

鋼矢板護岸に作用する流氷の接触圧力に関する 現地計測

FIELD MEASUREMENT OF CONTACT PRESSURE BETWEEN ICE AND SHEET PILE IN WATERS INFLUENCED BY DRIFT ICE

河合孝治¹・牧田佳巳²・木岡信治³・寺島貴志⁴・竹内貴弘⁵

Takaharu KAWAI, Yoshimi MAKITA, Shinji KIOKA,
Takashi TERASHIMA, Takahiro TAKEUCHI

¹正会員 工修 社団法人 寒地港湾技術研究センター(〒001-0011 北海道札幌市北区北11条西2丁目10-4)

²正会員 北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所(〒093-0032 北海道網走市港町3)

³正会員 工博 独立行政法人 寒地土木研究所(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

⁴正会員 工博 株式会社 クマシロシステム設計(〒060-0807 北海道札幌市北区北7条西2丁目8)

⁵正会員 工博 八戸工業大学(〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開88-1)

It is known that the surface of the coastal structure built in waters influenced by drift ice is likely to suffer the abrasion due to sea ice movement. (Terashima et al.¹⁾) According to the past study of Saeki et al.²⁾, Ito et al.³⁾, and Terashima et al.¹⁾, it is clear that the abrasion rate of material of the structure due to ice movement strongly depends on contact pressure between ice and structure, but there is no field measurement on contact pressure between them. Therefore, in the past study, the amount of abrasion was estimated using contact pressure led by the dynamic balance of ice floe.

In this study, abrasion mechanism of the structure surface using the contact pressure between ice and the structure based on the field measurement is examined.

Key Words : Abrasion, Coastal structure, Drift ice, Contact pressure, Field measurement

1. 研究目的

北海道のオホーツク海沿岸など、氷盤の移動が活発な水域に建設される構造物は、接触や衝突といった氷盤が構造物に及ぼす作用により、その表面が摩耗することが知られている。例えば、寺島等¹⁾のサロマ湖第2湖口における調査結果によると、流氷の影響を受けると考えられる鋼矢板の凸部における飛沫帯の腐食・摩耗速度は0.20～0.35mm/年であり、流氷の影響を受けない凹部の腐食速度0.04～0.10mm/yearと比較して大きな値を示しており、鋼矢板の表面において、流氷の移動に伴う摩耗が進行していると推定されている。

一方、佐伯等²⁾、伊藤等³⁾、寺島等¹⁾によれば、流氷の作用に伴う構造物材料の摩耗速度は、氷盤と構造物間の接触圧力に強く依存することが明らかとなっているが、この接触圧力について現地で計測された事例は皆無であり、これまでの摩耗量の推定においては、力学的な仮定を基に接触圧力の推定を行っている。

