

特殊型アイスブームの流水制御特性

Characteristics of Drifting Ice Control

Due to Newly Developed Ice Boom

國松 靖*・大久保周一郎**・大久保泰宏***・高橋良正***・佐伯 浩****

Sei Kunimatsu, Syuichiro Okubo, Yasuhiro Okubo, Yoshimasa Takahashi, Hiroshi Saeki

The Okhotsk Sea coast of Hokkaido is covered with drift ice every winter. Pack ice enters the lagoons occasionally. If a large block of pack ice enters a lagoon, it will move around in it and damage scallop, oyster and related culture facilities. Development of technology for preventing intrusion of pack ice into the lagoons is required at all costs to get rid of such damage.

In this paper, the authors report the experimental results of newly developed Ice Boom used under special conditions. The newly developed Ice Boom is easier to repair and to clean up than new type Ice Boom that we have developed. The ice control effect of the newly developed Ice boom is the same or more effective than new type Ice Boom.

Keywords: drift ice, Ice Boom

1. はじめに

北海道のオホーツク海沿岸には、サロマ湖、能取湖等多くの湖沼が存在し、これらはオホーツク海と直接水路で繋がっている。これらの湖沼においては、養殖漁業が活発に行われており、また湖内には多くの漁港が建設されている。なかでもサロマ湖は面積、水深も十分であり、湖内において、ホタテ貝、カキ貝の養殖が大変盛んで、平成元年度には、約31億円の生産量をあげている。

一方、北海道のオホーツク海沿岸には、オホーツク北西海域で結氷した海水が北西の季節風と東カラフト海流により運ばれてくる。この流水の影響を受ける範囲は宗谷岬から知床半島それに根室半島にかけてであるが、根室海峡から流出した流水の一部は襟裳岬まで達することがあるし、宗谷海峡から流出した流水は、利尻・礼文島まで達することもある。サロマ湖付近における流水の接岸時期は年によって異なるが、通常は1月下旬頃である。また、サロマ湖の結氷初日は近年非常に遅くなっており1月下旬から2月上旬となっている。1946年以前においては湖内の結氷初日は12月中旬から下旬であったことを考えると湖内結氷はかなり遅くなっているといえる。流水が来襲したとき、サロマ湖の湖内が充分結氷した状態ならば流水が湖口から湖内に侵入しても湖内の氷盤に阻止され、流水が湖内深く侵入することはない。しかし、湖内が充分に結氷していないと流水が湖内奥深く侵入し湖内を動きまわりホタテ貝、カキ貝およびその養殖施設に多大の被害を与えることがある。サロマ湖内における流水の侵入による被害は1972年以来発生して、1972, 1974, 1975, 1977, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993年と過去10回である。特に1974年には約23億円の被害があった。最近では湖内結氷時期が遅くなり毎年被害を受けており、ここ数年は数千万～数億円の被害となっている。また、能取湖においても同様の被害が起きている。これらの被害をなくすために流水の侵入防止対策が必要となっている。また、これら以外の沿岸部の湖沼であるコムケ湖、瀧沸湖、藻琴湖などでも今後水産関係の開発が予定されており流水対策は緊急の課題となっている。

著者らは湖沼への流水侵入防止施設として、Ice Boomを用いることを考えこれまでに、従来型Ice Boomと新型Ice Boomの制御効果の比較や、サロマ湖第二湖口における流水制御模型実験を行ってきた。本論文では過去の実験結果についても触れるとともに、新型Ice Boomの欠点を改良した特殊型Ice Boomに関する実験について報告する。

2. Ice Boomの設置に際して

実際にIce Boomを設置するためには設置位置における自然状態を把握することが必要である。適したIce Boomのタイプの決定や設計に必要な要素には、設置位置における地形、流況、制御の対象となる流水盤の大きさなどがある。また、Ice Boomに生物が付着したり海藻がからまるといことも考えられるのでこれらについても調査が必要である。

著者らは1992年10月28, 29日にサロマ湖第二湖口、1993年10月20, 21日に第一湖口において、水路部の流速及び

* 正会員 運輸省第二港湾建設局

** 正会員 (株) 竹中土木

*** 学生会員 北海道大学大学院

**** 正会員 北海道大学工学部土木工学科 (060 札幌市北区北13条西8丁目)

湖口より湖内側の流速、流線の調査を行った。サロマ湖の位置を図-1に示す。調査した日のサロマ湖付近の潮差は流水来襲時である1~3月の最大潮差とほぼ等しい。湖口水路部の最大流速は第一湖口が約1.5m/sec、第二湖口が約2.2m/secであった。図-2は第一湖口における水路部の流速が約1.5m/secとなったときの流速ベクトルを示す。図-3は第二湖口における水路部の流速が最大の約2m/secとなったときの流速ベクトルを示す。

