

浮沈式アイスブームの現地実験

Field Experiments on Sink-and-Float Type Ice Boom (SFIB) In Saroma Lagoon

佐伯浩¹・川合邦宏²・渡部靖憲³・橘治国³・今泉章²・松尾優子⁴

Hiroshi SAEKI, Kunihiro KAWAI, Yasunori WATANABE,
Harukuni TACHIBANA, Akira IMAIZUMI, Yuuko MATSUO

¹フェロー会員 工博 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²正会員 (株)西村組 (〒094-0012 北海道紋別市新港町2丁目)

³正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁴学生会員 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

This is a report on the results of experiments aimed to clarify the optimal section form of sink-and-float type ice boom(SFIB) which may prevent SFIB from becoming buried in sand when it sinks and on the results of in site tests at Saroma Lagoon which is located on the Okhotsk sea coast of Hokkaido.

Key Words :ice management, ice boom, sink-and -float type ice boom, sea ice.

1. 緒論

オホーツク海沿岸の湖沼や港湾・漁港においては、冬期来襲する流水を制御することは、流水による養殖水産資源や養殖施設の被害防止、港湾・漁港の通年有効利用の観点から非常に重要である。特に、養殖漁業の盛んなサロマ湖や能取湖においては養殖施設等への被害防止が重要であるし、稚内港や根室港花咲地区では流水の港内侵入防止が重要となる。また、冬期港内が結氷する紋別港、網走港等では、将来サハリン島から、オホーツク海北部海域での石油・ガス開発が進展すると、その地域との物流のため通年港湾機能を維持することが必要となり、港内結氷防止とともに流水制御が重要となる。また、それとともに原油等の生産施設やパイプラインそれにタンカー等からの流出事故の可能性も高まることになり、効率的な流出油の回収のため北海道のオホーツク海沿岸に位置する港湾等の通年機能維持が重要となる。

湖沼内への流水侵入を制御するため、すでにサロマ湖の湖口部に7スパンの特殊型アイスブームと6スパンの通常型アイスブームが設置され、流水侵入を効果的に制御している。これは、両端が固定された特殊ケーブルに防食被覆された鋼製フロートを多数取り付け付けた構造となっていて、特殊型はそのケーブルの下に2メートルメッシュのスチールワイヤーネットを取り付けたものを基本構造としたもの

で、その概略図を図-1に示す。建設されてから6年以上を経ているが、その経験から以下のような問題点が指摘される。

①冬期の湖内結氷の関係から12月中旬にアイスブームを設置し、翌年4月に撤去する。湖口部外海に流水が接岸し、かつ湖内が結氷している間以外は、波浪による浮体の動揺に伴い、浮体とメインケーブルの連結金具の磨耗が激しい。

②湖口部近傍は潮汐による流れが厳しく、アイスブーム設置地点でも最大1.0~2.0ノットあるため、潮止りを待って、アイスブームの設置・撤去を行う必要があり、設置・撤去にそれぞれ1週間程度を要する。

③流水が去った後、アイスブームを撤去し曳引して、砂浜海岸に12月まで仮置きする。この時、砂浜を引きずって陸揚げするため、メインケーブルや防食被覆材等の破損も起こり易い。

④上記の課題を解決するために、アイスブームの保管庫が建設されつつある。これは、アイスブームへの付着生物に対する対応と、アイスブームの補修の機能も有している。しかし、この保管水域は閉塞した水域となっていており、水域内が結氷し始めるとアイスブームを取り出せなくなるため、少なくとも12月中には所定の場所に設置する必要がある。そのため、アイスブームは長期間波浪にさらされることになる。