本論文では、オホーツク海に面したサロマ湖第2湖口において、護岸鋼矢板に作用する接触荷重を計測

した結果をもとに、流氷の構造物への作用形態と接触圧力の関係を整理した上で、流氷の作用に伴う構造物材料の摩耗について考察を行う。

2. 研究対象箇所

本研究の対象箇所は、図-1に示す北海道に位置するサロマ湖の第2湖口である。



図-1 調査箇所

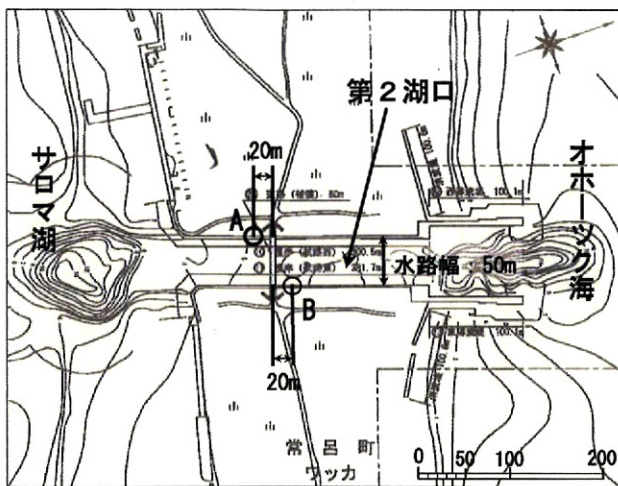


図-2 調査箇所位置図

サロマ湖は、オホーツク海に面した周囲約 90km、面積約 150km² であり、北海道で最大、全国でも 3 番目に大きい汽水湖である。湖内はホタテの稚貝生産や、ホタテカキの養殖漁場として利用されている。サロマ湖は、湧別側の第 1 湖口と、常呂側の第 2 湖口の 2 つの湖口により、オホーツク海と繋がっており、第 2 湖口は昭和 48 年に開削が開始され、昭和 53 年に通水、昭和 59 年に施設が完成している。現況の水路幅は 50m であるが、施設の老朽化に伴う改修に合わせて、75m に拡幅する計画となっている。

3. 鋼矢板の腐食摩耗量調査

(1) 調査位置と調査年度

サロマ湖第 2 湖口において、平成 7 年度には寺島等¹⁾により、また平成 19 年度には北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所⁴⁾により、鋼矢板の腐食摩耗量調査が行われている。腐食摩耗量は図-2 に示すとおり、水路左岸側は橋梁から上流 20m の位置、水路右岸側は橋梁から下流 20m の位置においてそれぞれ計測されている。また、鉛直方向には、水面から海底面まで 50cm ピッチで計測されており、腐食量が大きくなる L.W.L から ±1.0m までは 25cm ピッチで計測されている。なお、鋼矢板の調査面は、矢板凸部、凹部、及び側面の 3 箇所であり、1 箇所あたり 5 点の平均値を残存肉厚として計測した。

(2) 調査結果

腐食摩耗量調査結果の一部を図-3、図-4 に示す。調査結果より、鋼矢板の凸部と凹部において、矢板の肉厚減少量が大きく異なっていることが大きな特徴である。凸部における腐食摩耗量は、左岸側で最大 8.41mm、右岸側で最大 7.48mm となっており、施設耐用年数 30 年間の許容腐食量 3.6mm を大きく超過している。これは、流砂による摩耗の影響も考えられるが、目視調査より流水が鋼矢板に接触している状況、及び L.W.L 付近において鋼矢板表面の錆が削り取られた痕跡が見られたことから、流水の作用に伴い腐食・摩耗が促進されていると考えられる。

