

## ADCP を用いた流下河氷の氷厚推定

Estimation of thickness of river ice using ADCP

(国研) 土木研究所寒地土木研究所 ○正員 横山 洋 (Hiroshi Yokoyama)  
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正員 前田俊一 (Shuninchi Maeda)  
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正員 矢部浩規 (Hiroki Yabe)

### 1. はじめに

積雪寒冷地である北海道において、コンクリート製の河川構造物は凍害による劣化、損傷が数多く確認されている。さらに結氷河川においては、構造物への河氷の衝突や摩擦が生じ、塩水遡上区間では塩分の影響も受け、一層厳しい物理環境となる。凍害、塩害、河氷衝突による複合劣化の詳細なメカニズムには不明な点が多く残るのが現状である。したがって、このような厳しい環境下での河川構造物に対する効果的、効率的な点検、診断手法及び劣化予測手法等の確立は、積雪寒冷地における適切な河川維持管理に不可欠である。

本研究で対象とする網走川下流特殊堤は、1979年から1992年にかけて網走川 KP0.9~KP5.0 にかけて加圧コンクリート矢板を用いて築造された<sup>1)</sup>。当該区間は塩水遡上区間であり、冬期はコンクリート矢板に対する河氷の衝突や摩擦が頻繁に確認されている。このような厳しい物理環境の下、矢板部の損傷や鉄筋露出が進み、複合劣化が顕著に見られることから、現在補修工事が進められている(写真-1 参照)。

特殊堤矢板の複合劣化の原因については、劣化が矢板凸部で進行する一方、凹部では生じていないこと、また矢板の干満帯で劣化が顕在化していることから、矢板部の劣化進行は凍害、塩害が主要因ではなく、河氷の衝突・接触が主要因であると推定されている<sup>1)</sup>。また、網走川下流部の橋梁の中には、ピアの干満帯の上流側部分の欠損が認められるものがある一方で、同じピアの下流側部分には欠損が見られないことから、河氷の衝突がコンクリートの劣化に大きな影響を与えていることが想像できる(写真-2 参照)。さらに類似の事例として、汽水湖であるサロマ湖岸のコンクリート鋼矢板の劣化でも、一般的な腐食に加え、流氷による摩耗作用の可能性が指摘されている<sup>2)</sup>。これらの事例から、護岸部のコンクリート鋼矢板の凍害劣化進行には、氷板衝突の衝撃・磨耗の影響が大きいと推察される。

なお、河氷が構造物に衝突する際の衝撃力は、阿部らによると構造物への河氷接近速度、河氷の平面積、河氷厚が支配的なパラメータとされる<sup>3)</sup>。そこで著者は、網走川特殊堤のコンクリート矢板に対する河氷衝突による衝撃力評価に向け、氷板挙動に関する現地観測を実施している。河氷の平面積及び移動速度は画像連続撮影等により直接算定できる一方、完全結氷しない状況下での河氷厚を直接かつ連続的に計測することは極めて困難である。結氷河川における間接的な氷厚連続計測として、音響測深器<sup>4)</sup>、ADCP<sup>5)</sup>、SWIP<sup>6)</sup>が用いられているが、こ



写真-1 コンクリート矢板の劣化状況<sup>1)</sup>



写真-2 ピア上流側部分の欠損 (2017年7月31日)

れらの事例は完全結氷下での氷板厚推定であり、完全結氷していない状況下で流下する河氷の氷板厚推定は行われていない。

本研究では、完全結氷していない状況下における移動河氷の厚さを連続推定するため、ADCPによる河氷厚の連続的な観測を試みるとともに、あらかじめ形状を調整した氷をADCP上に流下させ、氷厚の推定値と実測値を比較して精度を検証した。

