

浮沈式アイスブーム S F I B に作用する波力について

Ice Force Acting on SFIB

佐藤正樹* 今泉章* 川合邦宏* 高橋良正** 佐伯浩***

Masaki Sato, Akira Imaizumi, Kunihiro Kawai, Yoshimasa Takahashi, Hiroshi Saeki

In Hokkaiko pack ice usually reaches the area along the coast freeze over. Ice floes intruding into Wakkanai harbor cause cancellation of ferry services to and from the islands, and in Nemuro harbor fishing boats cannot leave to go fishing. Therefore, There is a call for the development of measures to prevent intrusion of ice floes into harbor.

The authors have developed sink-and-float type ice boom SFIB for the purposes. In this study the authors report on the ice forces acting on SFIB.

Keywords; sea ice, ice force, ice boom, ice control

1. はじめに

北海道沿岸で海水の影響を受ける地域は、日本海側の利尻、礼文の両島、太平洋側の根室半島から釧路にかけての沿岸、それにオホーツク海に面した稚内から根室半島のオホーツク海側である。オホーツク海北部で発生した流水は成長しながら南下し、1月中旬頃には北海道のオホーツク海沿岸に接岸する。宗谷海峡では日本海側からオホーツク海に向けて対馬暖流の分岐流（宗谷暖流）が流れ込むため、流水は日本海側には流出しにくい、北海道の南側を低気圧が東進するとき等には、風の作用で日本海に入り込み、利尻、礼文の両島の漁港施設や水産資源に種々の被害を及ぼす。港内が流水で埋めつくされ、船舶の航行に多大の影響を与える。また、北海道のオホーツク海が流水で覆われると、その一部が知床半島と国後島間の海峡から流出し、根室半島と色丹島の間、根室海峡を通過して太平洋に出る。その後は北海道の太平洋側に沿って襟裳岬あるいは三陸沖に向かって消滅することになる。これにより、北海道太平洋側の水産資源に被害が発生したり、港内に侵入した場合は船舶の出入港に影響を与える。この時、北海道のオホーツク海沿岸は港内が結氷し、港外は完全に流水に覆われている。そのため、港湾、漁港の機能は流水来襲期間は停止することになる。

流水による港湾、漁港の機能低下を防ぐためには港内への流水侵入防止施設の開発が望まれているところである。著者らは3年前より、それらの目的に沿った流水侵入防止施設浮沈式アイスブーム S F I B を考案し、その施設の種々の機能について系統的な実験を行ってきた。今回は波浪場における、S F I B が海水侵入防止時の S F I B に作用する氷力に関して系統的实验を行ったので報告する。

2. 実験方法

実験は長さ24m、幅0.8m、深さ0.8mの両面ガラス張り造波水路を用いて行われた。S F I B の浮体断面は、利用時以外の沈設時に波浪による砂移動で埋没しない翼型断面⁽¹⁾とし、フルードの相似則にしたがい1/30の縮尺で実験を行った。フロートに接続するメインワイヤーの両端に張力計を取付け、波浪場における S F I B に作用する張力を測定した。張力の測定値は左右の両張力を平均して求めた。また、実験に用いた氷盤の大きさは、国松等⁽¹⁾のオホーツク海での実測結果より、辺長×辺長×厚さを $3\text{m} \times 3\text{m} \times 0.3\text{m}$ 、 $3.9\text{m} \times 3.9\text{m} \times 0.3\text{m}$ 、 $4.8\text{m} \times 4.8\text{m} \times 0.3\text{m}$ 、 $2.1\text{m} \times 2.1\text{m} \times 0.3\text{m}$ とし、波の周期は冬期のオホーツク海の波浪測定結果に基づき、6.0、8.0、10.0それに12.8秒を基本に実験を行った。また、波高及び氷盤の被覆長も変化させて実験を行った。