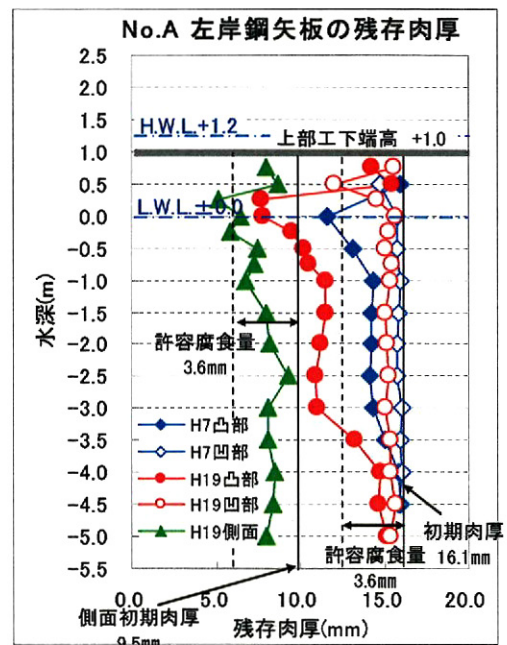


図-3 腐食摩耗量調査結果

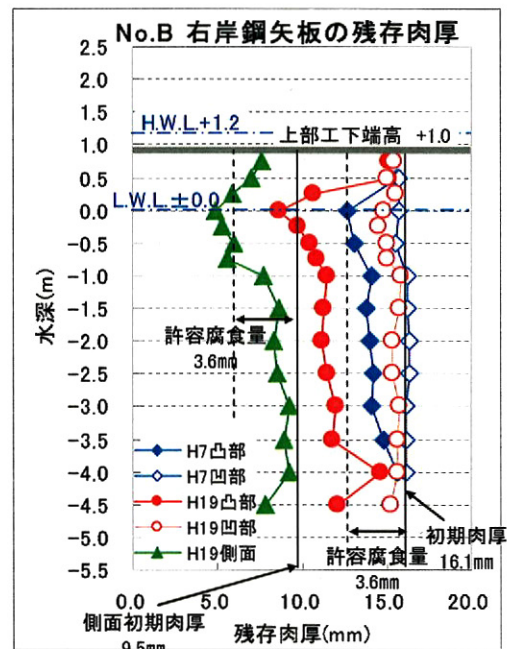


図-4 腐食摩耗量調査結果



図-5 鋼矢板の流水接触痕

4. 流水流出入形態に関する目視調査

「3. 鋼矢板の腐食摩耗量調査」において、サロマ湖第2湖口における鋼矢板の肉厚減少量が、一般的な腐食に加えて大きくなっている要因として、流水の作用に伴う摩耗が示唆された。流水による摩耗メカニズムを把握するためには、水路内において流水が護岸鋼矢板に対してどのように作用しているかを把握することが重要である。このため、サロマ湖第2湖口における流水の流出入形態について、目視調査を行った。目視調査は、オホーツク海沿岸に流水が接岸する時期を考慮し、平成20年2月中旬～3月下旬にかけて行った。目視調査の結果、流水の流出入形態としては、①流水が完全に接岸する前に波浪とともに湖内に侵入するパターン(図-6)、②疎らな状態で流出入するパターン(図-7)、③氷盤同士が互いに密に接した状態で水路全幅に渡って流出入するパターン(図-8)の大きく3パターンに分類される。なお、湖内側のアイスブームや、接岸している流水に氷盤がトラップされた場合には、氷盤の移動は無い。

5. 流水諸元調査

流水による鋼矢板の摩耗の鉛直分布を把握するためには、流水の氷厚が重要な要素となる。河合等⁵⁾は、サロマ湖第2湖口近傍の海岸において、接岸している流水の大きさについて調査を行っている(図-9)。これによると、氷厚70cmのものが最も多く、氷厚1m以下のもので89(%)を占めるという調査結果が得られている。稀に、1.5m以上の氷厚のものが見られるが、これは氷盤が波浪や潮汐等の作用により重なり合い、再凍結したものと考えられている。

6. 流水－鋼矢板間の接触荷重計測

(1) 調査位置

「4. 流水流出入形態に関する目視調査」によって把握したパターンにより流水が流出入する際に、どの程度の接触圧力で作用しているかを把握するため、図-10に示す位置に護岸鋼矢板に荷重計測機器を設置し、流水－鋼矢板間の接触荷重を計測した。