また、平成4年3月に宇登呂漁港近辺において接岸している流水盤の大きさを調査した。調査した約2000枚の流水盤の大きさの頻度分布を図-4に示す。流水盤の面積は、一辺が2~4m角の正方形の面積に相当するものももっとも多く、調査した範囲の平均は4.5m角程度となっている。また、厚さについては1993年の下田らの北海道のオホーツク海沖における調査によれば、大きいものでも1m数十cm程度であり平均は54cmとなっている。

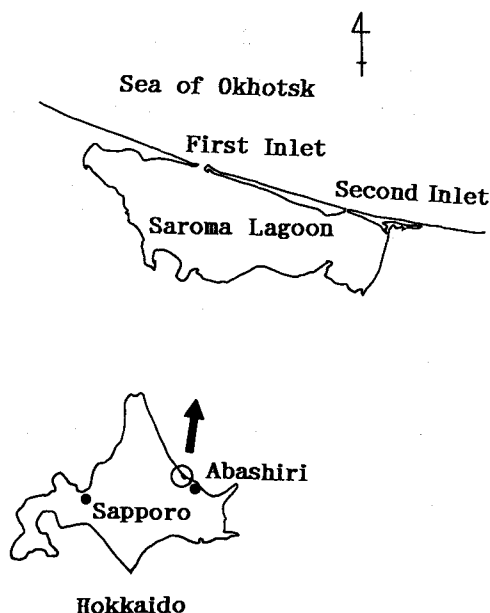


図-1 サロマ湖の位置

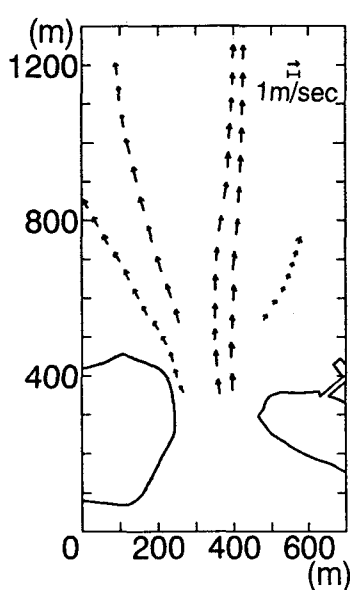


図-2 第一湖口における流速ベクトル

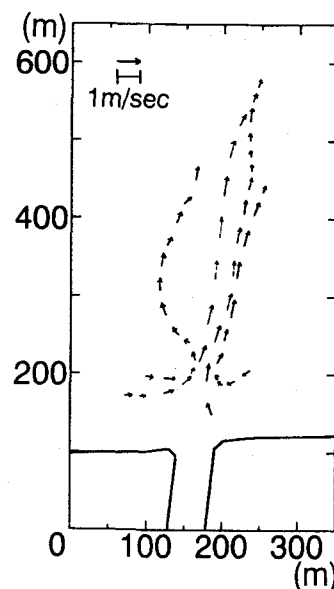


図-3 第二湖口における流速ベクトル

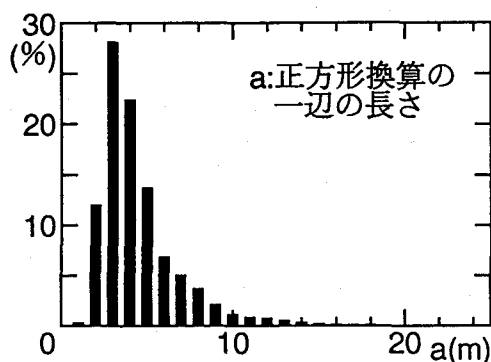


図-4 流水盤の大きさの頻度分布

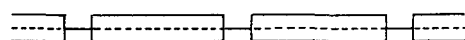


図-5 従来型Ice Boom

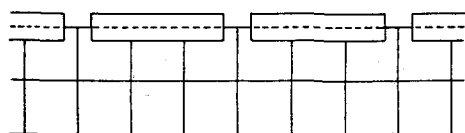


図-6 新型Ice Boom

3. Ice Boom

Ice Boomは米国やカナダにおいて河川の氷盤移動制御に用いられているものである。浮体をワイヤーで連結させ浮体によって氷盤を制御しようとするものである。図-5に著者らが実験に用いたIce Boomの模型を示す。実際には浮体は直径1m、長さ5mの鋼管を用いることを想定している。この従来型Ice Boomの場合流速がある程度大きくなると氷盤は浮体の下から流下してしまう。そこで流速がもっと大きくなった場合でも氷盤制御を可能とするために浮体の下にネットを取り付けた新型Ice Boomを開発した。それを図-6に示す。このネットにより氷盤制御効果を高めることがで