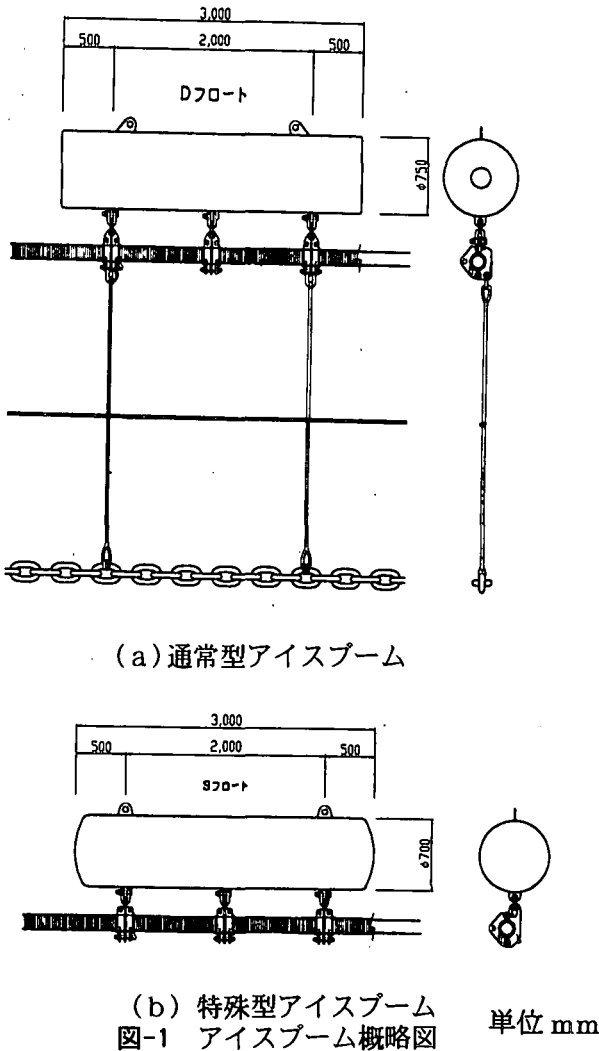
著者の一人、佐伯等は港湾への流水侵入防止を目

的とした浮沈式アイスプーム (SFIB) を開発し、それに対する基礎実験を行っている。このアイスプームは、港湾等のように船舶の航行が活発な水域での流水制御を目的としたもので、メインケーブルに取り付けられたフロートへ海水や空気の出し入れが可能となっているもので、流水侵入を防止する時は、フロート内に空気を送り込み、アイスプームを浮かした状態にしておき、船舶が通過するときは、フロート内の空気を抜き海水を入れることにより、アイスプーム全体を海底に沈める構造をしている。よって、流水の影響を受けない時期は海底に存在するため、保管のための施設も必要としないし、波浪

の堆砂の観察を行った。さらに、保管施設内に浮上状態でフロートを設置し、4ヶ月間観察した結果を明らかにしたものである。

2. 新断面を有するフロートの波浪による埋設及び移動実験

港口部近傍の波は、進行波である入射波に防波堤堤頭部からの散乱波それに港内からの反射を受け、複雑な波浪場となる。また、湖口部湖内側では流れと進行波の影響を受けることになる。本実験では現地現象を単純化して進行波と重複波それに流れ場での実験を行った。用いた水槽は長さ24m、幅0.8m、深さ0.8mの両面ガラス張り鋼製造波水路である。水路底に厚さ20cm厚に平均粒径0.16mmの細砂をしき、その砂面上に模型の浮体を並べて実験を行った。模型浮体は図-2の現地実験用模型の1/20で行った。



にさらされる期間も極めて短いため、フロートとケーブルの接続金具等の磨耗量も少なく押えることが可能である。当然のことながら、この施設は港内や湖沼内への流水侵入を防止できることは勿論のこと、船舶の航行の支障にもならず、内外海水交換への影響も少なく、景観への影響も小さい。本研究は、著者の一人、佐伯等が提案したNACAのデータに基づく翼形断面のフロートを、改良して、海底沈設時の漂砂等による埋没に関する実験を行い、翼形断面との比較を行うとともに、実物の75%の模型を制作したものをサロマ湖に沈設し、その上面へ