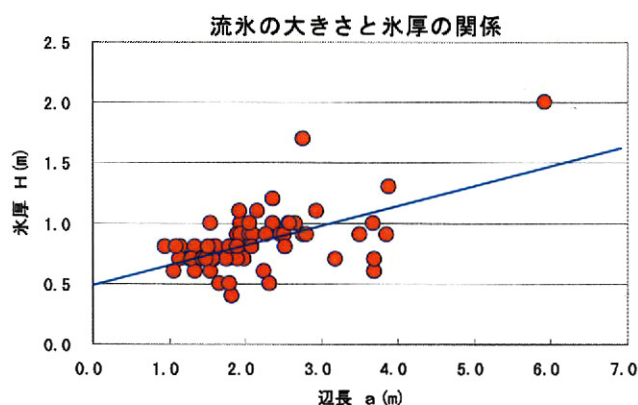


図-9 サロマ湖第2湖口近傍海岸の流水諸元



図-6 波浪とともに流水が湖内に侵入するパターン

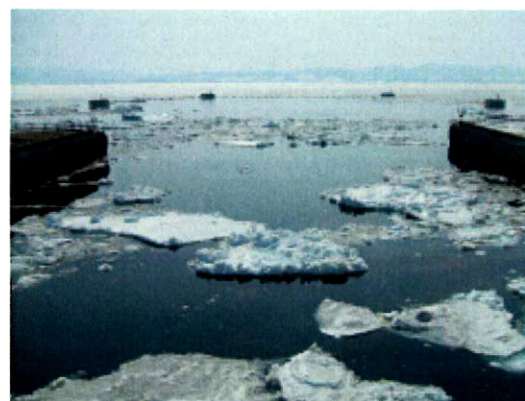


図-7 まばらな状態で流水が流出入するパターン



図-8 全幅に渡って流出入するパターン

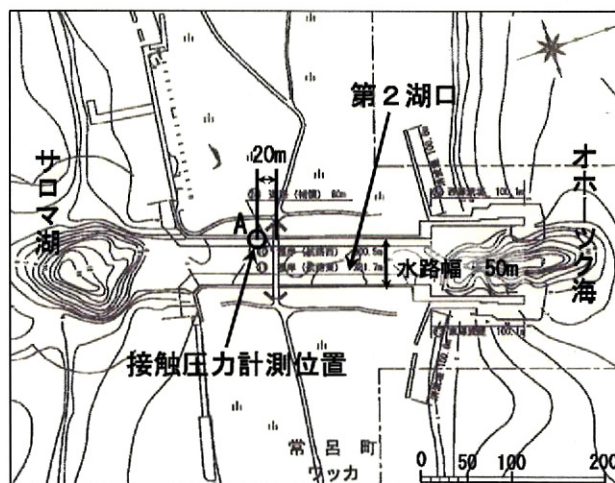


図-10 流水－鋼矢板間接触圧力計測位置

(2) 調査期間と調査回数

接触圧力計測は、平成 20 年 2 月 25 日～3 月 21 日の約 1 ヶ月間において行った。計測回数は、上げ潮時（流入時）に 33 回、下げ潮時（流出時）に 37 回、潮止まり時に 45 回、計 115 回であった。このうち、氷盤の接触があったのは、上げ潮時（流入時）に 22 回、下げ潮時に 25 回、潮止まり時に 17 回、計 64 回であった。

(3) 調査方法

接触荷重は、図-11 に示すとおり矢板凹部に受圧盤を設置し、その背面にロードセル(200kN)を取り付けることにより計測した。受圧盤は、縦 500mm×横 300mm とし、潮位変動にも対応出来るよう L.W.L を中心として上下 2 枚を取り付けた。サンプリング周波数は、長時間(20 時間程度)の計測の場合には 100Hz、短時間(3 時間以内)の計測の場合には 1kHz とした。また、流水の護岸鋼矢板への作用形態と接触圧力の関係を把握するため、接触圧力計測時には、ビデオ撮影を行った。接触圧力計測用の受圧盤の設置状況を図-12 に示す。

(4) 調査結果

調査結果の一部を図-13～図-18 に示す。これらは、氷盤の接触が確認されたケースのうち、ピーク荷重（連続的荷重）が観測され、かつビデオ観測にて氷盤と護岸の作用形態が確認された代表的なケースである。

また、ビデオ観測によると、流水の水路護岸への作用形態は、①流水が構造物表面に接触しながらスムーズに移動するパターン、②アイスブーム等により氷盤がトラップされ流水が静止した状態で構造物表面に接触するパターン（氷盤群の下面に作用する流体力が氷盤を介して護岸に荷重が作用する）、③波浪の侵入とともに流水が衝撃的に作用するパターンの 3 パターンに分類される。なお、③の流水が衝撃的に作用するパターンは非常に稀な現象であり、今回の計測において、このパターンの荷重は計測されなかった。

