

サロマ湖漁港アイスブームにおける 新型メインロープの耐用年数の推定

網走開発建設部 網走港湾事務所 第2工務課 ○丹羽 幸一
木口 輝
日本データサービス株式会社 清水 敏明

サロマ湖漁港(第1湖口地区)アイスブームのメインロープは、平成20年度から「超高分子量ポリエチレン繊維」を芯材とする新型ロープへと順次更新しており、令和2年度には全てのロープの更新が完了した。しかし、実海域で使用した新型ロープの耐用年数が明らかとなっていないことから、使用年数の長いロープを対象とした残存強度試験を実施し、耐用年数の推定を行ったので、その結果と今後の対応について報告する。

キーワード：アイスブーム、防氷堤、長寿命化

1. はじめに

北海道のオホーツク海に面するサロマ湖は、北見市、佐呂間町、湧別町に跨がり、その面積(約152km²)は我が国で3番目に大きく、汽水湖としては最大である。

サロマ湖内では、ホタテガイの種苗生産、ホタテガイ・カキの養殖漁業、カレイ等の刺し網漁業が行われている。また、オホーツク海側では、地まき放流したホタテガイの輪採制による桁曳網漁業やサケ・マス定置網漁業が主体的に営まれている。

主要魚種であるホタテガイは、オホーツク海域が一大生産拠点となっており、サロマ湖内で生産される種苗は、外海の地まき放流及び湖内養殖用のほか、他の地域へも供給され、その生産を支えている。また、サロマ湖周辺における成貝の生産量は全国の約2割を占め、国内はもとより、EU諸国、アメリカ、中国などへ輸出されている。

サロマ湖は、は長さ約28kmの砂州でオホーツク海と隔てられ、第1湖口、第2湖口の2つの湖口で繋がってい

る(写真-1)。この2つの湖口によって、漁船は湖内と外海とを往来し、効率的な生産活動が維持され、湖口を通じた湖内と外海との海水交換は、湖内の豊かな生体系の維持にとって必要不可欠である。

一方、オホーツク海沿岸は1月から3月にかけて海面が流氷で覆われ、その一部が湖口から湖内に流入し、ホタテガイの養殖施設等に被害をもたらしていた。このため、湖口部において流氷の流入を防止するためのアイスブーム(防氷堤)が整備された。これにより流氷被害は解消され、ホタテガイをはじめとした湖内漁業の安定的な生産が可能となっている。

2. サロマ湖漁港(第1湖口地区)アイスブーム

(1) アイスブームの概要

第4種サロマ湖漁港は、オホーツク海とサロマ湖とを繋ぐ2つの湖口に位置し(写真-1)、湖内と外海を繋ぐ航路の整備を行っている。これにより、漁船の安全航行の確保はもとより、湖内と外海の海水交換機能が保持さ

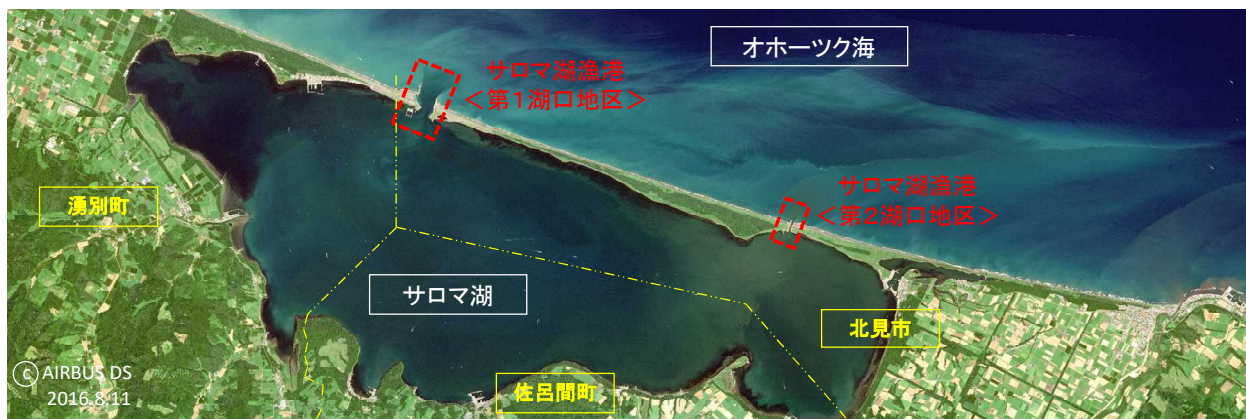


写真-1 サロマ湖とサロマ湖漁港

れており、湖内の水質環境を適切に維持するためにも重要な役割を担っている。

かつてはこの湖口からの流水の流入による被害が度々発生しており、昭和49年には、養殖施設の約7割が被災し、施設や生物被害だけで22億円にも昇る壊滅的な被害を受けている。

