消費が少ない船首形状を考案する必要がある。また一方で、砕氷船の主性能は連続砕氷性能であり、これも同時に維持することが要求される。船

型改良だけでこれらの課題を全て解決するのは困難であると考え、主に船型改良によってラミング時の氷盤破壊抵抗を低減し、積雪の影響は散水システムによって緩和することにした。

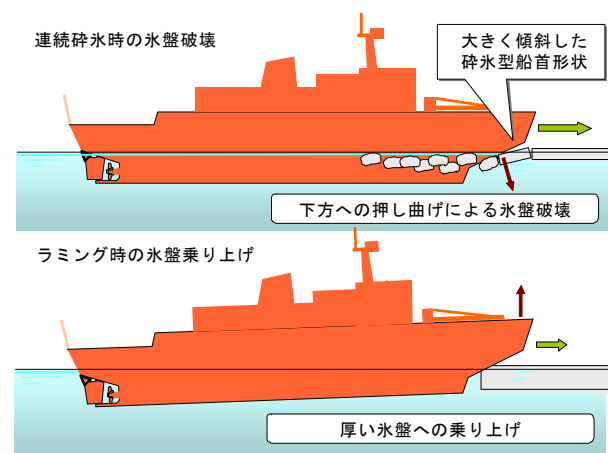


図1 砕氷船による氷盤破壊  
 Fig.1 Ice failure by icebreaker

## 2. 船型改良によるラミング性能の向上

### 2.1 ラミング砕氷に適した船首形状の考案

船首部の形状として以下の案を考えた。

(1) 喫水線（ウォーターライン）形状：氷盤に貫入し易い船型として、図 2 に示す様に従来型に比べて肩部をなだらかにした A、B、2 種類の船型を考えた。A 型は肩部を落として喫水線形状を直線的とした船型であり、B 型は肩部をなだらかにするとともに連続砕氷性能の維持にも配慮して船首先端に丸みを付けた船型である。

(2) 肋骨線（フレームライン）形状：図 3 に示す様に貫入し易く氷との接触面積が小さい V 型形状とした。ただし、図 4 に示す様に、連続砕氷エリアでは、許される範囲で傾斜させて曲げ破壊に適する形状にし、喫水線よりさらに深いラミング砕氷エリアではフレームラインを立てて V 型形状とした。

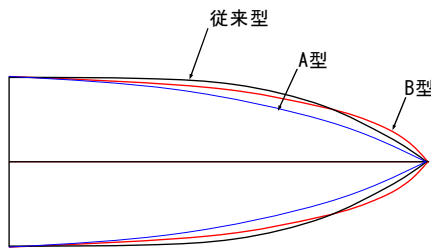


図2 船首部ウォーターライン形状  
Fig.2 Shape of bow water line

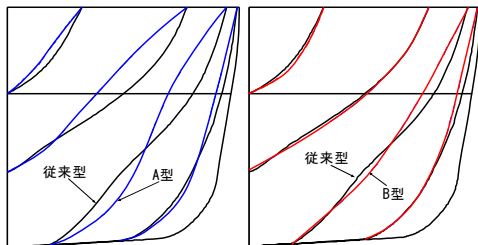


図3 フレームライン形状  
Fig.3 Shape of bow frame line

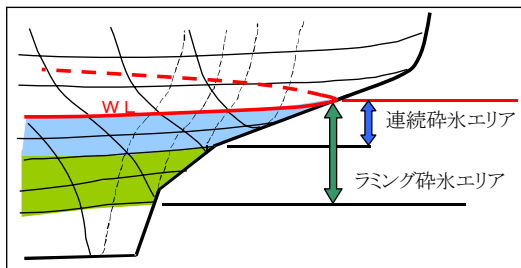


図4 各砕氷エリアに対する船首形状の考え方  
Fig.4 Idea of bow form for each ice-breaking area

### 2.2 ラミング砕氷性能の検証

#### 2.2.1 数値シミュレーションによる検証

数値シミュレーションによってラミング砕氷性能を検証した。数値シミュレーションは、運動方程式をタイムステップで解く方式で、以下の特徴を有する。

- ・積雪の影響を考慮出来る
- ・氷盤の破壊モードは圧壊が卓越するモデル

ウォーターライン形状として、図 2 に示した 3 種類の形状を選んだ。計算条件は主要目、排水量を全て同一とした。衝突船速は 8km、船体と氷との動摩擦係数及び積雪との動摩擦係数はそれぞれ 0.065、0.25 と仮定した。