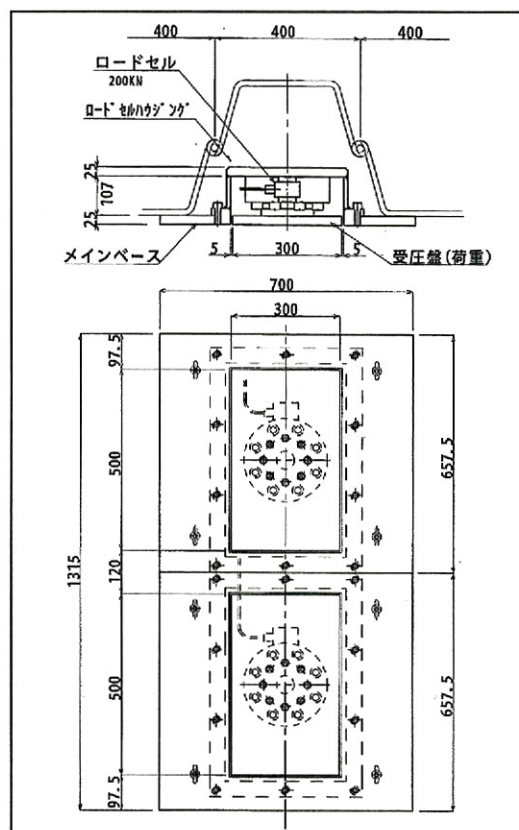


図-11 接触圧力計測システム概略図

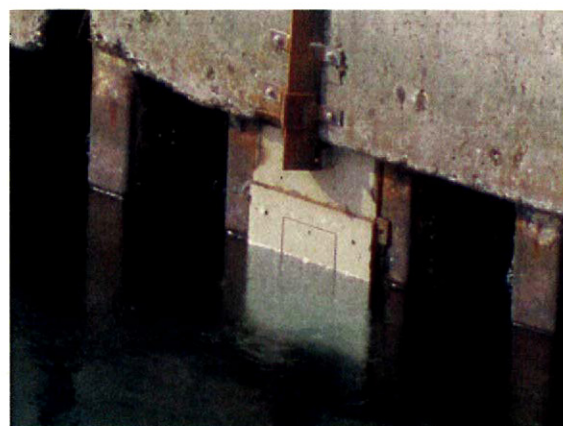


図-12 接触圧力計測受圧盤設置状況

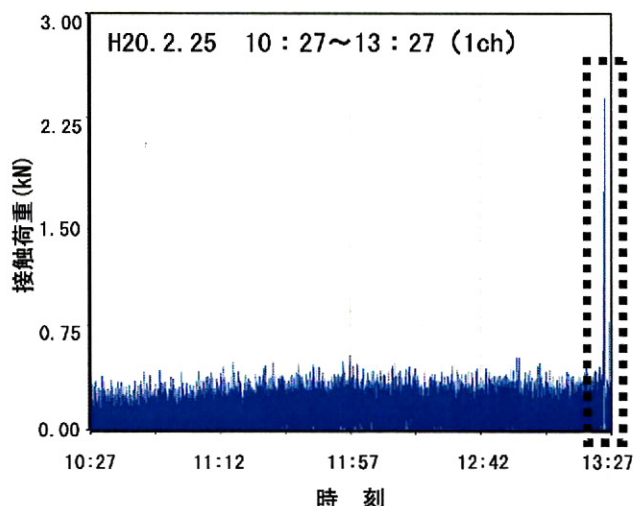


図-13 接触荷重計測結果（2月25日）

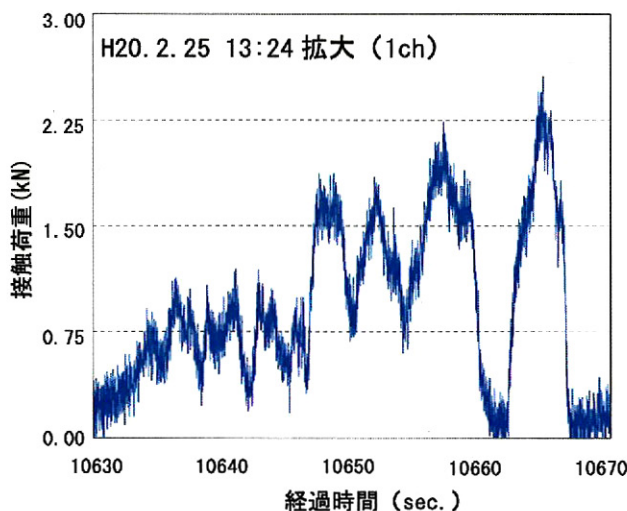


図-14 接触荷重計測結果（2月25日拡大）