このような深刻な状況を解決するため、以下の条件からアイスブーム工法が採用され、平成10年に完成した(写真-2)。

- ・冬期以外の漁船の出入りを妨げない
- ・湖内外の海水交換を妨げない
- ・沿岸漂砂・海浜変形に影響を与えない

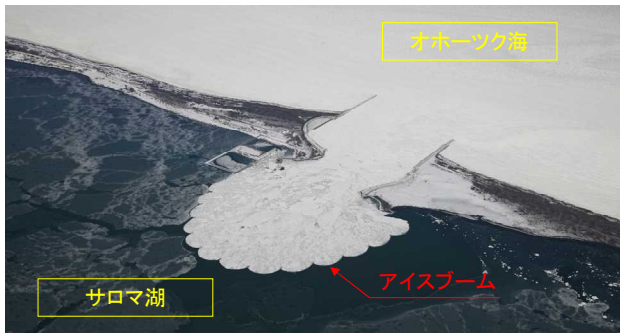


写真-2 サロマ湖漁港（第1湖口地区）アイスブーム

(2) アイスブームの構造

アイスブームは、110m間隔で海底地盤に打ち込まれた14基の固定杭と、その間に設置される浮体式のロープで構成されている(図-1)。

サロマ湖の湖口では、潮汐によって非常に速い潮流が発生し、上げ潮時には湖内へ流水が流入し、下げ潮時に外海へ戻されることを繰り返す。アイスブーム13スパンのうち、この潮流の流軸付近となる7スパン(固定杭No.4~11の区間)を特殊部とし、速い流速によって流水が潜り込むことを阻止するための下部ネットを設置している(図-2)。一方、比較的流速の遅い一般部6スパンでは、下部ネットはなくメインロープとフロートだけで流水を食い止める(図-3)。

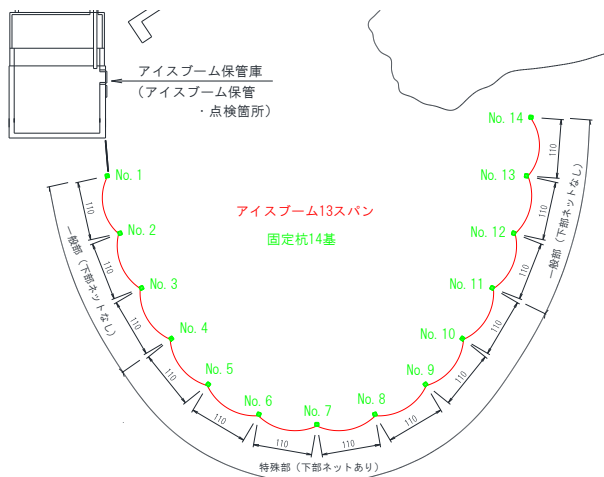


図-1 第1湖口地区アイスブーム平面図

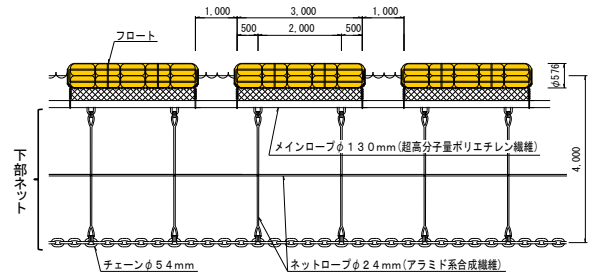


図-2 アイスブーム特殊部(長さ140m)

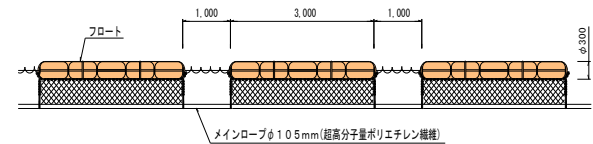


図-3 アイスブーム一般部(長さ130m)

