

寒冷地に建設されるマリーナの設計方法について

Design Methods for Marina in Cold Regions

笹島隆彦*, 水野雄三*, 寺島貴志**, 河合邦弘***, 佐伯 浩****

Takahiko Sasajima, Yuzou Mizuno, Takashi Terashima, Kunihiro Kawai, Hiroshi Saeki

This paper presents the design methods for marina facilities 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 various structures.

Keywords: marina, cold regions, ice influences.

1. はじめに

我が国の海洋レクリエーションにおいて、最近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レクリエーションが盛んになってきていて、その数も年々に増加してきている。北海道においても、公共マリーナが4港あり、その他にも民間経営のマリーナ等も建設され、年々増加してきている。しかし、それらのマリーナは太平洋と日本海沿岸に限られていて、海水（流水など）の影響を受けるオホーツク海沿岸では計画中はあるが建設された例はない。沿岸海洋が凍結するボスニヤ湾沿岸や、ノルウェー沿岸においても数多くのマリーナが建設され、結氷期以外は活発に利用されている。このような寒冷地にマリーナを建設する場合、特にマリーナの基本施設である外郭施設、係留施設や上下架施設等の水域に係る施設の設計に際しては氷力を無視し得ない。本研究は、沿岸結氷や流水の影響を受ける海域にマリーナを建設する場合のマリーナの各施設の氷に対する設計方法について述べるものである。

2. マリーナの外郭施設

マリーナの建設地点は外海に直接建設する場合や漁港、港湾の一部、さらには河川の河口部に建設される場合がある。マリーナの外郭施設の配置計画に際しては、通常の防波堤と同様に港内静穏度を確保すると共に、恒風の向きと港口の向き等に十分な配慮が必要である。オホーツク海のように流水の影響を受ける水域の場合には、マリーナの係留施設が流水移動による水平方向氷力に対して十分な耐力を有していないことから、流水の侵入に対する配慮が必要である。港内への流水侵入の形態としては、①港口部からの直接的侵入、②防波堤からの越水の2つが考えられ、それぞれの対策が必要である。

また、使用期間を可能な限り長くするためには、港内結氷を防止する必要がある。したがって、結氷防止、結氷遅延の方法も充分考慮しておく必要がある。

(1) 港口部からの流水侵入防止対策

北海道のオホーツク海沿岸では、流水来襲時には、一般的には港内が結氷しているため、流水の港内への侵入は困難となる。しかし、マリーナの係留施設は流水移動による水平方向氷力に対しては、必ずしも十分な耐力は有していない。よって、港内結氷以前に流水が侵入する場合、港内の施設保護のための流水侵入防止施設が必要となる場合がある。現在、開発されている流水侵入防止施設としては、サロマ湖口部の流水制御にも用いられることになっている通常のアイスブームか、浮沈式アイスブームが適当である（図1）。特に、浮沈式アイスブームは、冬期でも船の出入がある場合には便利な施設である。

(2) 防波堤からの越水防止対策

マリーナの場合、一般に防波堤の天端高は高くない。そのため流水存在時に高波浪が来襲すると、越波とともに氷塊も港内に飛び込むことになる。防波堤からの越水防止対策としては、基本的には越波と同様な考え方から、①防波堤の高天

*正会員 北海道開発局開発土木研究所水工部

**正会員 パシフィックコンサルタンツ(株)北海道支社 (060 札幌市中央区北4条西6丁目)

***正会員 (株)西村組

****正会員 北海道大学 工学部

端化より越波自体を防止する方法、②二重防波堤（潜堤、アイスブーム等）により防波堤前面の波高の低減化をはかる方法などがある。また、特に越水を防止する方法として、③堤体に防水柵を設置する方法などがある。これらの方法の内、①についてはプレジャーボートの安全航行や景観等の点で制約を受けること、②についてはコストの問題等が考えられることから、状況に応じて使い分ける必要がある。

(3) 港内結氷防止・遅延対策

北海道のオホーツク海沿岸は、冬期間シベリアからの強い北西季節風にみまわれる。この時、気温は低下し、これにより港内の風上側に氷晶が生成する。この氷晶は風による吹送流（drift current）により、港内風下側に流されて岸壁や護岸の前面に堆積する。この堆積した氷晶はしだいに港内を覆い、港内結氷へと移行していく。したがって、港内結氷を防止・遅延させる方法として、海岸地形が許されれば、港口を風下側に配置することにより、港内への氷晶の堆積を防止することができる。