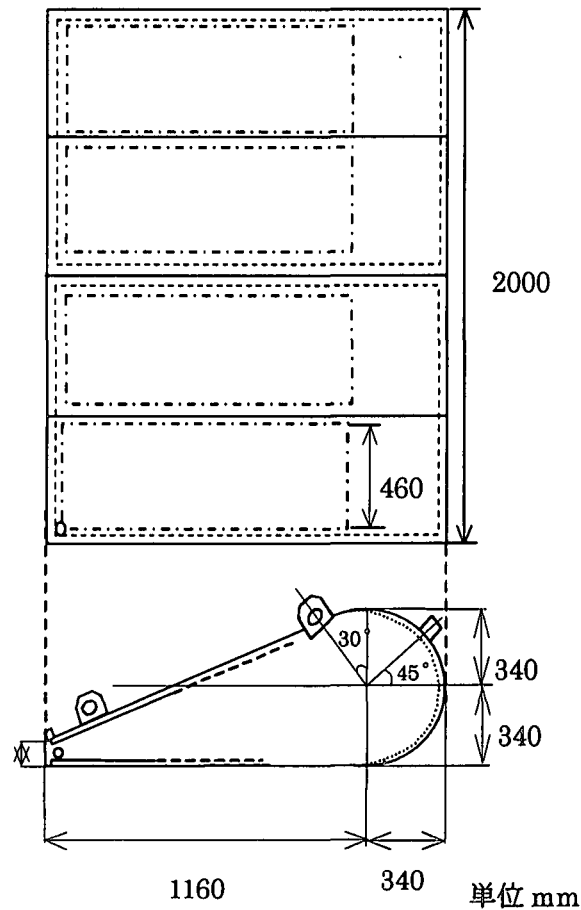


図-2 現地実験浮体の断面図

水深は30cmとし、波の周期は1.34、1.79それに2.24秒とした。波高は周期によって異なるが20cmと25cmとした。また、模型の比重はフロート内が完全に海水で満たされた条件に近い1.7として石膏で作製した。また、重複波の場合は節と腹の位置において実験を行った。実験の結果を表-1に示す。

表-1 フロート上の無次元堆砂重量

周期 (秒)	波高 (cm)	無次元堆砂重量 $W_s/V_0 \cdot \omega_w$		
		進行波	重複波	
			節	腹
2.24	25	0.032	0.025	0.037
1.79	25	0.055	0.033	0.070
1.34	25	0.025	0.010	0.033

浮体の全体積を V_0 とし、海水の単位体積重量を ω_w 、フロート内を完全に空気で満たした時の海面上に出る部分の体積比を $K\%$ とし、砂の単位体積重量を 2.6 gf/cm^3 とすると、水底にあるフロート上に堆積した砂の空中重量を W_s とすると、水底にあるフロートに空気を満たした時のフロートの海面への浮上の条件は次式で示される。

$$\frac{W_s}{V_0 \cdot \omega_w} < \frac{K}{61.5} \quad (1)$$

この時の浮体の空中重量 W_0 は次式で示される。

$$W_0 = \left(1 - \frac{K}{100}\right) \cdot V_0 \cdot \omega_w \quad (2)$$

また、海水で満たされた水底のフロートが流れによって移動しないための条件は、鋼材の単位体積重量を ω_s とし、フロートと海底の静止摩擦係数を μ 、流速を U 、流れ方向からの投影面積を A とし、抗力係数を C_D とすると次式で示される。

$$\frac{\omega_w}{2g} \cdot C_D \cdot A \cdot U^2 < \mu \left\{ \left(V_0 - \frac{W_0}{\omega_s} \right) \cdot \omega_w + W_0 \right\} \quad (3)$$

