

寒冷地に建設される浮体構造物に対する氷の影響について

Ice Influences on the Floating Structures in Cold Regions

笹島隆彦*・早川哲也*・寺島貴志**・吉田稔***・浜岡荘司****・佐伯浩*****

Takahiko Sasajima, Tetsuya Hayakawa, Takashi Terashima, Minoru Yoshida, Shouji Hamaoka, Hiroshi Saeki

This paper presents the ice influences on the floating structures in cold regions. Recently the marine recreation such as yachts and motorboats becomes popular in Japan. In Hokkaido, four public marinas are constructed in the coast of the Pacific Ocean and the Sea of Japan. This leads the marine activities more popular. But no marinas have been constructed in the coast of the Sea of Okhotsk where sea ice cause many problems to the marina structures. On the other hand, a lot of marinas are constructed in the coast of Northern Europe under the same climatic conditions as the Sea of Okhotsk, and marinas are used actively except the period when harbors are covered by sea ice. In this paper, the authors propose the design methods for marina facilities considering the ice influences on the floating structures.

Keywords: floating structures, cold regions, ice influences.

1. はじめに

近年、我が国においてはヨットやモーターボートといったプレジャーボートによる海洋性レクリエーションが活発になってきている。北海道においても、これらの海洋性レクリエーションに対する需要は高く、冬期間港内結氷や流水の影響を受けるオホーツク海沿岸においてもその需要は高い。

このような結氷海域に建設されるマリーナやプレジャーボート用の施設の設計に際しては、氷の影響を十分に考慮する必要がある。

本研究では、特にマリーナ等で用いられる浮体構造物に対してどのような設計方法をとるべきかを考察することを目的とし、紋別港において浮体構造物に対する氷の影響に関する現地実験を実施したものである。

2. 現地実験の方法

2-1. 実験サイト

現地実験は、概ね1月下旬より3月中旬まで結氷する北海道オホーツク海沿岸に面する重要港湾の紋別港第四船溜で実施した。

2-2. 実験項目

実験項目は、以下の2点である。

①結氷状況の観測

第四船溜及び浮体構造物周辺の結氷状況を観測する。

②浮体の観測

浮体構造物の四隅をレベル測量することにより、浮体の鉛直変位量を測定する。また、浮体構造物の2点を測角することにより、浮体の水平変位量を測定する。

2-3. 実験に用いた浮体と係留方法

調査に用いる浮体は、以下に示す4種類である。

- ・浮体 A：白色の直方体を岸壁より 2m 離して設置
- ・浮体 B：白色の傾斜角を有した浮体を岸壁より 10m 離して設置
- ・浮体 C：白色の直方体を岸壁より 10m 離して設置
- ・浮体 D：黒色の直方体の浮体を岸壁より 10m 離して設置

* 正会員 北海道開発局

** 正会員 パシフィックコンサルタンツ（株）（060 札幌市北区北7条西1丁目）

*** 正会員 （株）西村組

**** 正会員 （株）オホーツク流水科学研究所

***** 正会員 北海道大学工学部

これらの浮体に対して、港内結氷時における水平及び鉛直方向の変位、結氷状況等を調べることで、結氷海域において浮体を設置する場合の岸壁からの適切な距離、浮体の喫水部の適切な角度、浮体に適した色等を明らかにするものである。

