

新型 Ice Boom による氷盤移動制御

大島 静夫・草薙 稔*・大門 直樹*・榎 国夫

Control of the ice floes movement by using new type Ice Boom

Shizuo OHSHIMA, Minoru KUSANAGI, Naoki DAIMON and Kunio ENOKI

(1996年11月30日受理)

The authors carried out a model study to evaluate the effects for control of ice floes movement by two kinds of Ice Boom (traditional Ice Boom and new type Ice Boom) and to investigate the ice floes acted upon them. Through these systematic experiment, the authors obtain the following results.

- (1) The effect of sea ice control determined by a function of Fe and h/L (Fe : Froude number; h : ice thickness; L : representative length of ice).
- (2) In practical situation, if the traditional type Ice Boom can control ice floes of up to 70 cm/sec velocity, the new type Ice Boom can control ice floes of up to 145 cm/sec .
- (3) Ice forces can be calculated from the area of ice floes trapped by Ice Boom, roughness coefficient of ice cover and velocity.

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、コケム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、水産関係の養殖が活発に行なわれており、また湖内には多くの漁港が建設されている。最近の沿岸域開発に伴い、これらの湖沼の水産、観光面の開発ポテンシャルは年々高まっている。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。この流氷の北海道のオホーツク海沿岸への着岸時期は年によって異なるが、通常は一月下旬頃である。このとき、湖内が充分結氷した状態ならば流氷が湖口から湖内に浸入しても、結氷した氷盤に阻止され、湖内深く浸入することはない。しかし、最近では気温の上昇もあり湖内の結氷時期が遅れ、流氷の接岸時には、まだ湖内はほとんど結氷していない年が多くなり、流氷が湖内

奥深く浸入し、ホタテ貝、カキ貝およびその養殖施設に多大（特に、昭和49年には20億円を超え、最近では数千万円程度）の被害を与えることが心配されている。このため、湖内への流氷浸入に対する防止策が急務とされている。

2. 移動する氷盤の制御技術

これまで移動する氷盤の制御方法として、以下のものが開発され、また提案されている。

- 着底式および固定式…Pack Ice Barrier, HITS, Ice Braker Frame, Three Legged Pack Ice Barrier
- 浮体式…浮体式防氷堤

現地、サロマ湖口等においては流氷来襲時以外は漁船等の航路として用いられ、船舶の出入りが非常に活発である。従って、氷盤移動の制御構造物は、季節ごとに、設置したり、取り外せる方式が望まれている。また、湖口部には海底地形の変化が激しいので標砂に影響を与えない構造形式が望ましい。このため、設置や取り外しが簡単で耐久性があり、設置点において、波と流れの影響等々を考慮すると、

* 秋田高専卒業生

先に挙げた固定式や浮体式では上記の要求を満たすことができず、アメリカやカナダにおいて河川の氷盤移動の制御に用いられる Ice Boom がほぼ現地の要求を満たすことに着目し、この Ice Boom を対象に氷盤移動の制御効果を調べるとともに氷盤移動のメカニズムを明らかにして、それによる流水制御の可能性を実験的に調べた。さらに、Ice Boom の氷盤移動の制御効果を高めるため、従来の Ice Boom にネットを取り付けた新型 Ice Boom を開発し、その制御効果並びにそれに働く環境力を調べた。