3. 強度試験の方法

(1) 試験の目的

アイスブームのメインロープは化学繊維製であり、建設当初の芯材には「ケブラー繊維」が採用された。その後、耐屈曲疲労性が高い「超高分子量ポリエチレン繊維」が開発されたことを受け、メインロープ更新の際には、「超高分子量ポリエチレン繊維」を芯材とするロープを採用してきた。

「超高分子量ポリエチレン繊維」を芯材とするメインロープが採用された新型アイスブームは、平成20年度より使用されており(特殊部No.6-7)、経過年数は14年(令和4年度現在)である。なお、令和2年度までに特殊部、一般部のすべてがメインロープの更新を終えている。

「超高分子量ポリエチレン繊維」を芯材とする新型メインロープは、室内のミニチュアロープでの繰返し屈曲試験の結果から、旧型ロープに比べ耐屈曲疲労性が約2倍優れている結果が得られている。また、新型のアイスブームは、ロープの更新とともにフロートの軽量化、金属製クランプを使用しないフロートやネットとの接続方式を採用することで、さらなる強度低下の緩和が期待できるものである。

しかし、これまで実海域で使用した新型ロープの残存強度試験は行われていないため、強度低下の度合いや、これによるロープの耐用年数が明らかになっていない。このため、新型メインロープの耐用年数推定を目的として、実際に使用しているメインロープによる残存強度試験を実施した。

(2) 試験対象

試験対象を決める条件は以下のとおりとする。

- ① 使用年数が高い(年数が高いほど推定精度の信頼性が高い)
- ② 使用環境が厳しい(環境が緩い場合過大評価とな

る可能性がある)

以上の条件から試験対象ロープは次の2スパンでの使用ロープとする。

対象1: No.6-7 (平成20年製)

新型ロープとしては最も使用年数が長く、使用環境が厳しい特殊部である。

対象2: No.5-6 (平成25年製)

特殊部の新型ロープとしては、上記に次ぐ2番目の使用年数である。

(3) 試験内容と実施方法

メインロープの構造を表-1に、メインロープの表面保護として被覆材の外側に巻く化学繊維ロープである積巻区分を図-4に示す。なお、積巻はロープ損傷の予防と屈曲抑制を目的とした消耗材である。

表-1 試験対象のメインロープの構造

ロープ	材質と構成と役割	
被覆	材質: 耐摩性軟質塩ビ 構成: 被覆 役割: ①外傷(流水等)の防止 ②異物(砂等)の混入防止 ③紫外線劣化の防止 ④ロープの剛性維持	材質: ポリエステル 構成: ブレード 役割: ①被覆が破れたときの外傷や被覆による損傷防止 ②紫外線劣化の防止 ③形状保持
芯層	材質: 超高分子量ポリエチレン繊維 構成: ブレード(2×6) 役割: ①強度母体	

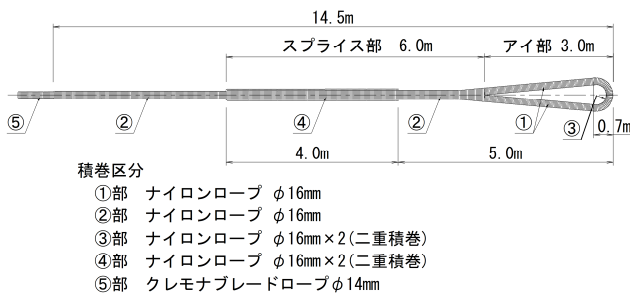


図-4 積巻区分(特殊部)