図1に各浮体の平面配置及び係留方法を示す。

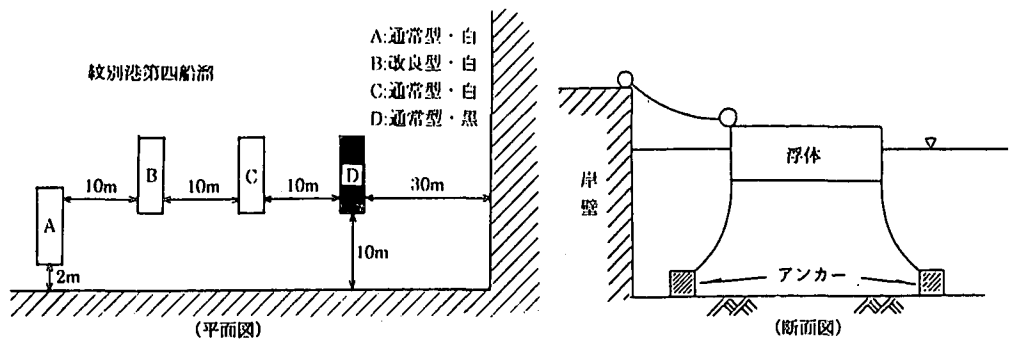


図1 各浮体の平面配置及び係留方法

3. 実験結果

3.1. 結氷状況の観測結果

表1に結氷状況の総括表を示す。

これによると、第四船溜については、H8.2.5 にはほぼ全体的な結氷に至ったが、その後の暖気により H8.2.13～H8.2.19 にかけては非結氷や蓮の葉氷の範囲が広がった。しかし、再び寒気にはいり H8.2.22 以降は完全結氷となった。

一方、浮体周辺については、H8.2.8 には全ての浮体に氷盤が凍着していたが、その後の暖気により、H8.2.13 には浮体 B 及び C は部分的に凍着、浮体 D は凍着しなかった。しかし、浮体 A だけは完全に凍着していた。H8.2.16 以降は、浮体 A, B 及び C は完全に凍着、浮体 D は部分的に凍着していた。H8.3.7 以降は、暖気により氷がゆるみ、蓮の葉氷が浮体と接している状況だった。

なお、部分的に凍着している場合の非凍着面は日光の当たる東側及び南側であった。

表1 結氷状況の総括表

年月日	第四船溜	浮体周辺	備 考
H8.2.5	・波除堤の開口部のみ非結氷、他は全体的に結氷	・浮体 A は完全に凍着、B, C 及び D は東側と南側が非凍着	
H8.2.8	・同 上	・全ての浮体に氷盤が凍着	
H8.2.13	・H8.2.8 に比べて非結氷の範囲が広い	・浮体 A は完全に凍着、B 及び C は部分的に凍着、D は凍着なし	
H8.2.16	・開口部から物揚場にかけて大きな蓮の葉氷、これより北側で部分的に非結氷、他は結氷	・浮体 A, B 及び C は完全に凍着、D は部分的に凍着	
H8.2.19	・H8.2.16 に比べて蓮の葉氷の範囲が広い。ただし、非結氷のエリアはない	・同 上	
H8.2.22	・完全結氷	・同 上	
H8.2.24	・同 上	・浮体 A, B 及び C は完全に凍着、D は部分的に凍着	
H8.2.26	・同 上	・同 上	
H8.2.29	・同 上	・同 上	
H8.3.7	・全体的に氷がゆるみ蓮の葉氷	・氷盤と接しているが凍着はしていない	
H8.3.11	・同 上	・同 上	

3-2. 浮体の観測結果

(1) 全期間の鉛直変位

図2に全期間のX方向鉛直変位の経時変化を示す。X方向とは浮体の短辺方向（東西方向）、Y方向は浮体の長辺方向（南北方向）と定義する。

X方向の鉛直変位量は、X軸と直角方向の2点の平均値同志の差である変位量が正の場合は浮体の西側が高く、東側が低くなっている状態を意味する。図中の平均値は、33回の観測値の平均値で、X方向の変位量は浮体Bが3.7cmで最も大きく、浮体Dが2.0cmで最も小さい大きな差はない。

一方、図3にY方向鉛直変位の経時変化を示す。変位量が正の場合は、浮体の北側が高く、南側が低くなっている状態を意味する。これによると、Y方向の変位量は、浮体Aが10.2cmで最も大きく、浮体Cが0.9cmで最も小さい。