フロート上への砂の堆積についての実験では、式(1)を満足すれば、フロート上面で砂が堆積しても、空気を注入することにより浮上が可能である。水面に位置している時フロート体積の20%~30%であれば、流水の制御が可能であるし、また、固有振動周期も波の周期に較べて小さく、安定して水面に存在することが可能となる。 $K=20\%$ で無次元堆砂量は0.33、 $K=30\%$ で0.49となり、それ以下であれば浮上が可能となるが、表-1からも明らかなように進行波に対してもまた重複波に対しても充分浮上可能となる。また、この時の模型フロートの近傍ではフロートの端部では海底で若干洗屈傾向が見られるものの大きな海底変状はみられなかった。また、波力による模型フロートの動揺・移動についても調べたが、進行波、重複波に限らず全ての条件で移動は発生しなかったし、動揺すら起こらず非常に安定していた。著者の一人佐伯等は、翼形断面フロートの堆砂量及び移動の実験を行っているが、それらに較べて無次元堆砂量はかなり少なかった。その理由はアスペクト比が大きくフロート上面の勾配が翼形断面フロートのそれと較べて大きいことによるものと考えられる。

次に流水中でのフロート上への堆砂実験を行った。平均流速を10, 15, 20, 30cm/秒の4種類で実験を行った。フロート上面の砂の堆積は全く見られな

かった。また、フロート近傍の海底変状は流速が速くなると端部近傍と背面に若干の洗屈が見られたもののフロートの安定に影響を及ぼすような状況ではなかった。以上の結果より、図-2に示す断面形状のフロートを用いたアースプームにより、流水侵入制御が可能であるとともに、海底存在時にも、その上面への砂の堆積により浮上ができなくなるということはない事が実験的に示された。よって、図-2の断面形のフロートに関して現地実験を行った。

3. 新断面フロートの現地実験

(1) 調査の内容

図-2に示す型状の鋼製フロートを3個製作し、北海道のオホーツク海に面するサロマ湖、湖口部左岸に位置し、現在建設中のアイスプーム保管庫の近くで以下に示す2つの現地実験を行った。現地実験の場所は図-3に示す。フロートは保管施設の中と外である。

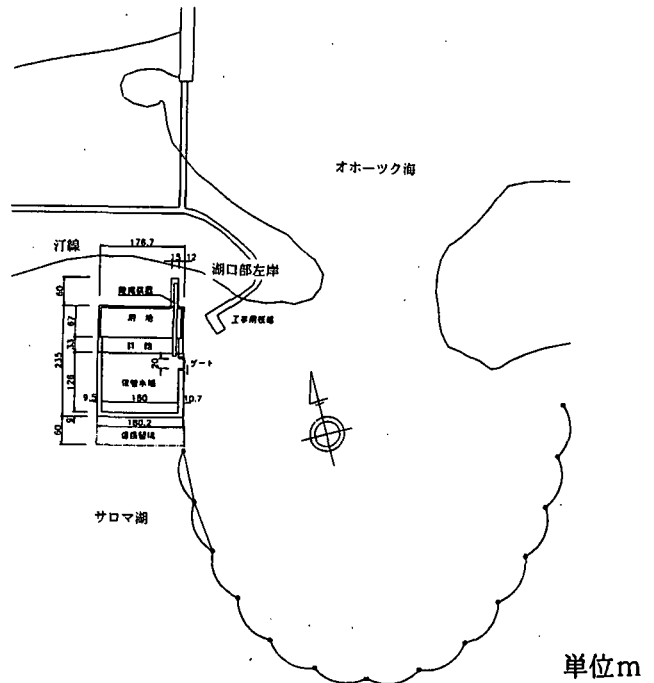


図-3 アイスプーム保管施設位置図

a) 現地海岸におけるフロート沈設時のフロート上面への砂の堆砂状況を調べるため、2個のフロートを海底に置いた。フロートの設置位置は、図-4に示す保管施設の外側のA点とB点である。この地点は、南南西からの風が多いことから、A点は保管施設の外郭施設の前面で重複波の影響を受ける水域で、外郭施設から10mはなして設置した。この地点の水深は約6.0mであった。またB点は外郭施設から西側に15m離れていて汀線からも250m離れた地点で水深約6mで、進行波の影響が強い水域である。