a) 外観目視調査

搬入したロープの外観を目視調査し、異常箇所があった場合には、その位置を記録するとともに写真撮影する。

外観目視調査は、①被覆材撤去前、②撤去後の中層、③中層撤去後の芯層を対象に実施する。

目視調査の結果は異常箇所ごとに、同位置での状態を対比できるように整理する。

b) テストピースの作成

延長140mのロープ1基から、5本のロープを採取し、テストピースを作成する(図-5)。

TP1とTP5の片端は、既存のアイスプライスをそのまま使用し、それ以外のピース端部は母材と同等以上の強度が得られるスプライス加工(編込み長、編込み角度)とする。

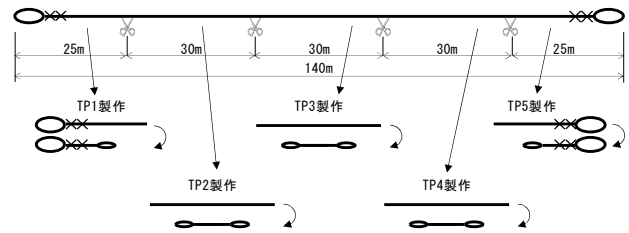


図-5 テストピース作成

被覆材のクラックなど、メインロープに明らかな損傷箇所が存在していた場合には、その位置に応じて、テストピースの採取位置を見直すこととする。

c) 強度試験の実施

使用する引張強度試験機は、能力5,000kN以上を有するものを使用する。

実施前と実施後のテストピースの状況を写真撮影(全景と近景)する。

試験では、破断時の強度を記録するとともに、荷重-伸度曲線から破断時の伸び率を記録する。

4. 強度試験の結果

(1) 残存強度試験の結果

残存強度試験の結果を表-2に示す。

表-2 残存強度試験の結果

対象スパン	試験体	残存強度 T(kN)	保持率
No. 5-6 平成25年製	TP1 (端部)	4,192	85.6 %
	TP2 (中間部)	4,061	82.9 %
	TP3 (")	4,234	86.4 %
	TP4 (")	4,413	90.1 %
	TP5 (端部)	3,921	80.0 %
No. 6-7 平成20年製	TP1 (端部)	4,234	86.4 %
	TP2 (中間部)	3,787	77.3 %
	TP3 (")	4,019	82.0 %
	TP4 (")	3,410	69.6 %
	TP5 (端部)	(1,840)	(37.6 %)

※保持率は呼び強度 4,900kNに対する値

(2) No. 5-6試験の結果

a) 試験体 TP1~TP4

いずれも被覆材に損傷のない健全状態のロープであり、強度保持率は82.9から90.1%の高い値が得られた。

b) 試験体 TP5

試験破断箇所は、被覆材の全周クラックが確認されたNo. 6側から13mの位置ではなく、8m程度に位置する製品端末加工端部(差終り位置)となり、その強度保持率も健全部と大差のない値となった。

(3) No. 6-7試験の結果

a) 試験体 TP1~TP4

被覆材の状態は健全もしくは微小クラックが存在するロープであり、強度保持率は69.6から86.4%の値が得られた。No. 5-6スパンよりも製品が5年古いいため、妥当な保持率と評価できる。

中間部の3試験体 (TP2~TP4) に着目すると、TP2は微小クラックのない健全な状態で、その強度保持率は77.3%である。一方、TP3とTP4には微小クラックがあり、その強度保持率はそれぞれ82.0%と69.6%である。3試験体の強度保持率の値には微小クラックの影響は認められないため、微小クラックの存在は強度低下には影響しないと考えられる。これは過去の知見を裏付けるものである。

b) 試験体 TP5

試験破断箇所は、被覆材の半周クラックが確認された位置ではなく、微小クラックが確認された位置となり、その強度保持率は37.6%と著しい低下がみられた。このことは、微小クラックの強度低下への影響は少ないとした知見に反するものである。なお、被覆材の損傷が軽微であるのに反して、ロープ芯材には顕著なダメージが認められていた。

なお、テストピースが低い張力で破断してしまっただため、被覆材の半周クラックが強度低下に与える影響の度合いは不明である。過去の知見では半周クラックまでは強度低下への影響は小さいと考えられている。

5. メインロープ耐用年数の推定

(1) 推定方法

n_1 年経過後の残存強度を T_{n1} 、年間の強度低下率を x % といし、 n_2 年後の強度 T_{n2} は次式によることとする。

$$T_{n2} = T_{n1} (1 - x/100)^{(n_2 - n_1)} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここに、 T_{n2} : n_2 年後の残存強度 (kN)

T_{n1} : n_1 年後の残存強度 (kN)

x : 年間強度低下率 (%)

$n_2 - n_1$: 経過年数 (年)

上式で、 $n_1=0$ 年のとき、 T_{n1} は初期強度 T_0 であり、 n 年経過後の残存強度 T_n は以下となる。

$$T_n = T_0 (1 - x/100)^n \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに、 T_n : n 年後の残存強度 (kN)

T_0 : 初期強度 (kN)

x : 年間強度低下率 (%)

n : 経過年数 (年)