(2) 1日周期の鉛直変位

図4に1日周期のX方向鉛直変位量の経時変化を示す。これによると、X方向の変位量は、浮体Bが3.5cmで最も大きく、浮体Dが1.3cmで最も小さい大きな差はない。

一方、図5にY方向鉛直変位量の経時変化を示す。これによると、Y方向の変位量は、浮体Aが7.0cmで最も大きく、浮体C及びDが1.2cmで最も小さい。

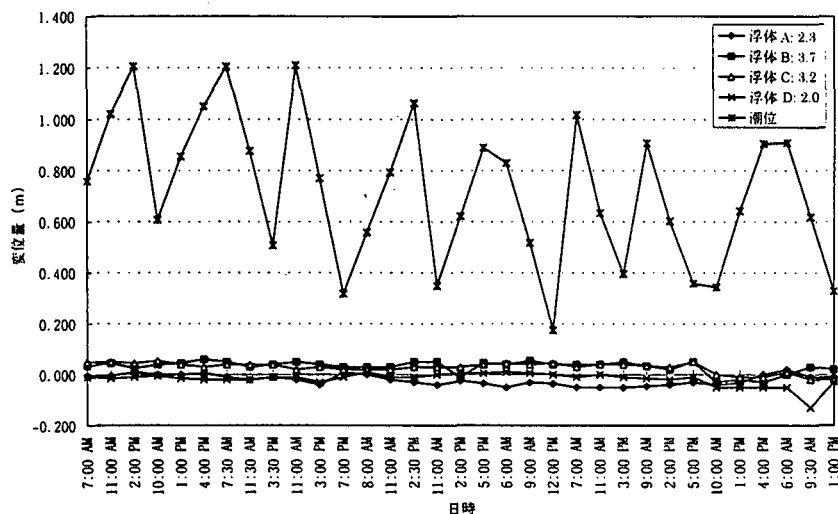


図2 X方向鉛直変位の経時変化（全期間）

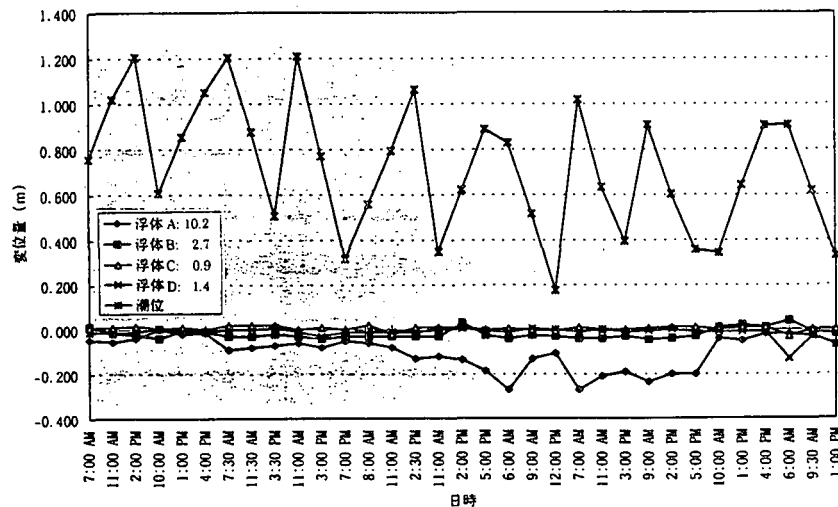


図3 Y方向鉛直変位の経時変化（全期間）

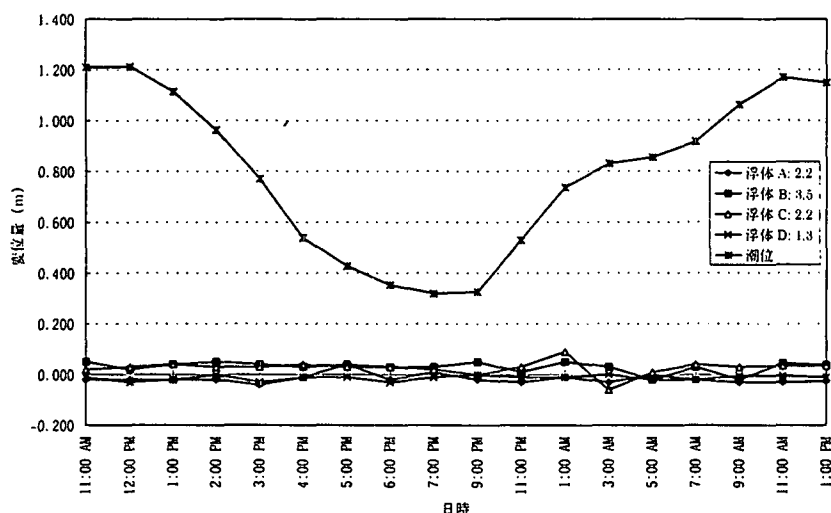


図4 X方向鉛直変位の経時変化（1日周期）

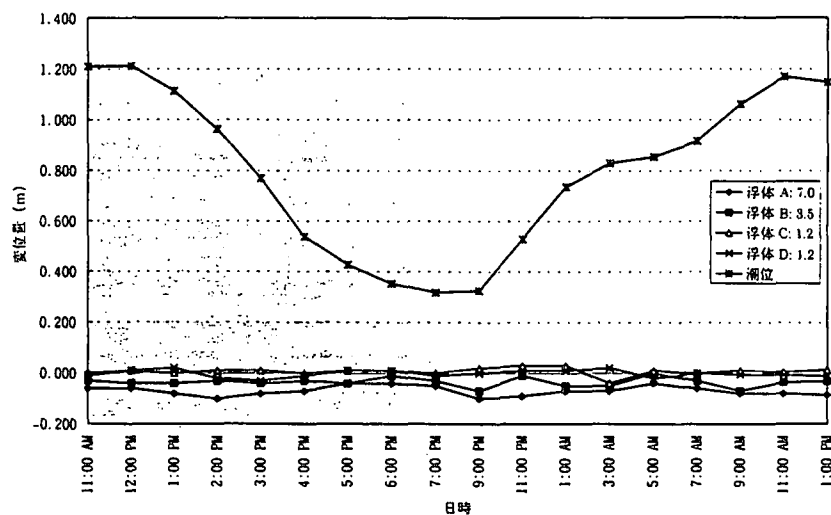


図5 Y方向鉛直変位の経時変化（1日周期）