3. Ice Boom の実験方法

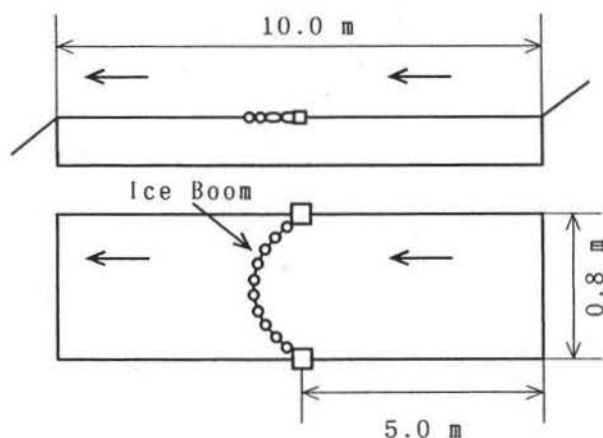


図1 Ice Boom 実験水路

実験に用いた水路は図1に示すように長さ10 m、幅0.8 m のものである。この水路中央部に、直径1.0 cm、長さ5.0 cm のビニールパイプを浮体とし、これを1.0 cm 間隔にワイヤーに固定した従来型 Ice Boom を接続し、実験を行なった。また、模型氷は実際の氷と同じ密度の0.900 gf/cm³ のポリプロピレンを用いた。この板同志の動摩擦係数は、乾燥状態では0.18、水中では0.15であり、これは氷相互の動摩擦係数の0.1~0.2とほぼ同じであった。模型氷の形状は50 mm 角の正方形で氷厚は5 mm、10 mm、20 mm の3種類を用いた。実験はフルード則に従って1/100の縮尺で行なっているため、実規模に換算すると、大きさは一辺5.0 m の正方形で厚さはオホーツク海の平坦氷の厚さである50 cm、100 cm、200 cm に相当する。これを Ice Boom の設置点より5 m 上流の地点で投入した。実験で用いた流速は4.75 cm/sec~16.32 cm/sec で、この間で12段階の流速を用いている。この流速は実規模で47.5 cm/sec~163.2 cm/sec に相当する。

4. 従来型 Ice Boom の氷盤移動制御特性

実験結果より、以下のことが判った。(1)氷厚の厚いものほど制御されやすい。(2)氷盤は、流速が70 cm/sec を境に、それよりも大きくなると Ice Boom の浮体と氷盤の接触点をヒンジとして水中に向かって回転し、Ice Boom の下から下流側へ流出していくことが観察された。このメカニズムを考察してみる。

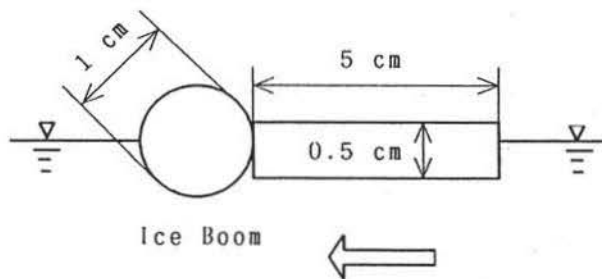


図2 模型氷に作用するモーメント

図2は Ice Boom の浮体に模型氷が接触した状態を描いている。このとき、模型氷に作用する力は、重力、掃流力、摩擦力、浮力、揚力が考えられる。これらの力をモーメントにより、模型氷は浮体との接触点を中心に回転運動を起こすと考えられる。しかし、この中で揚力によるものは他のものと比較して十分小さいと考えられるので、結局模型氷に作用するモーメントは以下の式で表される。

$$C_D \rho_w \frac{V^2}{2} h L \frac{h}{2} + C_f \rho_w \frac{V^2}{2} L^2 h - (\rho_w - \rho_i) g L^2 h \frac{h}{2} = 0$$

ここで

L: 模型氷の長さ、 ρ_w : 水の密度 ρ_i : 氷の密度
 V: 表面流速 C_D : 抵抗係数 h: 模型氷の厚さ
 C_f : 摩擦係数 $\Delta\rho$: $\rho_w - \rho_i$

上式は

$$V^2 (C_D \rho_w h^2 \frac{L}{2} + C_f \rho_w L^2 h) = (\rho_w - \rho_i) g L^2 h L$$

$$\therefore \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho_w} g h}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2} C_D \left(\frac{h}{L}\right)^2 + C_f \left(\frac{h}{L}\right)}}$$