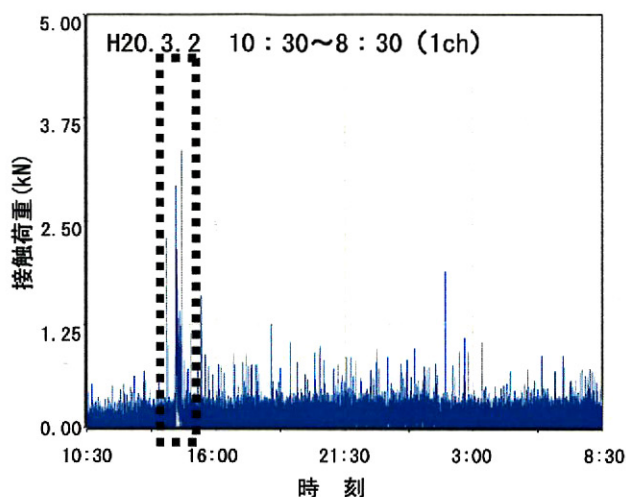


図-15 接触荷重計測結果 (3月2日)

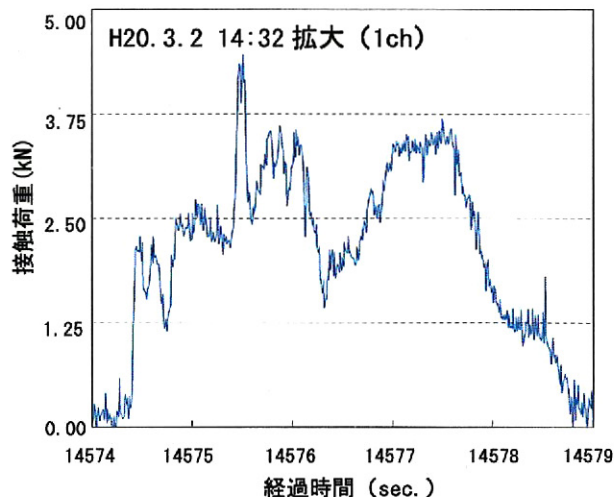


図-16 接触荷重計測結果 (3月2日拡大)

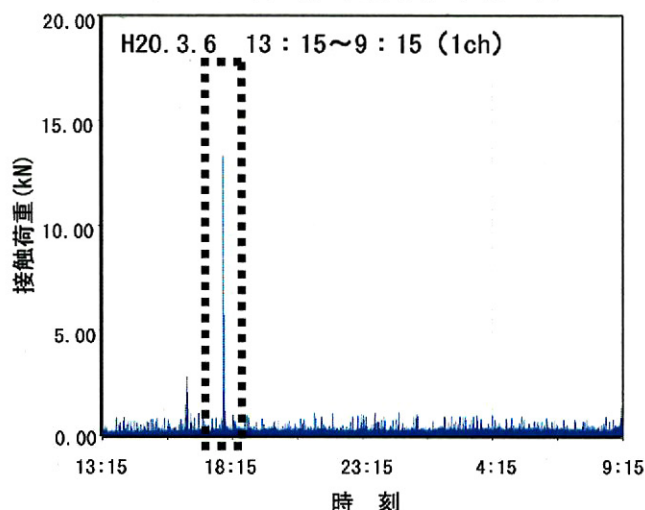


図-17 接触荷重計測結果 (3月6日)

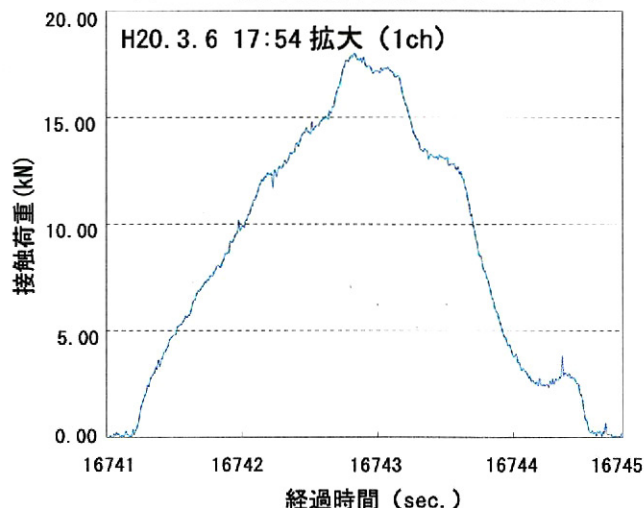


図-18 接触荷重計測結果 (3月6日拡大)