(3) 全期間の水平変位

図6に全期間の浮体重心のX方向水平変位の経時変化を示す。

また、図7に浮体重心のY方向水平変位の経時変化を示す。

これらによると、X方向の平均変位量は、浮体Cが17.0cmで最も大きく、浮体Dが11.5cmで最も小さい。また、Y方向の平均変位量は浮体Aが8.7cmで最も大きく、浮体Cが6.2cmで最も小さい。

(4) 1日周期の水平変位

図8に1日周期の浮体重心のX方向水平変位の経時変化を示す。また、図9に浮体重心のY方向水平変位の経時変化を示す。

これらによると、X方向の平均変位量は、浮体Aが14.6cmで最も大きく、浮体Dが4.6cmで最も小さい。また、Y方向の平均変位量は浮体Aが3.0cmで最も大きく、浮体B及びCが2.2cmで最も小さいが大きな差はない。

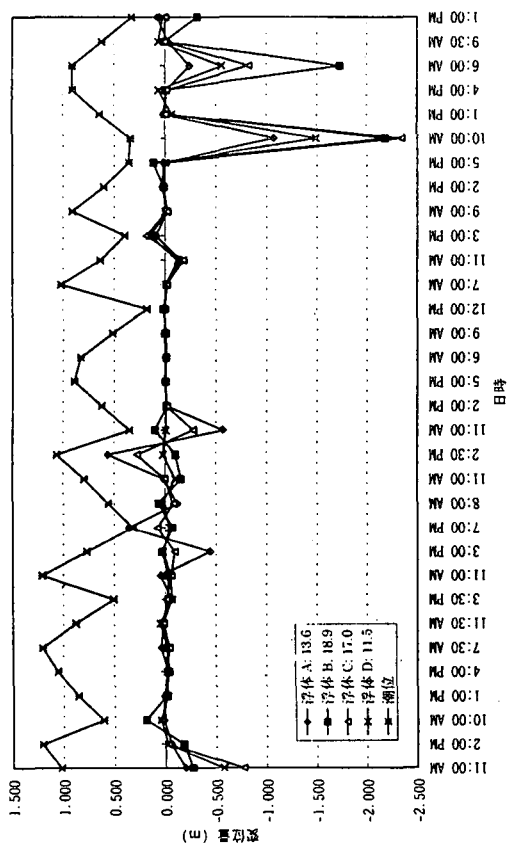


図6 X方向水平変位の経時変化 (全期間)