進出距離/船長の計算結果を図 5 に示す。氷厚 1.5m で比較すると従来型に比べると A 型は約 20%、B 型は約 10%、進出距離が伸びる結果となった。

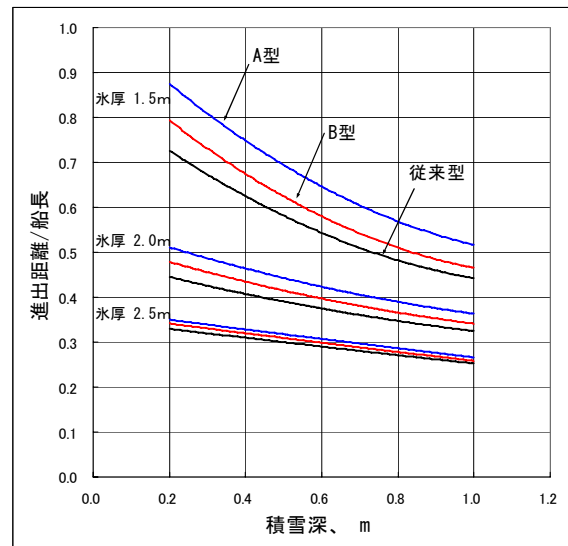


図5 積雪深氷厚とラミング進出距離の関係  
Fig.5 Relation between snow / ice thickness and ramming distance

#### 2.2.2 連続砕氷性能に与える影響

次にそれぞれの船型の連続砕氷性能を調べた。連続砕氷抵抗については、当社の模型実験と比較的良く合う *Ionob* (1988) の抵抗推定式を用いて水中抵抗を相対的に評価した。氷厚は 1.5m、曲げ強度 500kPa、船体と氷との動摩擦係数は 0.065 とした。計算結果を図 6 に示す。A 型の抵抗は従来型に比べて 20~30%増加するが、B 型については 7~8%の増加に止まった。

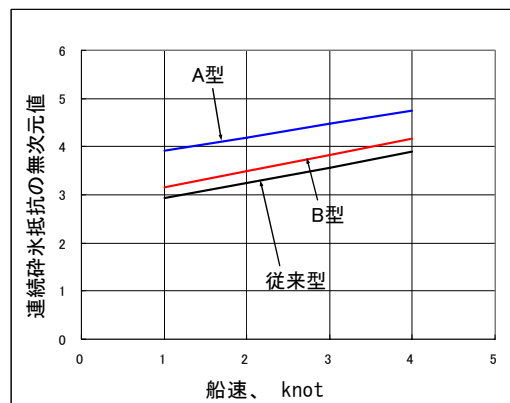


図6 連続砕氷抵抗  
Fig.6 Ice resistance in continuous ice-breaking

### 2.2.3 まとめ

ラミング砕氷性能と連続砕氷性能は船型的には相反する性能であり、そのバランスが重要である。本研究の目的である連続砕氷性能を維持しつつラミング砕氷性能を向上させる船型としてはB型が優れている。

## 3. 散水システムによるラミング性能の向上

### 3.1 散水システムによる潤滑効果

砕氷抵抗を低減するために、砕氷船の船首傾斜角は30度以下のものが多い。一方で、船首が大きく傾斜している船型は、雪や氷との接触面積が大きくなり、雪や氷の摩擦抵抗は増大する傾向にある。摩擦抵抗を低減する手段として散水システムが考案され、1970年代後半から、いくつかの砕氷船に採用されてきた。特に乾いた雪が載った氷盤を連続砕氷する場合に効果があるとされており、散水装置を搭載した砕氷船 *Oden* (スウェーデン) や *Mudyug* (ロシア) の実船試験では、10%以上の馬力低減効果があったと報告されている。ラミング砕氷に関しては、後進離脱時の抵抗は低減するが、前進時には突入速度が連続砕氷時に比べて速いことから、雪の湿潤化が間に合わず抵抗低減効果は少ないと言われてきた。しかしながら、ラミング時の散水システムの性能を定量的に調査・確認した例は少ない。著者らは、散水システムを備えた模型船を製作し、乾き雪を載せた氷盤に対してラミング砕氷試験を実施して、その効果を確認した。