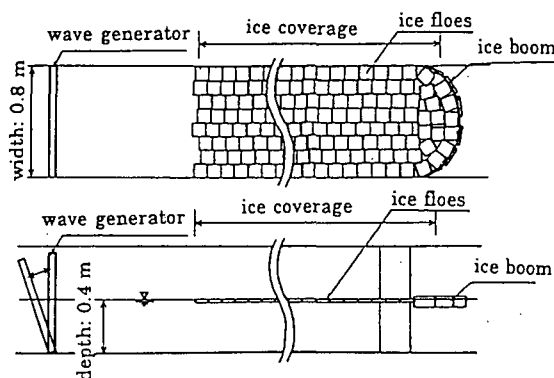


図-1 実験水槽概要図

* 正会員 (株)西村組 (北海道湧別郡湧別町栄町)

* 正会員 運輸省第二港湾局

*** 正会員 北海道大学工学部

実験に用いた水深は、オホーツク海沿岸の主要な港湾である紋別港、網走港の港口部水深を対象として、40cm（現地換算で 12m）とした。実験水路の概要図を図-1に示す。またこの S F I B の設置位置は港口部近傍の港内側が適当^{(1) (2)}とされているため、本実験で、進行波での実験と重複波の腹と節に S F I B を設置した実験も行った。また、波浪場におけるこの S F I B の氷盤侵入防止効果については、既に前報⁽⁸⁾で述べられているが、今回の実験でもその侵入防止効果の範囲の妥当性が確認された。

3. 実験結果と考察

(1) 進行波の場合の S F I B に作用する氷力

まず氷盤の大きさが氷力 F に及ぼす効果を調べたものが図-2である。氷厚 D を 0.3m、氷盤の被覆長 L_i を 30m とそれぞれ一定値で、周期 6.0、8.0 それに 10.0 秒の各周期に対する各氷盤の大きさ（辺長 a の正方形板）a に対する波高 H と氷力 F の関係を示している。同図より明らかなように、波高の増加と共に、S F I B の延長 1m 当たりの氷力 F は増加している。これは同一の周期の波においては波高の増加と共に波面近傍の水粒子速度も増加するためである。また全体的にみると、全ての条件が同一であれば氷盤の大きさが大きい程氷力 F は大きくなる傾向がみられる。またこの図から周期 T の影響は不明確である。データには若干のばらつきがみられるが、これは S F I B も波浪により動揺しているため S F I B のメインワイヤーに作用する氷力の時系列データも比較的変動が多く、本実験では約 100 波の測定データより最大張力を採用したことによるものと考えられる。次に各周期に対する氷厚 D が氷力 F に及ぼす効果を調べた結果が図-3である。この時氷盤の大きさは全て 3^m × 3^m で氷厚は 0.3m と 0.9m である。氷盤被覆延長 L_i は周期 T によって異なっているが、そのときの波長 L と被覆長 L_i の比 L_i/L は 0.9 と一定にして実験を行った。同図より、前図と同様に波高の増加と共に氷力 F は増加している。また、氷厚が大きいほど氷力 F が大きくなっている。これは一つには氷盤が大きい方が氷盤群の全体の質量が大きいことと、氷盤の波浪に対する追従性はほとんど両氷盤に差がないこと、それに氷盤群の沖側エッジ部の投影面積が大きくなることによる抗力の増大によるものと考えられる。また、この図-3からも周期 T の氷力 F へ及ぼす効果は小さいことが分かる。次に各周期（T=6, 8, 10 秒）、氷厚（D=0.3, 0.6, 0.9m）に対する 4 種類の氷盤被覆長（L_i=18, 36, 54, 72m）の氷力 F と波高 H の関係を示したものが図-4、図-5、図-6である。これらの図を用いて S F I B の延長 1m 当たりの氷力を求めることができる。全体的にみると氷盤被覆長 L_i が大きいほど氷力 F は大きくなる傾向がみられるが、一部で逆転する現象も見られる。本実験では被覆長 L_i は 18~72m の範囲で実験を行っている。一般に氷盤と波浪の相互作用が問題となる条件としては、一月頃にオホーツク海北部海域から流氷群が南下し、北海道沿岸に到達するとき、流氷本体は距離数 km~数 10km に存在し、その一部が沿岸に漂着する状態か、北海道のオホーツク海沿岸が完全に流氷で覆われた状態から、3 月になって、流氷本体が離岸し、南下し始めた状態で沿岸部に流氷の一部が取り残された状態で低気圧などで波が発達するときである。しかし、このような状況下ではオホーツク海のほとんどが流氷で覆われているため、波浪の発達が抑制され、実際の波浪は 3m 程度を越えることはない。また、その様なときの氷盤被覆長はそれほど長い距離にはならない。これについては、今後のより詳細な現地調査が望まれる。図-6より、周期の効果を調べたものが図-7である。ここでは被覆長 L_i が 18m で氷厚 D が 0.6m の時の場合であるが、周期の明確な氷力への影響はみられない。次に氷厚の効果を調べたものが図-8である。図からも明らかなように、氷厚 D の増加と共に氷力 F は増加する。また波高が小さい 1.5m の場合、周期 T が長い方が氷力も大きくなっている。しかし図-6、図-7にも示されているように、波高が大きくなると必ずしもその様な傾向はみられない。