### 2. 河氷厚推定試験の概要

#### (1) 試験実施箇所及び日時

試験実施箇所は、図-1に示す網走川 KP3.1 右岸の塩水遡上区間である。写真-3に試験実施箇所の河岸状況



図-1 網走川調査実施箇所（地理院地図に加筆）



写真-3 調査地点の特殊堤（2017年2月）



写真-4 調査地点を流下する河水（2017年2月24日）

を示す。河岸はコンクリート矢板による特殊堤である。また写真-4に示すとおり、冬期は流下する河水が特殊堤の矢板に衝突する状況が確認されている。

河氷厚推定試験は、融雪出水期以前である2017年3月6日に行った。試験開始は日最高水位に近い8時、終了は日最低水位に近い17時であった。

なお本試験での河氷厚推定方法は(3)で、試験の条件設定は(4)で後述する。

## (2)現地計測項目

計測機器の現地設置概況を図-2に示す。

ADCP (RDI Workhorse sentinel 1200kHz) は河床から

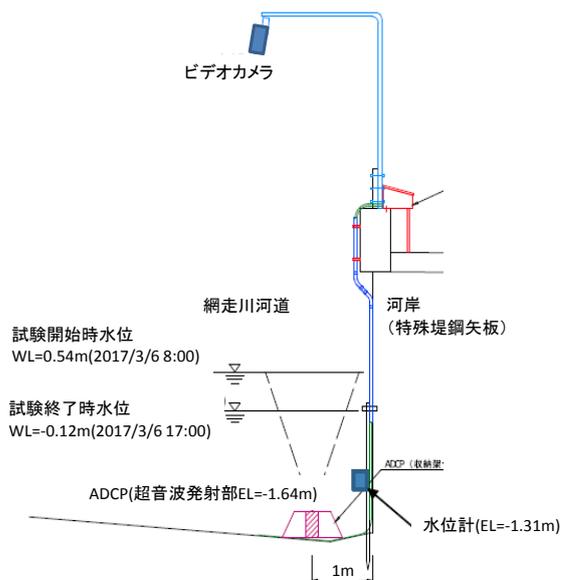
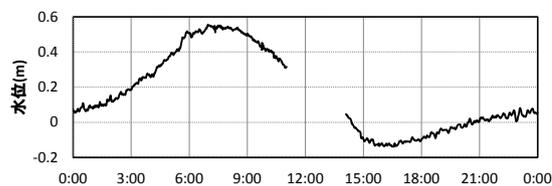
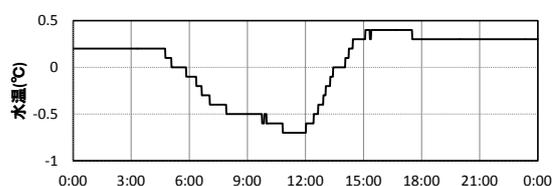


図-2 観測機器の設置概要



(a) 水位



(b) 水温

図-3 水位・水温計測値

上向きに固定して設置した。河岸からは1m離して設置している。ADCPの鉛直計測層厚は0.25m、計測データは1秒平均値で出力している。

水位・水温計（応用地質 S&DL mini）はADCP近傍の河岸近傍に単管を介して設置した。計測データは1分平均値で出力している。図-3に水位及び水温計測結果を示す。途中11時03分から14時05分まで水位の欠測が生じているため、この間の河川水位は線形補間して氷厚推定等の各解析を行っている。

赤外線照明搭載ビデオカメラ（Panasonic WV-SOW631LJ）は河岸に設置したポールから鉛直下向きに設置し、特殊堤近傍の河氷移動状況を連続撮影した。

## (3)ADCPによる河氷厚推定手法

ADCPによる河氷厚推定は、吉川らの方法を参考にした。吉川らは完全結氷した河川で、河床から上向きにADCPを設置し、ボトムトラッキング機能を利用して河氷底面の位置を把握し、実測値と比較して良好な結果を得ている<sup>5)</sup>。本研究においてもボトムトラッキング機能及び超音波反射強度の鉛直分布をもとに、河氷底部の位

置把握を試みた。

精度検証は、氷厚を変えて用意した氷を ADCP 上に浮かべ、ADCP のボトムトラッキング機能により算出される水面下の推定河氷厚と、水面下の実測河氷厚を比較することにより行うこととし、ADCP による水面下の推定河氷厚は、ADCP から得られた推定水深をもとに、以下のとおり算定した。

$$d_{est} = H_s - z_a - h_{est} \quad (1)$$

ここで  $d_{est}$ : 水面下の推定河氷厚,  $h_{est}$ : ADCP ボトムトラックから得られる水深,  $H_s$ : 自記水位計で計測した水位,  $z_a$ : ADCP のビーム発射部の標高 (EL-1.64m) である。なお、ADCP による推定水深は、ADCP の発射ビーム角 (20°) ならびに ADCP 設置状況による傾き (コンパスによる値) を考慮して補正している。ADCP の発射ビームは4本あるが、ビームによるトラッキング値の中には河氷底面を捉えていないものも見られた。そこで、推定水深は河氷底面を有効に把握しているビームでのボトムトラッキング値を用いた。また、ADCP 上に氷板が位置している時間帯は、ビデオカメラによる撮影画像をもとに、解析時に判別している。