上式で、2つの異なる経過年数の残存強度から、その期間での年間強度低下率を求めることができ、年間強度低下率が解れば、そこから残存強度 T が設計強度に至るまでの年数を求めることができる。初年度からこれら経過年数の累計を設計耐用年数とする。

(2) 推定結果

No. 5-6のロープでは著しい強度低下はなかった。一方、No. 6-7では、著しい強度低下箇所 (TP5) が確認された。このため、耐用年数の推定は、著しい強度低下箇所の有無による2ケースで実施することにした。推定の結果を図-6に示す。

推定曲線1は初期強度4,900kNから推定することにより、No. 6-7のような局部的に著しい強度低下のあるロープは16年となり、推定曲線2は経過年数の違うロープの残存年数から推定することにより、No. 5-6のような局部的に著しい強度低下のないロープは29~41年となる。

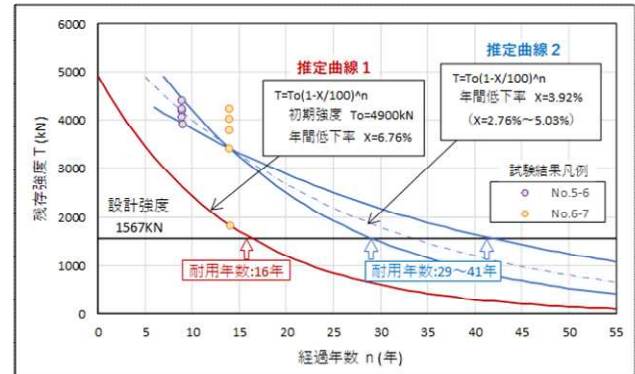


図-6 ロープ耐用年数の推定結果

6. 今後の長寿命化対策

(1) 今後の検討事項

新型アイスブームのメインロープとして採用された「超高分子量ポリエチレン繊維」を芯材とするロープ2本 (経過年数9年と14年) を対象として、その耐用年数推定を目的に残存強度試験を実施した。

結果は、経過9年のロープ (No. 5-6スパン) では5本のテストピースすべてで82.9から90.1%の高い強度保持率が得られ、超高分子量ポリエチレン繊維の優位性を確認することができた。

一方、経過14年のロープ (No. 6-7スパン) では5本のテストピース中、4片では69.6から86.4%と相応の強度保持率が得られたものの、1片 (No. 7側端) で37.6%と極端に低い強度保持率となった。

このため、耐用年数の推定は、局所的な強度低下が存在しないロープと局所的に強度低下が存在しているロープの2パターンを想定して実施した。その結果、推定耐用年数は以下となった。

- ① No. 5-6のような局所的な強度低下のないロープは29から41年
- ② No. 6-7のような局所的に強度低下のあるロープは16年

この結果を受けて、今後必要となる検討を示す。

- ・今後の更新計画策定に当たって、現存するすべてのロープを対象に局所的な強度低下のないロープか、

あるいは局所的な強度低下のあるロープかの判定と分類

- ・局所的な強度低下の存在確認のための調査
- ・局所的な強度低下の抑制対策

(2) 現存ロープの分類

メインロープの設計耐用年数の推定結果は、強度低下のある場合とない場合で異なる結果が得られた。このため、今後の更新計画の策定に当たっては、現存するすべてのロープに対して、今回のNo. 6-7の端部で見られたような局所的な強度低下の兆候の有無を調査する必要がある。

調査の結果、同様の兆候が認められたロープについては、設計耐用年数を16年、認められなかったロープについては、設計耐用年数を29年として、今後の更新計画を策定することになる。

(3) 強度低下の存在確認のための調査

図-7は、ロープ端末の構造である。図中の赤丸で示した箇所が今回No. 6-7で強度低下が確認された位置である。

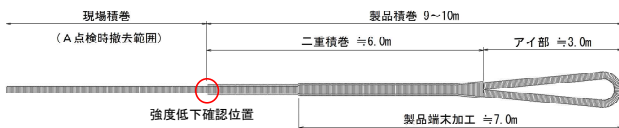


図-7 ロープ端末の構造

他のスパンについても端部構造は同様であるため、全スパンを対象として、積巻（表面保護ロープ）を解体して実施する詳細点検（6年毎）の際に二重積巻端部周辺の積巻も除去し、内部の状態を確認する。