(2) 重複波の場合の S F I B に作用する氷力

重複波の場合には S F I B をその節に設置時と腹の位置に設置した場合の実験を行った。図-9には氷盤の大きさ 3^m × 3^m で氷厚 D が 0.9m、氷盤被覆長 L_i が 30m の場合の周期 8 秒と 10 秒に対する S F I B の位置の効果を調べたものである。白抜きの印が節に設置した場合であるが同図より明らかなように、腹位置に設置する場合より大きな氷力となる。これは、重複波の腹の位置では水粒子の運動は鉛直方向であり節の位置では水平運動になるためである。また、進行波の場合と同様に入射波高 H が大きいほど氷力も大きくなる。また全体的にみると腹であれ、節であれ、周期の長い方が氷力は大きくなる傾向がみられる。

次に、重複波の場合の氷盤の大きさの効果を調べた結果の一部を図-10に示す。図-10(a)は腹の位置に S F I B を設置した場合であるが氷盤の大きい方が若干大きめの氷力を示している。また図-10(b)に示す節の場合には全体的にみると大きい氷盤の方が氷力は大きくなっている。また同一の大きさの氷盤の場合の腹と節での氷力の違いを見てみると図-9に示す氷厚 0.9m の場合と同様にこの D=0.3m の場合でも S F I B を節の位置に設置した方が大きな氷力となっている。

次に重複波と進行波の場合の氷力の違いを見てみる。図-10に示される重複波の場合と図-2(C)の進行波の場合

はともに周期10秒、氷盤被覆長30m、氷厚0.3mである。この両図を比較してみると、波高の全域にわたって、進行波の場合が若干大きめの氷力を示している。前報でも述べているようにSFIBのフロートの沈設時の砂による埋設のしにくさ、流水侵入制御特性は進行波に比べて重複波の方がはるかに優れていること、SFIBに作用する氷力は波高が小さいほど小さくなり、進行波に比べて重複波の方が氷力が小さくなる事実から、全ての点でSFIBの設置位置は港口部の港内側が優れていることが明かとなった。

4. 主要な結論

1. 進行波中であれ、重複波であれ、氷盤の厚さの増加それに氷盤の被覆長の増加にともなって、SFIBに作用する氷力は増加する。
2. 一般的には周期が長いほど、氷力は増加する傾向がみられるが、その氷力に及ぼす効果は著名ではない。
3. 重複波の場合、その節及び腹にSFIBを設置した場合、節に設置した方がSFIBに作用する氷力は若干大きくなる傾向がみられる。
4. 進行波の場合と重複波の場合で氷力を比較すると、進行波の場合の方が大きい氷力となることが明かとなった。
5. SFIBの流水制御期以外の海底に沈設時の漂砂による埋没防止、流水侵入防止効果それにSFIBに作用する氷力を総合的に判断すると、波高が小さく、砂の移動が不活発で重複はあるいは部分重複波に近い氷力の小さい港口部近傍の港内側にSFIBを設置することが非常に効果的である。
6. SFIBに作用する氷力の算定には図-4, 5, 6 を用いればよい。