3. マリーナの係留施設

北海道のオホーツク海沿岸のように積雪寒冷地で、冬期結氷するような所では基本的には、プレジャーボートは陸上保管となる。よって、結氷期にはプレジャーボートは水域には存在しないと考えてよい。また船舶の係留方法については、染谷等の「マリーナの計画」にも示されているように岸壁・護岸、棧橋、係航杭、ブイ、アンカーに係船する方法が考えられる。

これらの方法で係留するためには、係留のための諸施設と氷盤との相互作用、例えば岸壁、護岸と氷盤間の相互作用、係航杭と氷盤間の相互作用、アンカーブイと氷盤間の相互作用、それに棧橋と氷盤間の相互作用が明らかにされねばならない。

(1) 岸壁及び護岸と氷盤の相互作用

岸壁及び護岸に作用する水力は大きく二つに分けることができる。一つは、潮汐による水位の上下変動に伴う水力で、もう一つは、気温変化に伴う氷盤の温度変化による氷盤の膨張、収縮時に建造物に及ぼす力で、一般に thermal thrust と呼ばれる水力である。

1) 潮位変動による水力

港内で結氷した氷盤が岸壁等に凍着した場合、水位上昇時には鉛直上向き、下降時には下向きの水力が岸壁に作用する。この水力の計算方法は中澤等や榎等の研究で示されている。北海道のオホーツク海沿岸の潮差は大きいと、氷厚のうすい時から岸壁近傍で氷盤が曲げ破壊を起こしており、著者等の調査結果では凍着した例を見たことがない。また、オホーツク海沿岸の港湾や漁港の防舷材は気温が低いことと水力の作用を受けることから損傷を受ける場合が多い。この防舷材に作用する鉛直上下方向の水力の計算方法は前述の中澤等や榎等の研究に示されているが、水力を低下させるためには、防舷材下端を L.W.L より少なくとも氷厚分下げた位置にすべきである。

2) 気温の急変による thermal thrust

気温の急上昇（早朝）時の氷盤の熱膨張による thermal stress の研究は Røyen や Assur により示されているし、ロシアや米国それにノルウェー等においては淡水氷に対する水理建造物の設計マニュアルに示されていてその値は、米国でうすい氷厚では 5.4～8.6tf/m、厚い場合は 14～25tf/m、ロシアのシベリアでは 30tf/m、ノルウェーでは 2～9tf/m、スウェーデンでは 15～20tf/m となっている。海水の場合は淡水氷に比べてかなり小さくなる。この程度の thermal stress は土圧とは反対向きに作用するので設計に考慮するほど大きな力とはならない。

(2) 棧橋と氷盤の相互作用

A.C.Wortley は、北米における small Harbor の被害例を数多く示しているが、最も被害例の多いのが、水位上昇に伴う氷盤の変位により杭が抜かれている事例である。よって、固定式棧橋の杭の設計においては、この水力に耐えねばならない。単独の杭に作用する鉛直方向水力の計算方法は佐伯等、中澤等それに寺島等によって与えられているし、複数杭のお互いの干渉効果については木岡等により明らかにされている。また、4本杭の場合については、中澤等や土屋等により得られているのでそれらの計算方法を用いて鉛直方向水力を求めることができる。これらの計算において、杭表面材料と海水間の凍着強度が重要であるが、佐伯等、中澤等、大槻等それに後藤等の研究成果が得られている。

岩盤があり、所定の引拔力が得られない場合、氷盤凍着による鉛直上下水力を低下させる必要がある。この鉛直方向水力を低下させる方法は以下のとおりである。

1) 杭と氷盤との凍着を防止

最も単純な方法は氷盤と杭とを凍着させないことである。淡水の場合には、杭の基部の海底からエアバブルを発生することにより凍結を防止することが可能であるが、海水の場合は、凍結期は水温の鉛直分布は一様であるため、淡水の場合ほどエアバブルの効果は期待できない。そのため、杭の L.W.L から H.W.L の間を Heating する方法が有効であるが、維持費がかかりすぎる。また、下水処理場の排水（一般に +10℃）を杭の基部から吹き出す方法も有効と考えられるが、