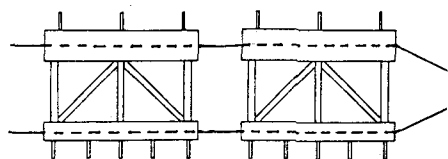


図-7 特殊型Ice Boom

きる。この新型Ice Boomの欠点として、ネット部分への海藻や生物の付着の問題がある。ネットに海藻などが付着すると流体抵抗が増すことになってしまい、また海水交流にも悪影響を及ぼすと考えられる。付着物の除去作業や補修作業を行う場合、ネットが水中にあると非常に不便である。そこで、この欠点を補うために特殊型Ice Boomを試作した。この模型を図-7に示す。この特殊型Ice Boomは湖内へ流入する方向の流速が遅く流氷がないときは図-8(a)のように水平に浮いた状態になっている。流速がある程度速くなったり、流氷がトラップされたりすると図-8(b)のように下部の浮体が沈んでIce Boomは垂直に近くなる。この状態で流入してくる氷盤を制御することになる。そして流れが逆方向になり氷盤が湖外に出ていく時には図-8(c)のように下部の浮体が浮上する。このように特殊型Ice Boomは全体が浮いている状態で付着物の除去作業や補修作業ができるようになっている。3種類のIce Boomについて、長所と短所をまとめたものが表-1である。実際に現地に設置するときには自然条件を考慮して最適なものを選ぶ必要がある。

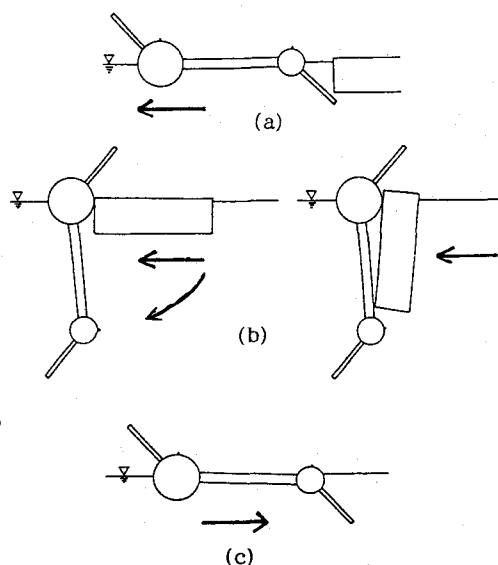


図-8 特殊型Ice Boom

4. Ice Boomの氷盤制御能力

上流側から流れてきた模型氷が浮体に接触すると模型氷は接点を中心として図-8(b)のように回転する。理想的な状態で氷盤の安定は氷盤に作用する力のモーメントの釣合の式によって表すことができる。その釣合式を変形することにより式(1)が得られる。左辺はフルード数に相当し、 Fe で表せる。そして式(1)は式(2)のように書ける。

$$\frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho_w} g h}} = f\left(\frac{h}{L}\right) \quad (1)$$

$$Fe = f\left(\frac{h}{L}\right) \quad (2)$$

ここで、 V :表面流速、 ρ_w :水の密度、 ρ_i :氷の密度、 $\Delta \rho: \rho_w - \rho_i$ 、 g :重力加速度、 h :氷厚、 L :氷盤の代表長さ

この Fe と h/L の関係を用いてIce Boomの氷盤制御能力を表した。

図-9に過去に行った実験から得られた従来型Ice Boomと新型Ice Boomの制御可能領域を示した。丸印は従来型、四角印は新型の実験結果である。それぞれの曲線の下側は氷盤制御の可能な領域を示している。従来型Ice Boomの制御可能領域を示している曲線は氷盤が回転するかしないかの安定限界を示すことになる。この図より新型Ice Boomの方が氷盤制御能力が高いことがわかる。