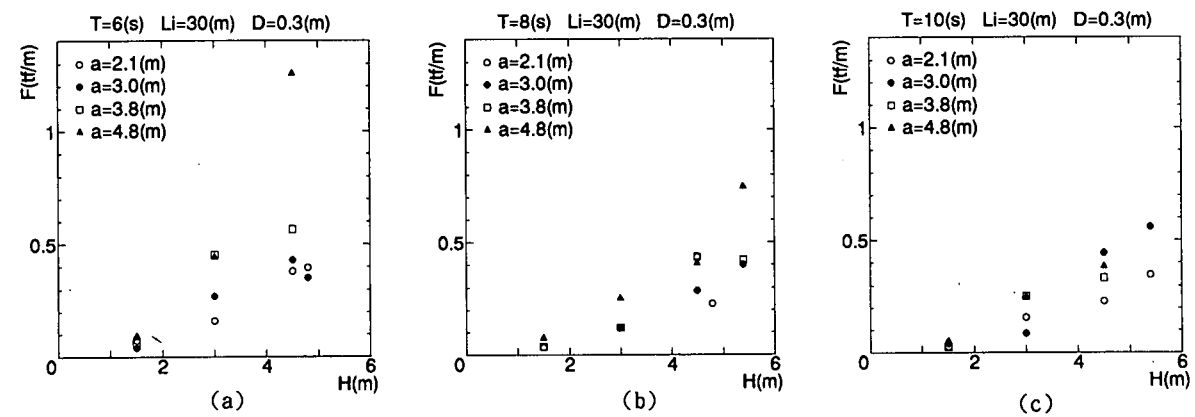


図-2 氷盤の大きさと波高及び氷力の関係

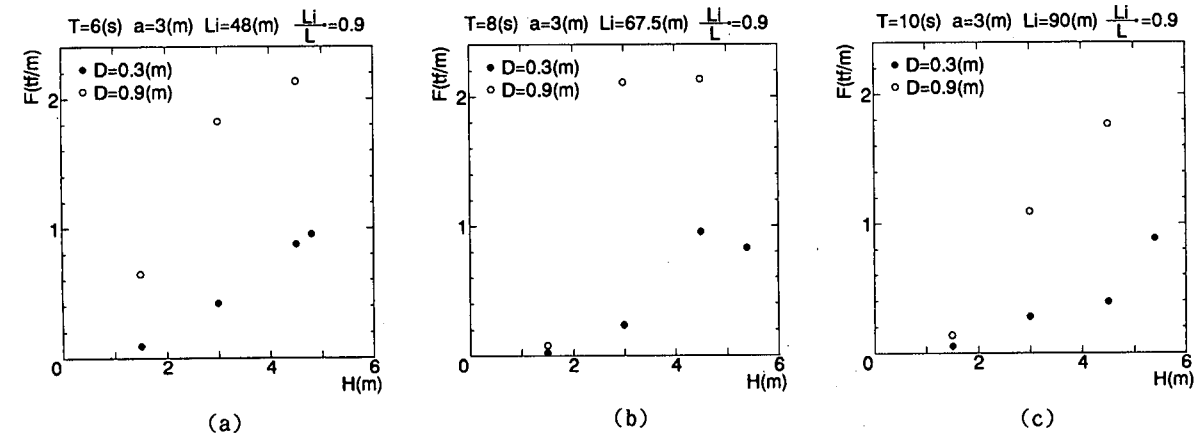
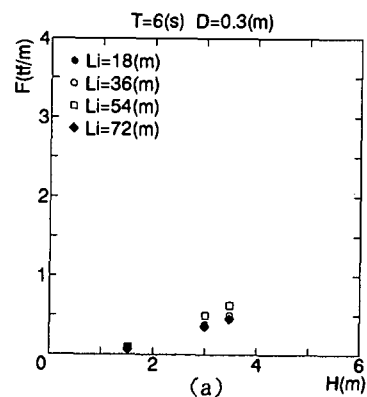
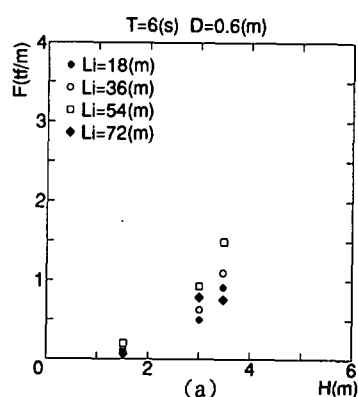