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

で表される。上式の左辺はフルード数に相当するので

$$F_e = f \left(\frac{h}{L}\right) \dots(2)$$

とも表し得る。実験結果をフルード数： F_e と h/L とでプロットしたものが図3であり、図中の曲線が上式(2)と良く一致しているのが判る。

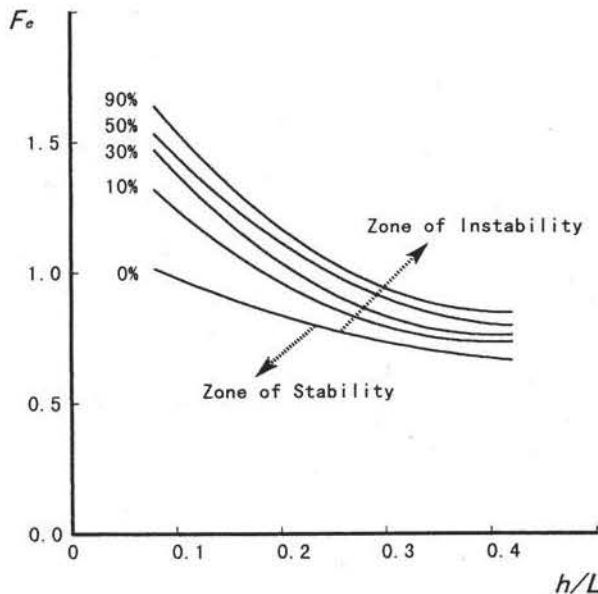


図3 Ice Boom (Cylinder Type) の制御効果

0%より下の領域では100%氷盤がIce Boomによって制御されている訳である。

5. 新型 Ice Boom の氷盤制御特性

従来型 Ice Boom を用いた場合、流速が大きくなると氷盤に作用する流体力が増し、氷盤とIce Boomの接触点をヒンジとして、氷盤が水中に向かって180°回転してIce Boomの下流側に出ていくのが観察された。氷盤が回転流出するのを防ぎ、制御効果を挙げるためには回転を阻止する必要がある。この回転を阻止するために、従来型 Ice Boom の下にネットを取り付けたものが新型 Ice Boom の特徴であり、これを図4に示す。

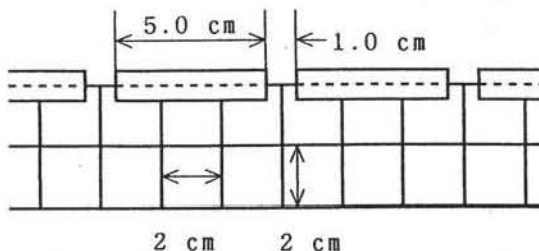


図4 新型 Ice Boom の模型

ネットのサイズは一辺 2 cm の正方形で、これを二段にしたものをIce Boomのワイヤーに取り付け

た。従って喫水深： $d = 4 \text{ cm}$ であり、 $d/L = 0.8$ で表される。また、ネットを取り付けたことによって氷盤移動の制御効果の大幅の増加が考えられ、これによる流体力も当然大きく増加することになり、この値をIce Boomの両端にロードセルを接続し、氷力の変化も測定可能にした。実験結果を前出のフルード数 F_e と h/L (h : 氷盤の厚さ、 L : 氷盤の長さ) とで表すことにする。ここでは、新型 Ice Boom と従来型 Ice Boom の氷盤制御効果の比較を行ったのが図5である。

それぞれの曲線は氷盤を制御できる範囲とできない範囲の境界を示している。曲線の下側は氷盤を完全に止めることのできる範囲であり、線の上側は氷盤の一部が流出してしまう範囲である。この曲線が上にあるほど制御効果が高く、速い流速でも制御できるということである。新型 Ice Boom は従来型 Ice Boom に比べ制御効果が二倍以上あることが判る。しかも、氷盤の厚さには関係無く効果があった。

6. 新型 Ice Boom に作用する環境力

環境力とは、氷盤の置かれている環境によって生じる力のことで主に水による流体抵抗と風によるせん断力とが考えられる。氷力とは環境力が氷盤に作用することによって生じる力である。ここでは、水による流体抵抗によって新型 Ice Boom に働く氷力について実験を行った。

図6は各流速における模型氷による水面の被覆面積と $d/L = 0.8$ の新型 Ice Boom に働く氷力の関係を示している。

流速10.33, 11.61, 12.46, 13.63 cm/sec の範囲では流れてきた模型氷が重なり合うことや、回転してネットに垂直に立つことはほとんどなく、模型氷と覆われる水面の面積の増加に比例してIce Boomにかかる氷力が増加していることから、これは、模型氷に働くせん断力に支配されていると考えることができる。

流速が14.48 cm/sec では、最初に流れてきた模型氷が互いに重なり合うのが少し見られた。図6のグラフより、この流速の範囲では0枚から180枚においてIce Boomに働く氷力の増加は、流速10.23~13.63 cm/sec における増加よりもはるかに大きい。これは、模型氷が浮体に接触し、回転して垂直にネットに張り付いたり、重なり合ったりすることによって、模型氷に働く掃流力の影響が大きく表れたものと考えられる。180枚以降はさらに模型氷を流し続