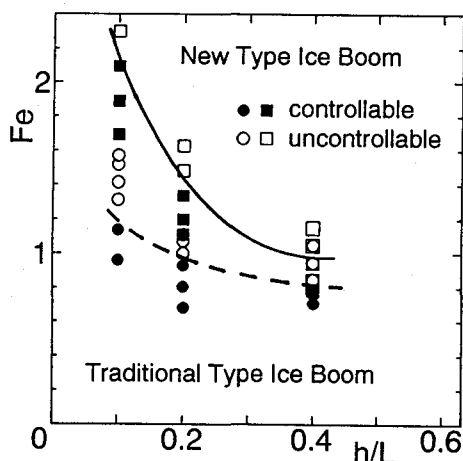


図-9 Ice Boomの制御能力

5. 実験方法

特殊型Ice Boomの実験には図-10に示すような長さ約10m、幅1mの水路を用いた。ポンプの流量を変えることにより流速を変化させることができる。この水路の下流から2.6mのところへ特殊型Ice Boomの模型を取り付けて実験を行った。模型実験の縮尺は現地調査の結果を考慮して1/50とした。図-11に特殊型Ice Boomの模型を示す。上部の浮体は直径2.0cm、長さ10cmであり、下部の浮体は直径1.2cm、長さ10cmである。そして上下の浮体を直径0.4cmの棒で接続してある。浮体の材料は、木であり比重は約0.5であった。実際には上部の浮体には直径1m、長さ5mの鋼管を用いることを想定している。上下それぞれの浮体には図-11に示すように釘を打っ

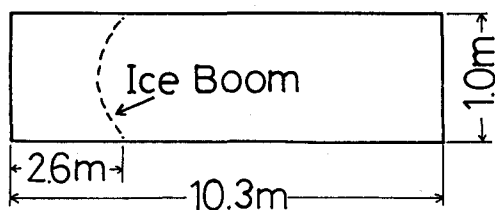


図-10 実験水路

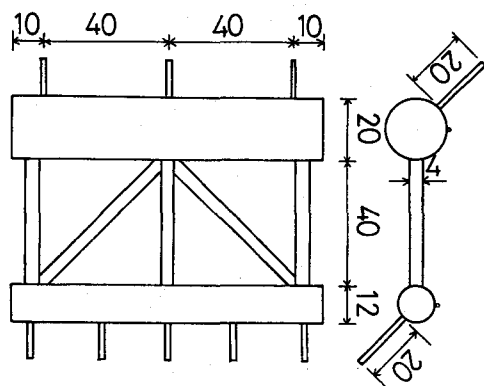


図-11 特殊型Ice Boom

である。これを上部の浮体をつなぐワイヤーと下部の浮体をつなぐワイヤーの2本のワイヤーで図-7のように3cm間隔に連結させた。総延長は113cmである。実験に用いた模型氷はポリプロピレン製(密度:0.9g/cm³)である。一辺10cmの正方形で厚さ1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 6cmのもの(実規模換算で5m角で厚さ50cm~300cm)、直径10cmで厚さ1cm, 2cm, 4cmのもの(実規模換算で直径5mで厚さ50~200cm)、そして一辺21.7cmで厚さ1.5cm, 3cm, 6cm, 9cmのもの(実規模換算で10.9m角で厚さ75cm~450cm)を用意した。これらの模型氷を別々に水路に投入し流下させ特殊型Ice Boomによる制御が可能かどうかをそれぞれの流速について調べた。

6. 結果

今回行った特殊型Ice Boomの実験で氷盤の安定限界を示したものが図-12であり四角印は一辺10cmの正方形氷盤、三角印は一辺21.7cmの氷盤を示している。氷盤が回転しなかったケースは黒印、回転したケースは白印で示した。曲線の下側は氷盤の安定領域を表している。図-9に示した従来型Ice Boomの制御能力を表す点線と比較してみるとほぼ重なることがわかる。図-13に従来型、新型、特殊型の3種類のIce Boomの氷盤制御能力を示した。それぞれの曲線の下側の領域では氷盤制御が可能であることを示している。この結果、特殊型Ice Boomは新型Ice Boomと同等以上の制御能力をもつことが明らかとなった。図-14は円形の模型氷の安定限界を示している。正方形の模型氷と比較して安定領域が大きいことがわかる。この原因は円形の方が流体抵抗が小さいためではないかと考えられる。