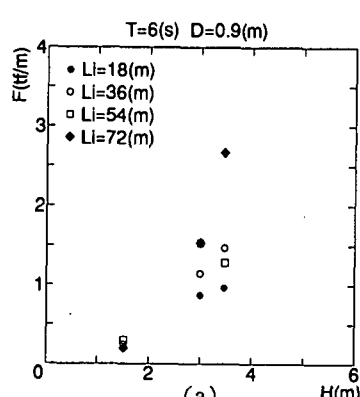
図-3 氷厚の氷力に及ぼす影響



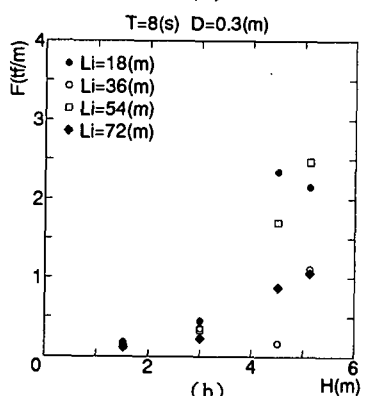
(a)



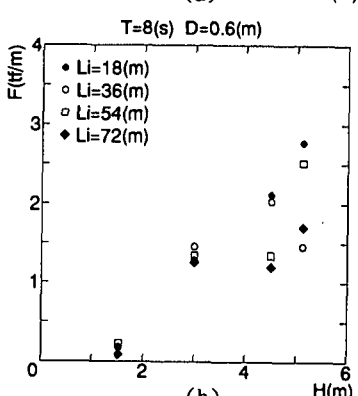
(a)



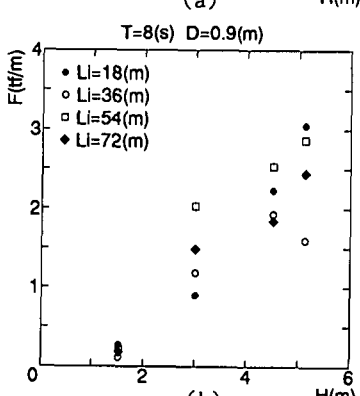
(a)



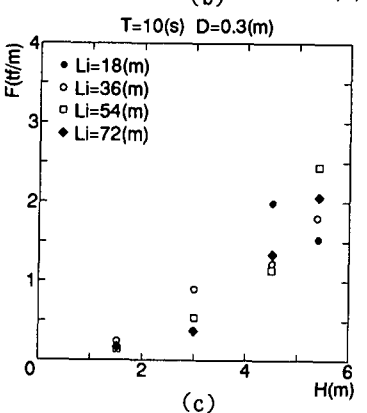
(b)



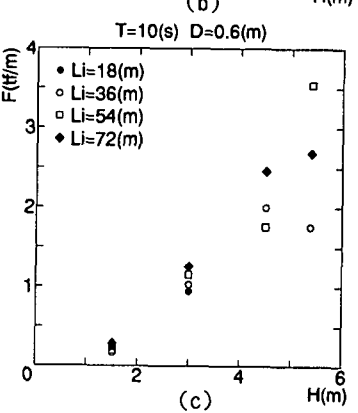
(b)



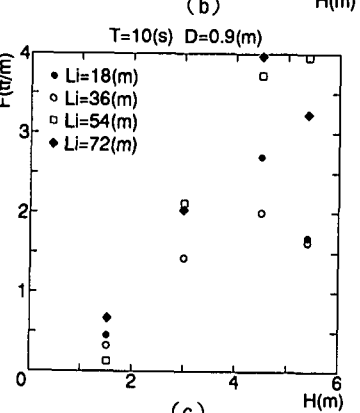
(b)