マリーナの近くに下水処理場がある場合に限られる。

2) 杭と氷盤間の凍着強度の小さい材料の選択

氷盤と杭表面材料間の凍着強度が小さい場合、わずかな鉛直方向氷力で、氷盤と杭の界面で剥離破壊を起こす。佐伯等や大槻等は、種々の金属や合成材料と海水間の凍着強度を調べている。その結果、ポリエチレンやポリウレタンを用いた重防食鋼管は凍着強度が小さいので、それらを用いることにより鉛直方向氷力を低下することができる。

3) 杭のまわりをブラッディングさせることによる氷力の低減化

寺島等は、図2に示すように杭のまわりがフラッディング状態での水位変化による鉛直方向氷力の計算を行うとともに、ブラッディングしない場合との氷力の比較を行ない、ブラッディング状態では氷力が低下することを示した。このことから強制的にブラッディングさせることも鉛直上方氷力の低減化に効果がある。その方法としては、H.W.LからL.W.Lに氷厚分下方にかけて、縦にHeatingすることにより、氷盤には確実に鉛直方向の穴があき、フラッディングを起こすことが可能となる。

(3) 浮棧橋と氷盤間の相互作用

オホーツク海沿岸部の潮差は約1.5mあり、固定棧橋より浮棧橋の方がより合理的である。浮棧橋は、浮棧部本体とそれを固定する鋼管杭やPC杭を用いた支柱方式あるいは、チェーンあるいはステンレススチール製ワイヤーに結合したアンカを用いる方式の二つに分けることができる。

1) 浮棧橋の種類の選択

浮棧橋の種類としてはセパレートタイプ、モノコックタイプそれにユニットタイプの三種類がある。浮体部に作用するthermal thrustを減じるためには、浮体部側面を傾斜させ、隅角部を曲面することが望ましい。また、より効果を高めるためには浮体部の氷に接する部分を可能な限り滑らかにするために、浮体の表面をウレタン等でコーティングすることが望まれる。また、thermal thrustにより浮棧橋全体が一様に持ち上げられる保障はなく、局部的にかなり大きな応力が作用することになる。したがって、上述した3つの種類の中で構造的に単純で、剛性にも富んでいるモノコックタイプが寒冷地向きと云える。このモノコック浮体の概略図を図3に示す。浮体部側面の傾斜角は、浮体表面の材料によって異なるが、コンクリートの場合で60°～65°、表面をウレタン等でコーティングした場合で65°～70°が適している。

2) 浮棧橋の連結

浮棧橋のメイン棧橋における浮体同士の連結あるいはメイン棧橋の浮体とサブ棧橋の浮体の連結の方法は剛結した固定式連結、水平軸のまわりに回転できるヒンジ式の半固定式、チェーンで連結した自由連結式の三つの方式がある。(図4) 前述したように、thermal thrustの影響や岸壁、護岸近傍での曲げ破壊の影響等により、浮棧橋の上昇量の変動は著しく、そのため剛結部かヒンジ部での損傷が予想される。よって、連結部の局所的な応力負担を軽減するためにもチェーンを用いた自由連結が望ましい。

3) 浮体と支柱の連結方法

一般には、浮棧橋の波浪による動揺等を抑制するために1～4個のローラーを用いて支柱杭に固定され、上下動と若干の傾斜が可能となっている。しかし、寒冷地のマリーナでは結氷の影響により浮棧橋が傾斜する事が予測される。よって、一般に用いられている支柱と浮棧橋との連結より、より自由度の大きい結合方法が採用されねばならない。約1.5mの上下動を可能にし、かつ橋軸およびそれに直角方向の傾斜に対しても自由であるべきである。そのためには、ウレタンあるいはウレタンエラストマーで厚く被覆した円断面鋼管支柱を用い、浮棧橋側は半円の連結金具を用いる方が望ましい。

4) 支柱杭及び係船杭と海水氷盤の相互作用

前述したように固定式の棧橋と同様に、氷盤がそれと構造物に凍着すると、水位上昇時に杭を引き抜こうとする上向きの氷力が作用することになる。よって、固定式棧橋の場合と同様に、これに対する設計上の十分な配慮が必要となる。