7. 接触荷重計測結果に関する考察

(1) 流水の作用形態と接触圧力の関係

流水が水路内をスムーズに移動している場合には、側壁に作用する荷重は非常に小さい。これは、氷盤間の荷重伝達が無い（或いは非常に小さい）ために、側壁に働く氷力が非常に小さいと考えられる。また、ピーク荷重（連続的荷重）は、氷が静止している状態（静止→移動、移動→静止状態といった遷移状態）で表れることが多い。これは、氷盤群の下面に作用する流体力が密に接している氷盤間で互いに伝達しあい、間接的に側壁にピーク荷重（連続的荷重）が作用していると考えられる。しかしながら、ピーク荷重の作用時間は、今回の全計測時間のうち、わずかに0.3(%)程度であったことから、氷が比較的高い接触圧力で構造物と接触して、矢板表面を直接的に摩擦させる時間は非常に短いと考えられ、流水と構造物が接触しながら直接的に摩擦が進行するアプレシブ摩擦が支配要因ではないと考えられる。更に、水路が氷盤に覆われ、護岸と接触しているように見えても必ずしも荷重が作用しているとは限らない。これは、氷盤が受圧盤に接触していない、或いは氷盤間にシャーベット状の氷が介在し、荷重伝達が無い（或いは非常に小さい）ためと考えられる。

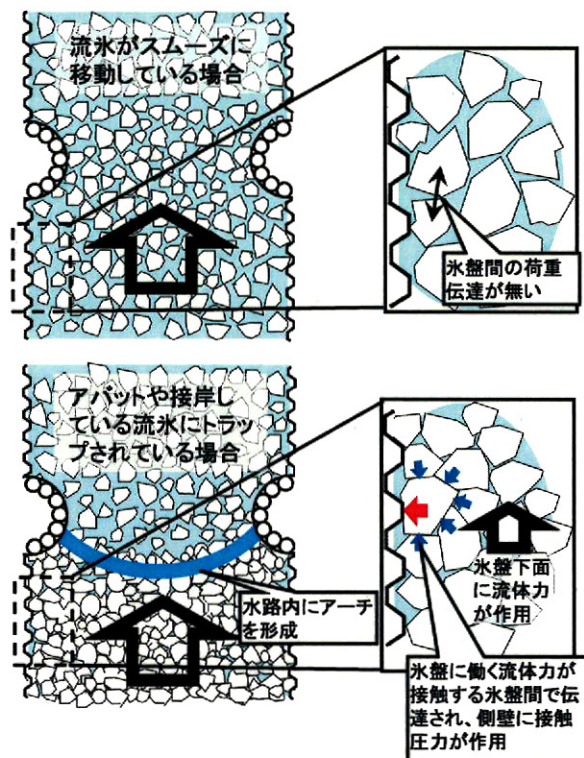


図-19 流水の作用形態と接触圧力に関する概念図

(2) 流水－鋼矢板間の接触圧力に関する考察

今回現地で観測された値によると、「水路内をスムーズに移動する状態」での平均的な押圧力は、大凡 0.1～1(kN)程度で、これが全面接触しているとすると接触圧力は 1～7(kPa)となる。また、連続的なピーク荷重は、「氷盤群が静止している状態」や、静止から移動、或いは移動から静止といった「遷移状態」において表れ、その接触圧力は、「遷移状態」で 7～30(kPa)、「静止状態」で 30～130(kPa)程度であった。

一方、佐伯等²⁾が行った摩耗実験においては、接触圧力は 1～3MPa と設定されており、今回の現地計測の値と比べると非常に大きい。これは、海中灯台や河川の橋脚など、構造物に対し直角方向に作用する場合を想定しているためと考えられる。

また、寺島等¹⁾によると、サロマ湖第 2 湖口のような水路における氷盤と側壁との接触圧力は、氷盤群がアーチを形成しながら通過するという仮定のもと、氷盤に作用する流体力の 1/2 が側壁に作用するとして計算している。例えば、氷盤と水の間の摩擦係数 C_f をアイスジャム状態の 0.1、流速を最大の 2.7(m/s)とした場合、全面接触状態において 300(kPa)程度となる。最大流速の 2.7(m/s)は、オープンな状態での最大値であり、水面が氷盤に覆われた場合の平均流速を仮に 1.5(m/s)と仮定すれば、100(kPa)程度となり、今回の「静止状態」での接触圧力に近い。