b) 保管施設内のC地点には、フロートに空気を満たし浮かべて設置した。この施設は未だ建設中でゲートは設置されていないため、若干の波浪は入射

しているが比較的静穏な水域である。この実験の目的は、気温変化によるフロート内空気の膨張・収縮によるフロート内の空気の漏れと動揺の影響による空気の漏れを調べることと、冬期施設内が完全に結氷しその水温変化による氷盤の膨張・収縮がフロートに与える影響を調べことを目的としている。また保管施設の内側、外側とも海底の砂の平均粒径は2mm程度であった。

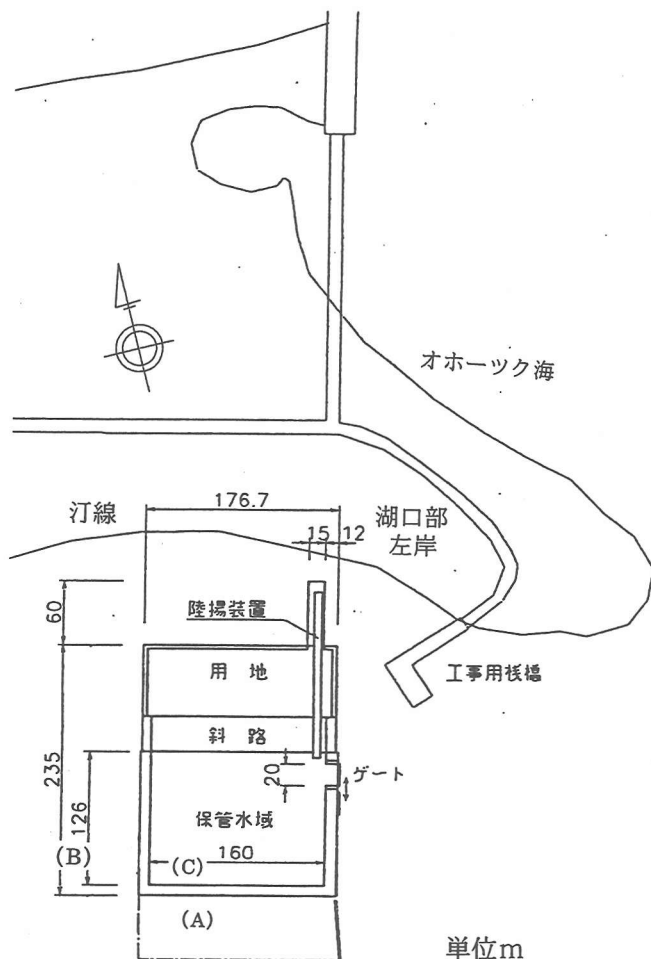


図-4 現地実験位置図

その他エアコンプレッサーと真空ポンプを用いて、フロートの沈没、浮上に関する実験もあわせて行った。また冬期は積雪も多いことから、積雪の影響も同時に調査した。図-5は設置する前のフロートの写真を示す。フロートの上面には、メインケーブルとサブケーブルの固定金具が設置されている。また浮上時の上端と下端に位置するノズルは、上端のノズルについては空気の出し入れ用で、メインエアホースと接続され、下端のノズルは海水の出入口となっている。図-6は外郭施設前面海域（重複波の影響水域）に真空ポンプでフロート内の空気の抜きつつあるところ、フロートが徐々に沈んでいる様子を示したものである。図-7は保管施設内C地点で浮かべた状態を示している。流出しないようロープに固定して放置しておいた。