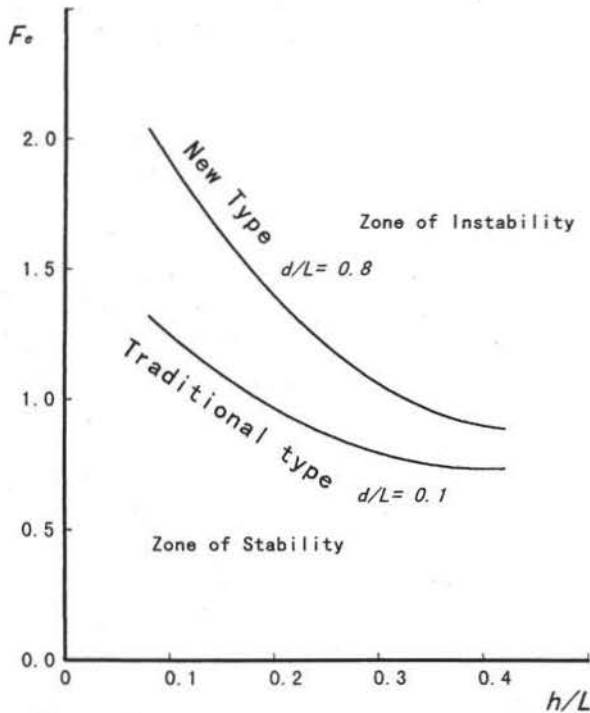


図5 新型 Ice Boom の制御効果

けても、重なり合うことはほとんどなく、せん断力のみが増えている。流速16.32 cm/sec のときには、多数の模型氷が回転して垂直にネットに張り付き、後から流れてくる模型氷は重なり合って Ice Jam 状になった。氷力が急激に大きくなったのは、Ice Jam による断面形状の変化とネットへの張り付き、流速の相乗効果により、掃流力の影響がとても大きく働いたためであると考えられる。

次に図6において、氷力の増加がせん断力の増加のみに依存していると考えられる部分から、各流速における模型氷に働くせん断応力： τ を求めたのが図7である。

この図から、せん断応力はおおむね流速の2乗に比例していると見ることができる。これは、壁面のせん断力を表す式

$$\tau_w = \left(\frac{\rho_w}{2}\right) \times C_f \times V^2$$

(ここで V : 流速 ρ_w : 氷の密度, C_f : 氷と氷との間の摩擦係数) の関係を示していると考えられる。また、各流速におけるデータから個々に摩擦係数を計算し、流速で整理すると図8のようになり、流速10.23~13.63 cm/sec の範囲では流速への顕著な依存は見られず、氷盤が安定した状態ならば、摩擦係数はおよそ 2.3×10^{-2} となった。