(c)



(c)



(c)

図-4

図-5

図-6

波高と氷盤被覆長及び氷力の関係

波高と氷盤被覆長及び氷力の関係

波高と氷盤被覆長及び氷力の関係

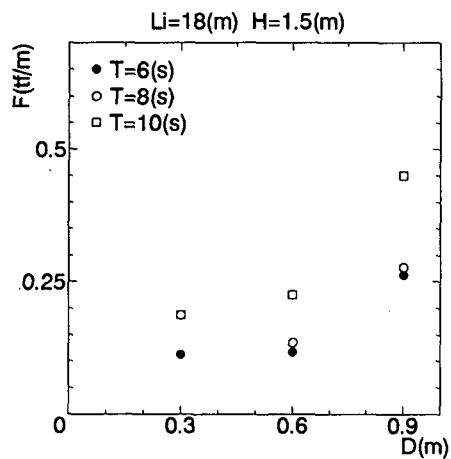


図-7 氷力に及ぼす周期の効果

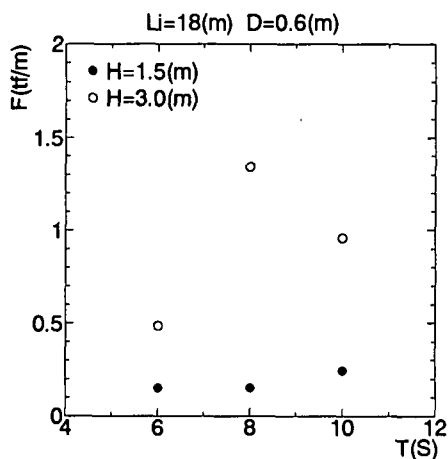


図-8 氷力に及ぼす氷厚の効果

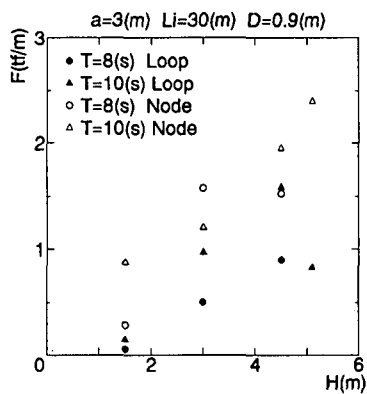
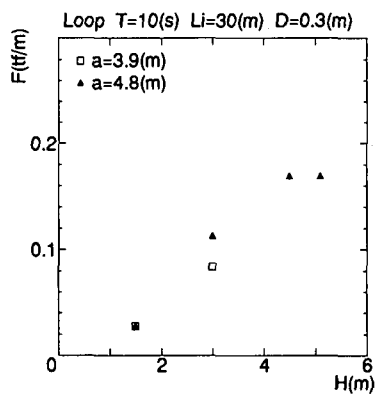
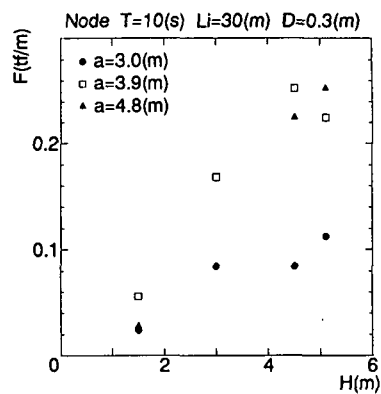


図-9



(a)



(b)

重複波における氷力に及ぼす設置位置の効果

図-10 重複波における氷力に及ぼす氷盤の大きさの効果

参考文献

- 1) 今泉章、榎国夫、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設防止に関する研究、海洋開発論文集Vol. 9, p101~p106, 1993
- 2) 国松靖、原文宏、高橋良正、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 p95~p100, 1993
- 3) 今泉章、佐藤正樹、榎木国夫、原文宏、佐伯浩；波浪中の浮沈式アイスブームの流水制御効果について、海洋開発論文集Vol. 10, p223~p227, 1994