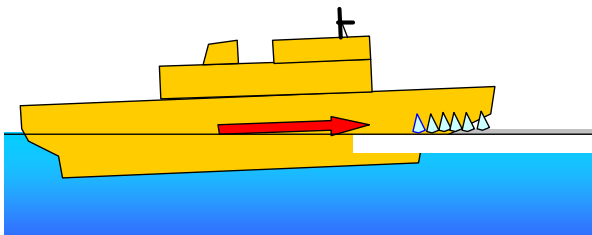


図7 散水をともなう積雪に覆われた氷盤への突入  
Fig.7 Ramming with water flushing against snow-covered ice

## 3.2 模型試験による散水システムの検討

### 3.2.1 供試模型

試験に用いた模型は、長さ132mの砕氷船の1/27である。模型船表面の模型氷との動摩擦係数は0.07~0.08に調整した。乾き雪(密度0.3g/cm<sup>3</sup>)と模型との動摩擦係数は0.25である。散水用ノズルは、模型船の船首部1/4Lの範囲で水面から高さ約2.2m相当の位置に取付けた。

### 3.2.2 散水ノズル配置と流量の検討

ノズルの配列としては、図8に示すようにCase 1

~Case 3の3ケースの配列を考えた。Case 1は片舷当たり10個のノズルを船首から1/4Lの範囲に等間隔に設置し、積雪を一様に湿潤化する。Case 2は、10個のノズルを船首から1/8Lの範囲に等間隔に設置し、船首先端部から集中的に散水する。Case 3は、Case 1とCase 2の折衷案であり、Case 1の散水範囲の内、船首部1/16Lの範囲のノズル本数と流出量を増やして、散水の密度を部分的に高めている。散水流量は多いほど効果があるが、実績を調査し、最大270m<sup>3</sup>/minの散水流量を設定した。全てのケースの総流出量は同じである。

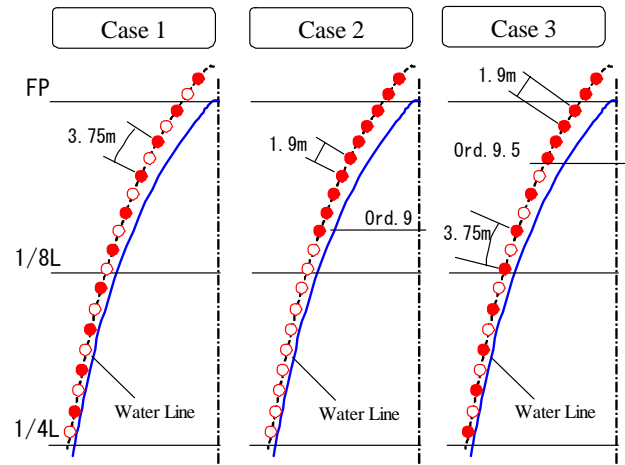


図8 散水ノズルの配置案  
Fig.8 Arrangements of water flushing nozzles

### 3.2.3 模型試験結果

氷海水槽において氷厚2m、曲げ強度800kPa相当の模型氷板を作成し、乾いた積雪を乗せた。曳引車で模型船を船速8kn相当で曳航し、氷板に接触する直前に模型船を曳引車から切り離し、模型船の慣性力のみで氷板に貫入させた。図9に散水を伴うラミング試験の状況を示す。



図9 ラミング砕氷試験における散水の状況  
Fig.9 Ramming test with water flushing

図10にCase 1のラミング進出距離への効果を示す。散水流量の増加と共にラミング進出距離が延長される傾向を示している。積雪のある状態での進出距離

は、135m<sup>3</sup>/min 相当の散水時には、7~12%延長し、270m<sup>3</sup>/min 相当の散水時には、10~15%延長した。

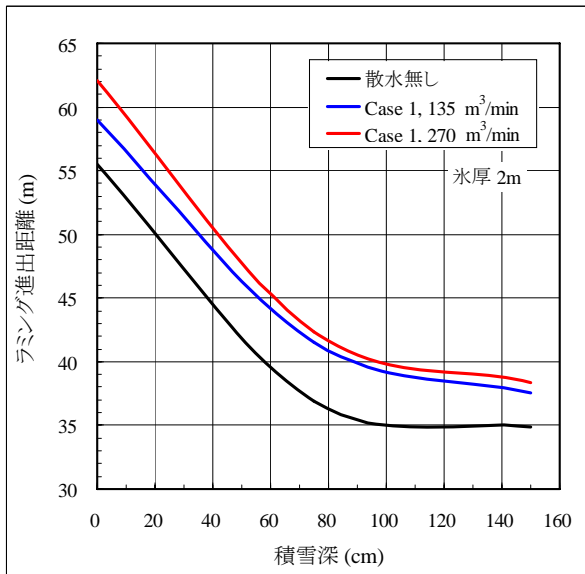


図 10 散水装置による進出距離の向上効果  
Fig.10 Improvement in penetration distance by water flushing system