一方、竹内等⁶⁾が行った氷盤の準静的な作用を仮定した数値計算によると、全面接触とした場合、最大で 0.1～0.2(kPa)【 $C_f=0.026\sim0.3$ 】程度となっており、オーダー的には今回の「水路内をスムーズに移動する状態」での接触圧力に比較的近い結果が得られている。

8. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

- ・ 鋼矢板の腐食摩耗量調査結果より、流水が作用する海域における鋼矢板等の構造物材料は、一般的な腐食に加え、流水の作用に伴う摩耗が生じていると考えられる。
- ・ 流水の水路護岸への作用形態は、①流水が構造物表面に接触しながらスムーズに移動するパターン、②アイスブーム等により氷盤がトラップされ流水が静止した状態で構造物表面に接触するパターン、③波浪の侵入とともに流水が衝撃的に作用するパターンの 3 パターンに分類される。
- ・ 今回の現地計測において、比較的大きな荷重が表れた連続的な荷重の作用時間は全計測時間のわずか 0.3%と非常に短時間であることから、

サロマ湖第 2 湖口のように流水が水路内を移動する作用形態の場合は、流水と構造物が接触しながら直接的に摩耗が進行するアブレシブ摩耗が支配要因ではないと考えられる。

- ・ 流水が水路内をスムーズに移動する際に、護岸鋼矢板に作用する接触圧力は 1～7(kPa)と非常に小さく、断続的に作用する。これは、氷盤の準静的な作用を仮定して計算した竹内等⁶⁾の数値計算結果と比較的近い値である。
- ・ 連続的なピーク荷重は、遷移状態で 7～30(kPa)、静止状態で 30～130(kPa)程度であった。これは、氷盤群がアーチを形成しながら通過するという仮定で推定した寺島等¹⁾の推定結果に比較的近い値である。
- ・ 現場の受圧盤や鋼矢板には流水の接触痕が見られ、その部分の腐食が進行している状況が確認されていることから、水路内を移動する氷盤による摩耗は、アブレシブ摩耗よりも腐食と摩耗の相互作用が卓越している可能性がある。今後、室内実験等により、腐食摩耗も含めた摩耗メカニズムの解明が課題である。

謝辞：本研究を進めるに当たり、北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所より、腐食摩耗量調査データ、接触荷重計測データをご提供頂いた。また、接触荷重のデータ取得に当たっては、(株)丸田組(当時、島田建設(株))の成田恭一氏に多大なるご協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 寺島貴志, 今泉章, 佐藤光一, 中田克哉, 花田真州, 佐伯浩: 氷盤移動による鋼矢板の摩耗とその推定法, 海洋開発論文集, Vol. 13, pp. 813-818, 1997.
- 2) 佐伯浩, 浅井有一郎, 泉湧, 竹内貴弘: 海氷によるコンクリートの摩耗に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 1, pp. 68-73, 1985.
- 3) 伊藤喜栄, 浅井有一郎, 佐伯浩, 折谷徳広, 石井千万太郎: 氷盤移動による海洋構造物の摩耗の予測と制御について, 海洋開発論文集, Vol. 8, pp. 147-151, 1992.
- 4) 北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所, 平成 19 年度能取漁港外 1 港施設現況調査業務報告書, 2008.
- 5) 河合孝治, 木岡信治, 成田恭一, 寺島貴志, 竹内貴弘: オホーツク海沿岸における流水のサイズに関する現地計測結果, 寒地技術論文・報告集, Vol. 24, pp. 233-236, 2008.
- 6) 竹内貴弘, 木岡信治, 寺島貴志, 河合孝治: 開水路中を移動する氷盤が側壁へ与える準静的圧力, 寒地技術論文・報告集, Vol. 24, pp. 233-236, 2008.
- 7) 北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所, 平成 19 年度サロマ湖漁港施設整備検討業務報告書, 2008.
- 8) 北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所, 平成 20 年度サロマ湖漁港施設整備検討業務報告書, 2009.