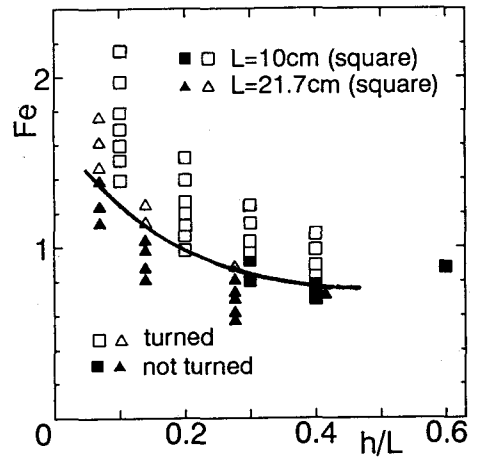


図-12 氷盤の安定

7. 結論

- (1) Ice Boomの氷盤制御能力は Fe と h/L の関係によって表すことができる。
- (2) 特殊型Ice Boomは過去に実験を行ってきた新型Ice Boomと同等以上の氷盤移動制御能力を持つことが明らかとなった。
- (3) 円形氷盤の安定領域は正方形氷盤の安定領域に比べて大きい。

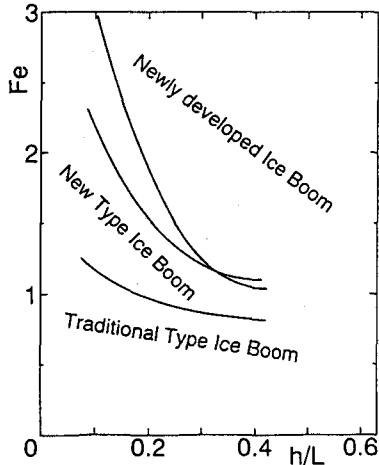


図-13 3種類のIce Boomの制御能力の比較

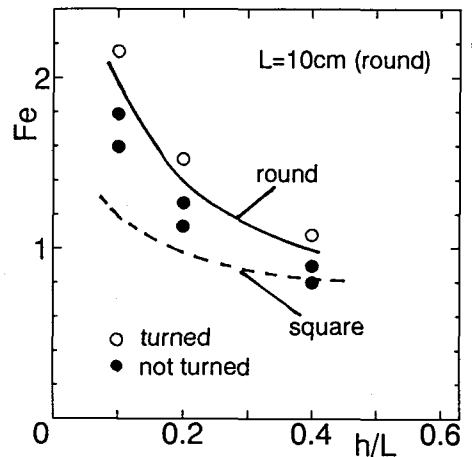


図-14 正方形氷盤と円形氷盤の安定の比較

表-1 3種類のIce Boomの長所と短所

	従来型Ice Boom	新型Ice Boom	特殊型Ice Boom
長所	建設コストが低い 構造が簡単 維持管理が容易 流れに与える影響が小さい 移動が容易	氷盤制御能力が高い 狭い水域での氷盤制御が可能	氷盤制御能力が高い 維持管理が比較的容易
短所	氷盤制御能力が低い	構造が複雑 建設コストが高い 流れに与える影響が大きい 維持管理のコストが高い	構造が複雑 建設コストが高い

参考文献

- 榎国夫・石井千万太郎・國松靖・佐伯浩(1992): Ice Boomによる氷盤移動制御, 海洋開発論文集, Vol. 8, pp. 153-158.
- 榎国夫・田淵浩文・國松靖・佐伯浩(1992): 氷海域における氷盤移動制御に関する研究, 第11回海洋工学シンポジウム論文集, pp. 287-293.
- 國松靖・原文宏・高橋良正・榎国夫・佐伯浩: オホーツク海沿岸部の流水盤の大きさに関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 9, pp. 95-100.
- 笹島隆彦・安田修・榎国夫・國松靖・岡本智・佐伯浩(1992): 寒冷地の港湾, 湖沼における流水の制御対策について, 海洋開発論文集, Vol. 8, pp. 159-163.
- 笹島隆彦・安田修・榎国夫・國松靖・原文宏・佐伯浩(1992): 湖沼へ流入する流水の制御法について, 第8回寒地技術シンポジウム論文集, pp. 394-399.
- 榎国夫・國松靖・原文宏・藤井綱男・佐伯浩(1993): サロマ湖口における流水侵入防止に関する模型実験, 海岸工学論文集, Vol. 40, pp. 1026-1030.
- 下田春人・吉田三雄・金田成雄・村本健一郎(1993): 巡視船"そうや"によるオホーツク海流水観測, 第9回Symposium on Ice, Vol. 1, pp. 298-308.
- US Army Corps of Engineers(1990): Engineering and Design-Winter Navigation on Inland Waterways
- Enoki, K., Kunitatsu, S., Hara, F., Fujii, T., Saeki, H. (1993): Model Tests on Controlling Ice Floes Movement at the Inlet of the Saroma Lagoon, Proc. The 12th International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, Vol. 2, pp. 651-660.