4. 上下架施設と氷盤の相互作用

プレジャーボートの陸上と水面間の移動方法には、スロープ、レールランプといった施設を用いる方法、フォークリフト、ボートリフターそれにクレーンといった機械力を用いる方法がある。この中で氷の影響を受けるものとしては、走行式クレーンや移動式クレーンである。これらの施設では、移動用の桁をささえる2本の脚が海中に存在する。この2本の脚に鉛直方向の氷力が作用することがあるので設計には係留施設と同様な配慮が必要である。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論を要約すると以下の様である(表1)。

- (1) 寒冷地に建設されるマリーナの外郭施設の設計に際しては、①港口部からの流水侵入防止対策と、②防波堤からの越氷防止対策及び③港内結氷防止・遅延対策が必要である。それぞれの具体的対策工法としては、①浮沈式アイスブームの設

置、②防水柵の設置、③港口を風下側とする等が有効な対策工と考えられる。

(2) 係留施設の設計に際しては、固定式栈橋の場合には①杭と氷盤との凍着の防止、②凍着強度の小さい材料の選択、③フラッキングさせることによる氷力の低減化等をはかる必要がある。また、浮栈橋の場合には、①浮体をモノコックタイプとすること、②連結方式を自由連結とすること等の配慮が必要である。

(3) 上下架施設の設計に際しては、海中に存在する杭に対して、固定式栈橋と同様な配慮が必要である。

参 考 文 献

- 1) Enoki, K., Kunimatsu, S., Tabuchi, T., and Sasaki, H. : Characteristics of Ice Boom for controlling the Movement of Ice Floes, Proc of the 7th Okhotsk Sea and Sea Ice, P.111 - 115, 1992.
- 2) 今泉章 他：浮沈式アイスブームに関する実験的研究, 寒地技術シンポジウム講演論文集, Vol.6, P.445 - 448, 1991.
- 3) 水野雄三 他：波浪による防波堤の越水に関する研究, 海岸工学論文集, Vol.39, p.586 - 590, 1992.
- 4) マリーナの計画, 染谷明夫 他著, 鹿島出版会, 1990.
- 5) 中澤直樹 他：防舷材に作用する氷力について, 寒地技術シンポジウム講演論文集, Vol.5, p.387 - 393, 1989.
- 6) Ohtsuki, F. et al, Adfreeze Bond Strength of Sea Ice to Heavy Duty Coated Steel Pile, Proc of the IAHR International Symposium on Ice, p.127 - 281, 1988.
- 7) Nakazawa, N. et al : Ice Forces Due to Changes in Water Level and Adfreeze Bond Strength Between Sea Ice and Various Materials. Jour. of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (ASME). Vol.110, p. 74 - 81, 1988.
- 8) 寺島貴志 他：種々の条件下における鉛直方向氷力の計算方法について, 寒地技術シンポジウム講演論文集, Vol.10, p. 407 - 411, 1994.
- 9) 木岡信治 他：氷盤凍着時の円断面構造物に作用する鉛直方向氷荷重の計算, 寒地技術シンポジウム講演論文集, Vol. 10, p.412 - 418, 1994.
- 10) A.C.Wortley : Design of Harbor Structures for Boats, Proc of the Portland Ocean Engineering Under Arctic Conditions, Vol.2, p1283 - 1299, 1979.
- 11) A.C.Wortley : Marine Piling and Boat Harbor Structure Design for Ice Conditions, Proc. of the Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Vol.1, p.70 - 79, 1981.