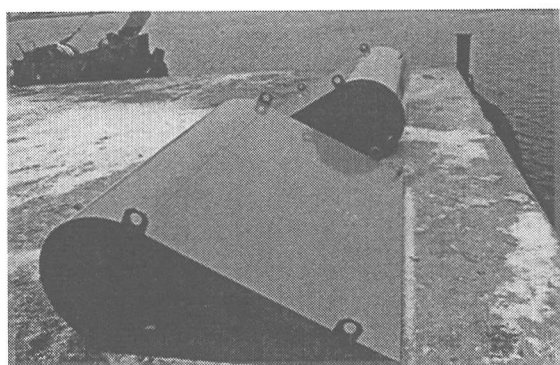


図-5 設置前のフロート

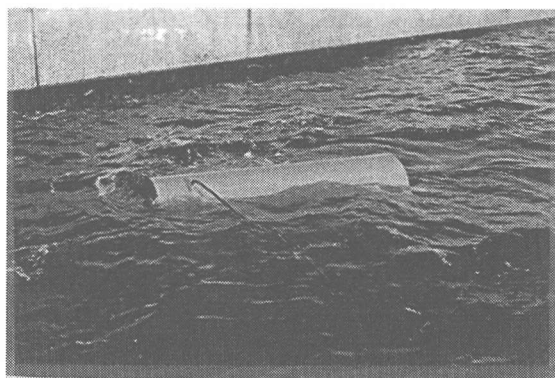


図-6 フロートの設置状況 (A地点)

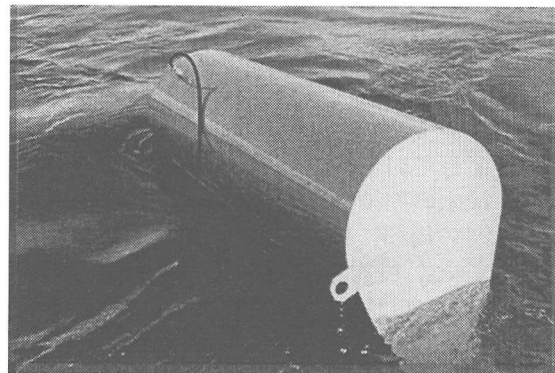


図-7 保管施設内での浮上したフロート (C地点)

(2) 調査の結果

海底に設置したA地点、B地点2個のフロート上の砂の堆積状況については、フロートを設置した直後の平成12年12月16日～17日にかけてと平成13年2月11日～12日にかけて、それに3月30日～31日の3回調査を行った。調査は水中ビデオカメラと目視によって行われた。本年の2月に行った調査では、サロマ湖内のほとんどの水域がすでに結氷していたため、波浪はほとんどない条件であった。昨年12月の調査時は、目視観測で周期3～6秒、波高が0.3～0.8mであったが、進行波水域、重複波水域におかれた2個のフロートともフロート上面への砂の堆積は

全く見られなかった。また2月の調査では海面が氷盤覆われているため、波浪は全くなく12月の場合と同様にフロート上への砂の堆積は全く見られなかった。また波浪の周期が短く波高が小さいこともありフロートの移動も全く見られなかった。これは前述したとおり、フロート上面の勾配が大きいために、砂が堆積しにくいと考えられる。