図 11 に散水無しの進出距離を 100%として、散水した場合の進出距離の割合をそれぞれのケースで比較して示した。全散水流量はいずれのケースも 270m<sup>3</sup>/min 相当で、積雪は 75cm 相当である。Case 1 と Case 2 ではほぼ同等のラミングに対する効果が見られ、進出距離は約 15%延長した。Case 3 は他に比べて効果は小さく、進出距離の延長は 5%程度であった。効果の差の原因の一つとして、Case 3 は散水量が船首に偏り過ぎたことが挙げられる。

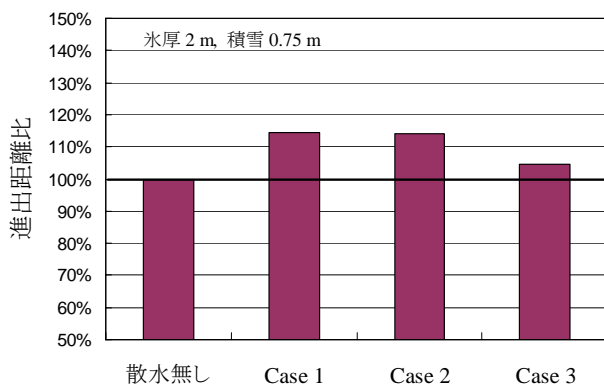


図 11 散水ノズル配置の違いによる進出距離の比較  
Fig.11 Comparison of penetration distance on the nozzle arrangement for water flushing

図 12 は試験時の船首喫水付近の写真で、船首部における砕氷片の回転状況を示したものである。本船型では、船首で割れた氷板は貫入と共に回転し、Ordinate 9 付近で船体に接触しやすい。Case 3 では Ordinate 9 付近の散水量は他のケースと比較して少なく、潤滑が十分では無かったと考えられる。

以上のように、全体の散水量が多くと、散水の範囲によってその効果は大きく異なる。船体形状に依存する氷板の破壊現象に合わせて、散水範囲や流量分布を決定すれば、ラミング時にも十分な効果が得られる。

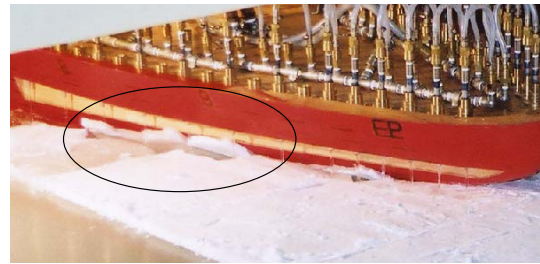


図 12 船首部での砕氷片の回転、船体との接触状況  
Fig.12 Snow contact with the ship surface by rotation of ice pieces

#### 4. 結言

砕氷船のラミング砕氷性能を向上させるために、船型を改良し、その効果を数値シミュレーションで検証した。その結果、ウォーターラインの肩部をなだらかにしてフレームラインを V 型にすればラミング砕氷性能が向上することが確認され、連続砕氷性能を維持しつつラミング砕氷性能を向上させる船型 (B 型) を提案した。

散水システムにおいては、適切な流量によってラミング時にも効果があり、最大 15%の進出距離の増加が認められた。また、十分な散水効果を得るためには、砕氷片の挙動にも考慮して、ノズル配置を決める必要があることを示した。

#### 参考文献

- 1) B. P. Ionob, "Ice resistance and its component", レニングラード水理学会出版局, 1988.
- 2) Z. Yoshida, "Theoretical studies on snow removal by a plough", Low Temperature Science, Ser.A, 32, 1974.
- 3) G. Liljeström, A. Backman, et al., "Results from the full scale testing of the new icebreaker Oden", ICE TECH '90.
- 4) N. Hoogen and K. Delius, "Report on sea trials with the soviet icebreaker "MUDYUG", Marine Technology Vol.18 No.4, 1987.



岸 進      山内 豊      水野 滋也