除去した後の被覆材等の損傷の有無、損傷があればその状態を確認し、枕材でロープを浮かし、上から負荷（鉛直集中荷重）をかけた際の屈曲形態を確認する。具体的には鋭角な屈曲（中折れ）が生じた場合には「強度低下の可能性のあるロープ」、緩やかな湾曲状態の場合には「強度低下の可能性がないロープ」に分類する。

(4) 強度低下の抑制対策

強度低下箇所は、二重積巻の端部であるためロープ剛性の変化点になる。このため、図-8に示すとおり、アイスプームが潮位による反転時、蛇行する際になど屈曲集中箇所となっていることが推察される。

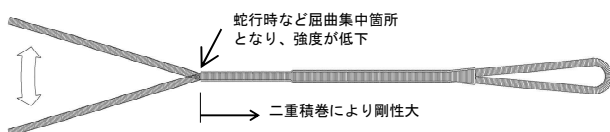


図-8 屈曲集中箇所のイメージ

強度低下を抑制するためには、二重積巻端部での剛性

変化点（＝屈曲集中箇所）を無くすことが必要である。このため、図-9に示すとおり、二重積巻範囲をE2フロート下部位置まで中央側に延長することとする。これにより、剛性変化点はフロート中心の直下となり、屈曲し難い位置となる。

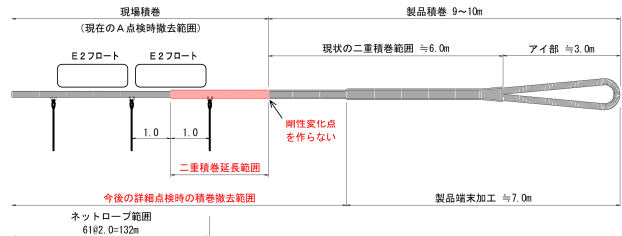


図-9 二重積巻の延長範囲と今後の積巻撤去範囲

また、今後もこの付近での強度低下の兆候を早期発見するために、詳細点検時の積巻除去範囲を製品端末加工位置まで外側に延長し、中折れの有無の確認を行う。

(5) 今後の交換計画

今後のロープ交換対象とその時期は、各スパンのロープに局所的な強度低下箇所があるか否かによるため、先に記載の調査結果により決定する。今回強度低下が顕著であったNo. 6-7の7側端の該当位置は、毎年行ってきた点検調査で平成25と27年度に積巻損傷が確認されており、補修を行った履歴がある。一方、No. 5-6の6側端では同位置での積巻損傷の履歴はない。

平成25と27年度に確認された積巻の損傷が今回の強度低下の兆候を示すものであるかは定かではないが、積巻が損傷を受けたことは、屈曲の繰返しや上部工との接触などでロープがダメージを受けていた可能性がある。なお、特殊部で過去に同位置で同様の積巻損傷の履歴があるのはNo. 4-5（平成30(2018)年製、損傷確認は令和元(2019)年度）である。

一方、今回試験を行った2スパンを除くと最も使用年数が長いロープは一般部のNo. 13-14(平成24(2012)年製)であるが、過去の点検補修履歴によると積巻損傷は比較的少ないロープである。

ロープの強度低下の要因には、①使用年数によるほか、②ロープが受けたダメージの強さとその頻度が挙げられる。このことから、今後のロープ交換対象とその実施時期は表-3によることとし、残存強度試験によりデータを蓄積し、その結果から改めて耐用年数を推定することとする。

表-3 今後の試験と交換計画

Plan 1 : 今後の調査で、No. 13-14に強度低下の兆候があった場合		
対象	理由	試験実施年度
No. 13-14	使用年数が次に長い	令和10(2028)年度(経過16年)
Plan 2 : 今後の調査で、No. 13-14に強度低下の兆候がなかった場合		
対象	理由	試験実施年度
No. 4-5	積巻損傷状況が類似	令和12(2030)年度(経過12年)

7. おわりに

サロマ湖のホタテガイ生産量は1年間で約10万トン、約160億円にもものぼり、日本国内だけでなく海外にも多く輸出され、アイスブームは地域のホタテガイ生産を支える重要な施設となっている。

今後もアイスブームが毎年万全の状態に保たれるよう一層の機能保全に努め、サロマ湖周辺及びオホーツク海域の水産業を支えていきたい。

参考文献

- 1) 角花真記・岩田真・清水敏明：サロマ湖漁港アイスブームにおけるメインロープの破断対策について，第62回北海道開発局技術研究発表会発表論文集，2019.