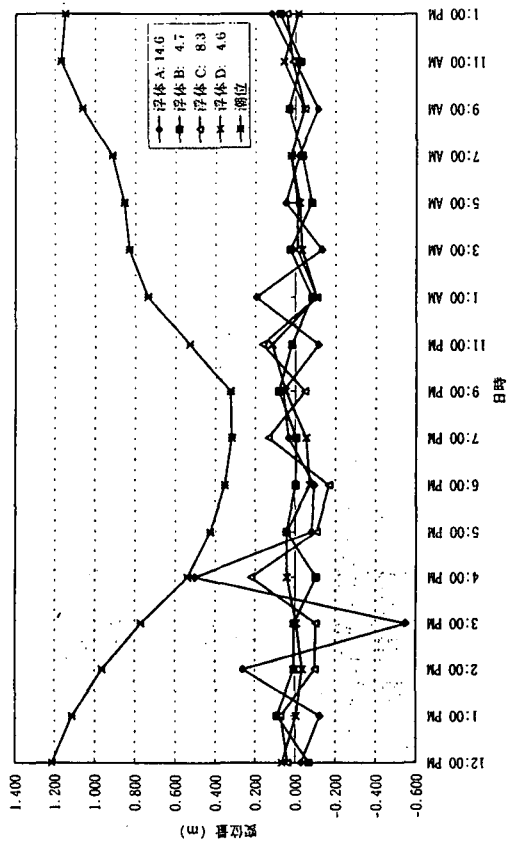


図8 X方向水平変位の経時変化 (1日周期)

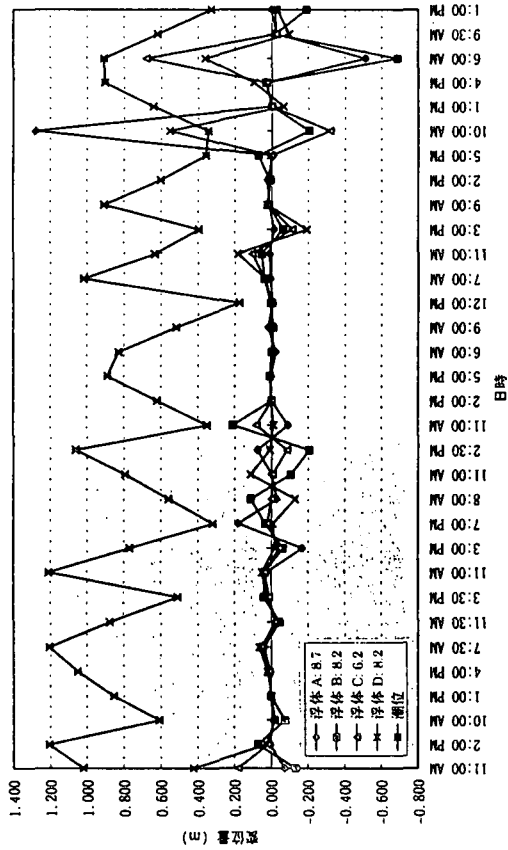


図7 Y方向水平変位の経時変化 (全期間)

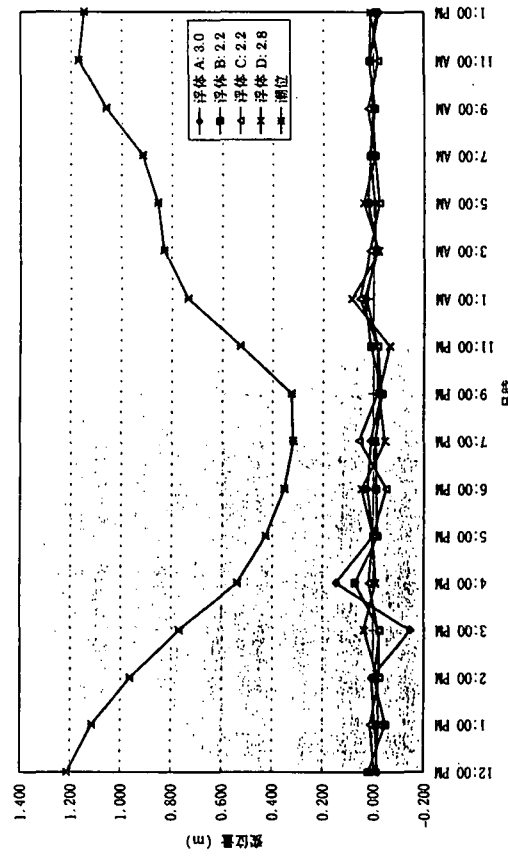


図9 Y方向水平変位の経時変化 (1日周期)