このフロート上への砂の堆積とフロートの安定に関する現地実験は4月以降も引き続き行う予定である。

次に保管施設内に浮かべて放置したフロートについては、前述の調査と同様に3回行った。2月の調査時点では海面は完全に結氷していた。図-8に示す様に、前日の降雪がフロートを覆っていたが日中の幅射熱でかなり融解が進んでいた。フロートが青色で着色してあるため、熱吸収が良く夕方にはほとんどの雪が溶けていた。氷盤上には12~20cmの積雪があるため、図-7に較べてフロートがかなり沈下しているように見えるが、雪を取り除くと設置時と全く変わらず、十分な浮力を有していることが確認された。また、日中は特に幅射熱により、フロートの廻りが融解し、フロートと氷盤の間に微小な間隙ができていた。本来であればこの保管施設のような閉水域では、早朝の気温上昇時に氷盤の膨張に伴う熱応力を受けることになり、フロートが変形することになる。しかし、氷盤上に積雪があるため、それが断熱材の役割を果しているため氷盤の温度上昇率が小さく押えられていることと、潮位変動により、外郭施設近傍の氷盤内にクラックが発生していることなどにより熱応力の効果が抑えられていると考えられる。3月末日の調査時点では、保管施設内は海水で覆われているため、フロート全体の変形性状は未だ明確ではなく、解氷直後に再度調査する予定である。



図-8 保管施設内の冬期のフロートの状況

以上、今年度の実物の3/4の大規模な模型フロートを用いた現地調査から、フロートの浮上にとって重要なフロート上の砂の堆積については、進行波、重複波に関係なく堆積はまったく起こらないことが明らかになった。冬期間浮かべておいたフロートの挙動については、この冬かなりの降雪があったにもかかわらず、それによる沈下もなく、またフロート上の雪も晴れであればすぐ融解することも明らかになったし、氷に閉じ込められた状態が2ヶ月以上続いているにもかかわらず、またフロート自体の変形や

損傷も水面上の部分についてはまったく見られないことを確認した。

フロート設置時にコンプレッサーと真空ポンプを用いて、フロート内の空気を出し入れすることにより、フロートを浮かしたり沈下させる実験を行った。今回の現地実験では内径5mmの高圧ホースを用いたため、摩擦損失が大きく、浮上・沈下に時間を要することが明らかになった。そのため、実際には内径20mm程度の高圧ホースを用いることにより、より短時間にかつ効率的なフロートの浮上・沈下が可能となることが明らかになった。

4. 主要な結論

1) サロマ湖に建設されて6年を経過した通常型及び特殊型アイスブームの調査結果に基づき、維持・管理の観点から浮沈式アイスブームがより有利であることを明らかにした。

2) 浮沈式アイスブームの問題点である沈設時の波浪や流れによる埋設あるいはフロート上面への砂の堆積について種々の波浪条件及び流れの条件を変えて実験を行い、著者等の提案した単純な断面形の浮体が非常に有効であることを確認した。また、提案された断面形状は製作の面からも有利であることが明らかとなった。

3) 著者等の提案した断面を有する実物の3/4のステンレス製のフロートを用い、サロマ湖のアイスブーム保管施設近傍の重複波水域と進行波水域の海底にフロートを設置して、フロート上に堆積する砂の状況を3回調査した。その結果フロート上への砂の堆積は全くなく、また移動も起こっていないことが確認された。また浮体の端部及び岸側に若干の洗掘が見られた。

4) 保管施設内に浮かして放置したフロートについては全く沈降はみられなかった。また、フロート廻りの氷盤上には10cm以上の雪があったが、フロート上にはごくわずかで、夕刻には完全に融解した。また保管施設は20mのゲート部分はあるが、ほぼ完全な閉水域で氷盤で完全に覆われているが、フロート形状には何ら異常は見られなかった。

5) フロートの沈設時に、エアコンプレッサーと真空ポンプを用いて、フロート内の空気の出し入れにより、フロートを沈降させたり浮上させたりした。フロートとコンプレッサー間の高圧ホースの内径が5mmと細かったため、空気抵抗が大きく沈降、浮上に時間を要した。実際の場合には内径20mm程度のホースが必要であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 今泉章, 橘国夫, 原文宏, 佐伯浩: 浮沈式アイスブームの流水制御効果と砂による埋没防止に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.9, pp. 101-105, 1993.
- 2) 今泉章, 橘国夫, 原文宏, 佐伯浩: 浮沈式流水制御構造物について, 寒地技術論文集, Vol.9, pp. 393-399, 1993.