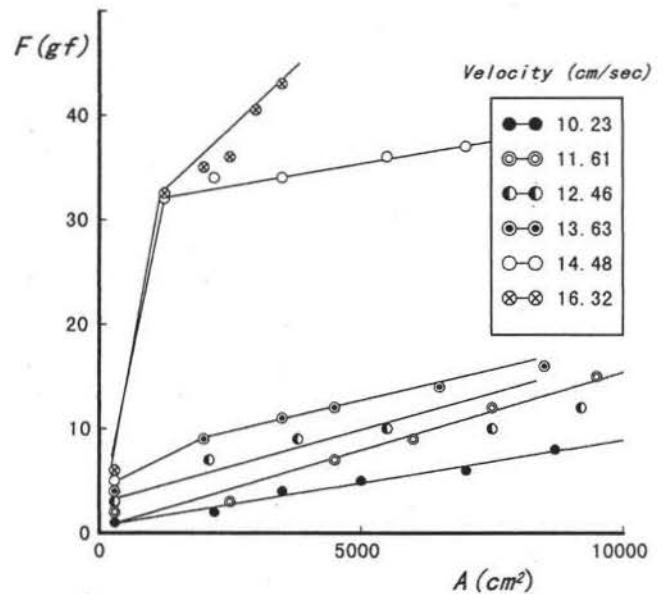


図6 模型氷による水面の被覆面積と Ice Boom に作用する力

7. 結 論

以上、述べたきた結果をまとめると

1. 新型 Ice Boom の制御効果は従来型に比して、氷盤のサイズに関係無く、2倍以上高まることが明らかになった。
2. 新型 Ice Boom による制御限界は流速で14.48 cm/sec, この場合ワイヤーにかかる氷力は180 gf であり、これを実規模に換算すると流速は145 cm/sec であり、氷力は180 gf に相当する。
3. Ice Boom に加わる氷力は流速により、せん断力の卓越する領域と掃流力の卓越する領域とが存在する。これらからせん断応力と流速との関係を調べ、摩擦係数 C_f を求めることができた。
4. 新型 Ice Boom を現地に設置するには、湖内の流速分布、深浅測量、湖内における潮汐の変化、氷相互の Arching 現象をさらに調べていきたい。

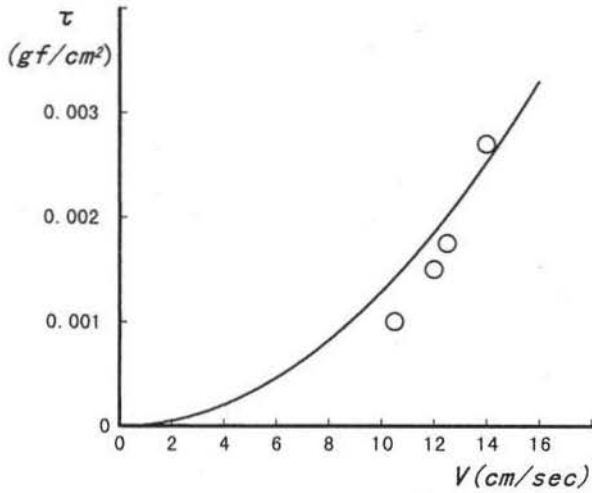


図7 流速とせん断応力

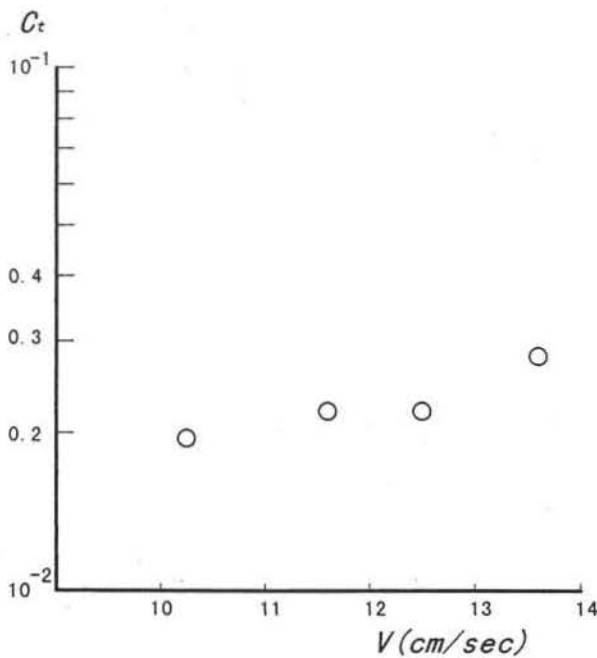


図8 流速と摩擦係数

参考文献

- [1] 今泉 章, 榎 国夫, 佐伯 浩: 「氷盤移動制御用 Ice Boom の設計について」, 第7回寒地技術シンポジウム Vol. 7, pp. 664~649, 1991
- [2] 榎 国夫, 石井千万太郎, 国松 靖, 佐伯 浩: 「Ice Boom の氷盤移動制御」, 海洋開発論文集 Vol. 8, pp. 153~158, 1992
- [3] Kunio Enoki, Sei Kunimatsu, Hiroshi Saeki: "Experimental Study on the control of Ice Movement with a new Design of Ice Boom" ,Proceedings of the 3rd International Offshore and Polar Engineering Conference Vol. 2, pp. 730-735, 1993
- [4] 菊池秀達, 真坂明義, 榎 国夫: 「Ice Boom による氷盤移動制御に関する実験的研究」, 秋田工業高等専門学校研究紀要 第30号, pp. 202~208, 1994
- [5] 原文宏, 佐伯 浩, 榎 国夫: 「橋脚形状が氷盤のアーチ形成に及ぼす効果に関する研究」, 水工学論文集 Vol. 39, pp. 607~612, 1995