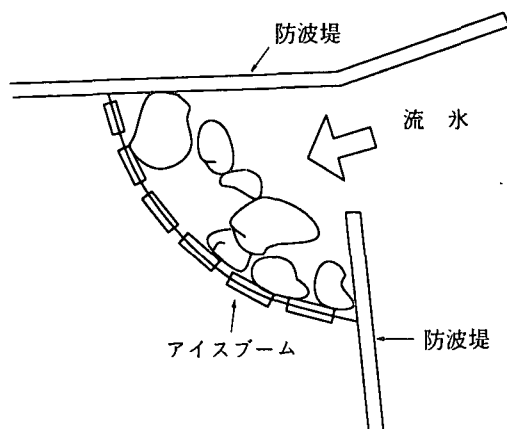


図1 流水侵入防止対策概念図

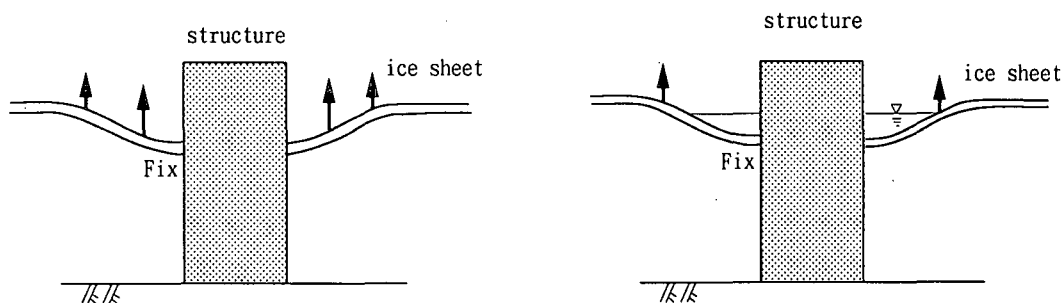


図2 フラッキング状態の概念図

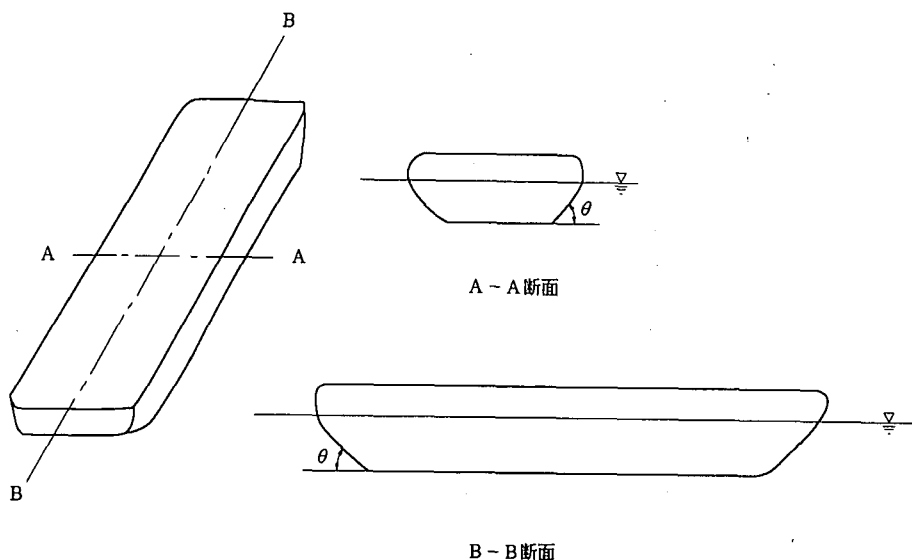


図3 モノコックタイプの概念図

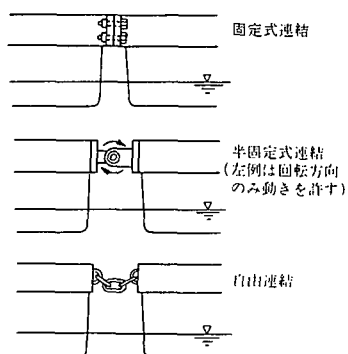


図4 連結方式の概念図

表1 寒冷地におけるマリーナ設計方法総括表

区分	施設名	現象	問題点	対策方法
外郭施設	港口	港内への流水侵入	係留施設等への被害	・浮沈式アイスブームの設置
	防波堤	防波堤からの越水	係留施設等への被害	・防水柵の設置
	港口の向き	港内への水晶の堆積	港内結氷	・風下側に港口を設置
係留施設	岸壁	潮位変動等により鉛直方向水力が作用	防舷材等への被害	・防舷材下端をL.W.Lより氷厚分下げて設置
	固定棧橋	潮位変動等により杭に鉛直方向水力が作用	固定棧橋の杭が引き抜かれる等の被害	・杭と氷盤との凍着防止 ・杭と氷盤間の凍着強度の小さい材料の選択 ・杭のまわりをフラッディングさせる
	浮棧橋	潮位変動等により杭に鉛直方向水力が作用	浮体部・連結部・杭等への被害	・浮体部をモノコックタイプとする ・浮体部側面を傾斜させる ・連結方式を自由連結とする ・固定杭に対して固定棧橋と同様な配慮をおこなう
上下架施設	固定杭	潮位変動等により杭に鉛直方向水力が作用	杭が引き抜かれる等の被害	・固定杭に対して固定棧橋と同様な配慮をおこなう