3.3. 氷の物性

図10に、実験サイトの氷盤の曲げ強度と氷温との関係を示す。これによると、氷盤の曲げ強度は4～7kgf/cm²である。

図11に、実験サイトの氷盤の圧縮強度と氷温との関係を示す。これによると、氷盤の圧縮強度は5～20kgf/cm²で、氷温が低くなると圧縮強度は低下する傾向がある。

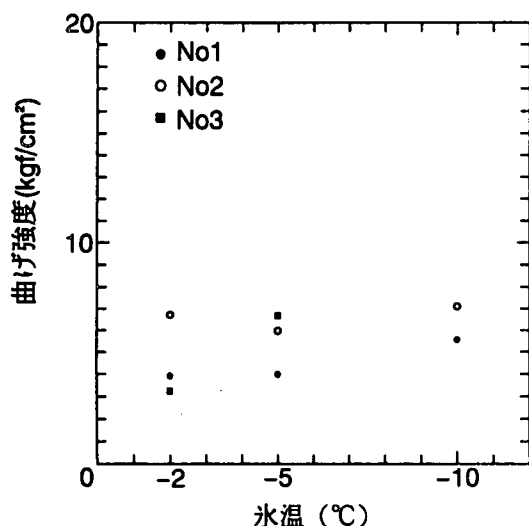


図10 曲げ強度と氷盤の関係

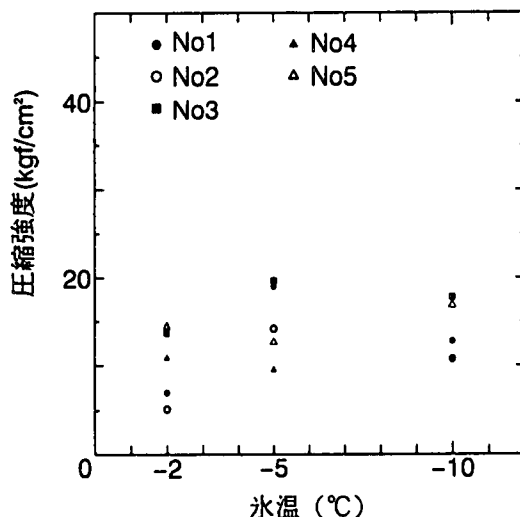


図11 圧縮強度と氷温の関係

4. まとめ

以上に述べた現地実験の結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 平成8年1月中旬より3月中旬にかけて、紋別港第四船溜に4種類の浮体を浮置して観測した結果、第四船溜の水面は、1月下旬から2月上旬にかけて結氷と氷の流失（融氷）を繰り返し、2月8日に完全結氷に至った。そして、3月8日には氷がゆるみはじめ、その後3月中旬には完全に氷は流失（融氷）した。
- (2) 氷と浮体との凍着の有無を観測した結果、黒色の浮体（浮体D）には、氷が凍着する頻度が少ない。特に、日光の当たる東側及び南側の面は、少なくとも昼間は凍着しない場合が多い。
- (3) 浮体周辺における氷の破壊状況を観測した結果、岸壁に最も近い浮体（浮体A）は氷盤の曲げ破壊の影響を強く受ける。また、岸壁から3～5m付近で氷盤が曲げ破壊を生じており、干潮時から満潮時にかけてフラッシング状態となる。
- (4) 各浮体の鉛直変位量を計測した結果、X方向の変位量は浮体Dが最も小さく、浮体Bが最も小さいが大きな差はない。また、Y方向の変位量は浮体C,Dが最も小さく、浮体Aが最も大きい。
- (5) 各浮体の水平変位量を計測した結果、X方向の変位量は浮体Dが最も小さく、浮体A,Cが最も大きい。また、Y方向の変位量は浮体B,Cが最も小さく、浮体Aが最も大きい。
- (6) 実験サイトにおける氷盤の曲げ強度は4～7kgf/cm²、圧縮強度は5～20kgf/cm²であった。
- (7) 寒冷地における浮体構造物の設計に際しては、以下の点を考慮する必要がある。
 - ① 氷盤の曲げ破壊が生じるエリア（岸壁等の境界より3～5m）に浮体を設置しないこと。
 - ② 浮体の色は白色よりも黒色の方が氷盤が凍着しにくく、また、雪も融けやすい。
 - ③ 今回の実験では、浮体の係留方式はアンカー式としたが、アンカー式の場合には水面が完全に結氷する時よりも通常時の波浪による影響が大きい。

参考文献

- ・ 笹島・水野・寺島・河合・佐伯：「寒冷地に建設されるマリナーの設計方法について」、海洋開発論文集、Vol.11,1995年