**(4)試験の条件設定**

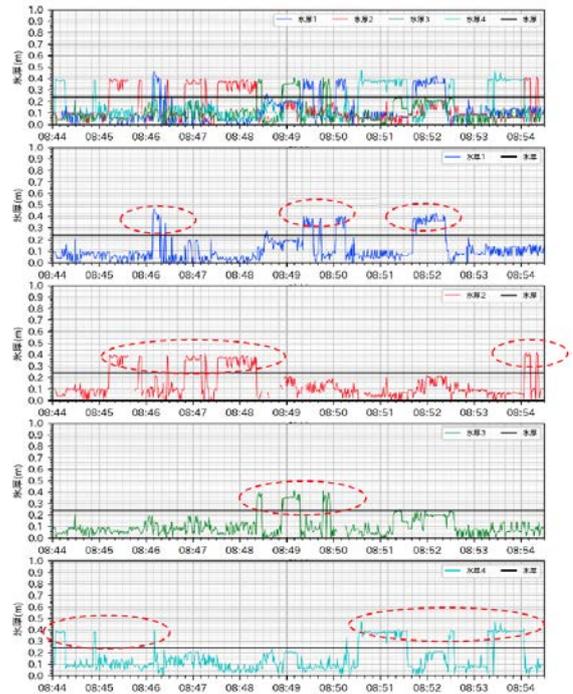
試験に用いる氷は網走市の水道水を凍らせたものを購入し、現場搬入前に氷厚を 10cm, 20cm, 30cm, 45cm の4種類に整形した。氷は ADCP 計測地点の上流約 10m の河岸から河道内に搬入し、船上から作業員がポール等で ADCP まで誘導して移動させた。氷板を河道内に浮かべて試験を実施している間にも氷が解けて氷厚が変化することから、試験中に適宜水面上及び水面下の河氷厚を実測している。精度検証のための氷厚の計測は26回行い、うち15回は氷板を ADCP 直上で船上の作業員がポールで静止させた状態を保って計測 (以下、「静止計測」と記す) し、残りの11回は ADCP 付近で氷板を静止させずに移動させた状態で計測 (以下、「移動計測」と記す) した。静止計測と移動計測は可能な限り交互になるよう行っている。試験1回あたりの所要時間は約4~6分であった。

**3. 試験結果及び考察**

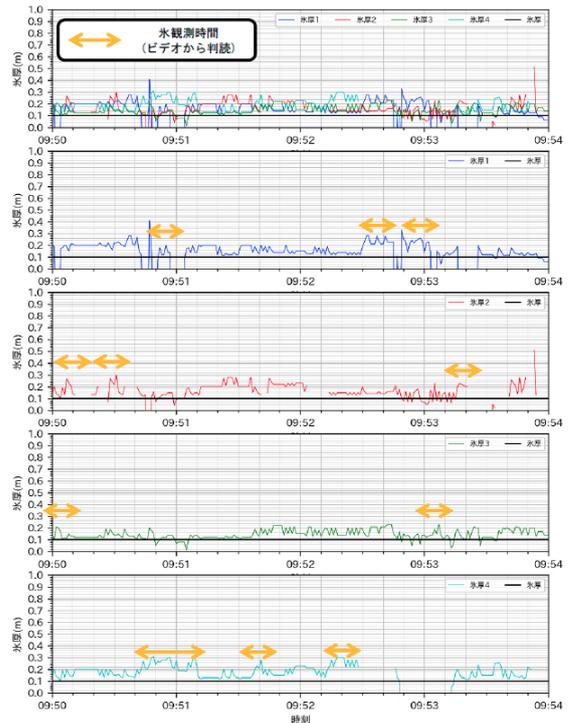
ADCP による観測結果の一例を以下に示す。

図-4(a)は静止計測での観測結果例である。グラフ中の氷厚1~氷厚4は、4本のビームのボトムトラッキングによる氷厚値である。黒の実線は実測の氷厚 (このケースでは水面下の氷厚 24cm) である。いずれのビームでも観測期間中、氷板厚が一定の値に増加している時間が数10秒程度複数回出現している状況が確認できる。なおボトムトラッキングによる氷厚は、実測の氷厚に比べて10cm程度大きく出ていることがわかる。グラフ中の赤丸で囲んでいる時間は、ビデオ画像から ADCP 上に氷板が通過した時間帯である。ADCP のボトムトラッキングにより、現地での氷板通過時間帯が概ね計測できていると言える。

図-4(b)は移動計測での観測結果例である。このケー



(a) 静止計測



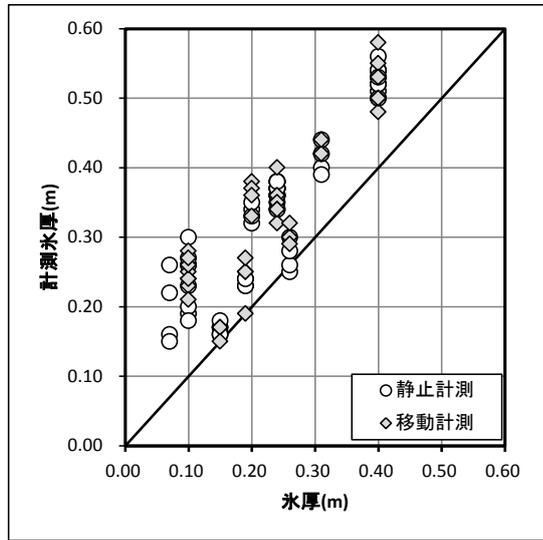
(b) 移動計測

図-4 ADCP による観測結果

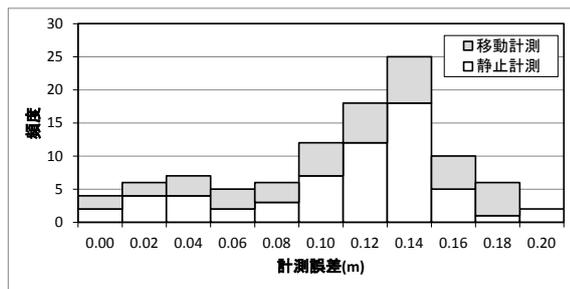
スでは、実測氷厚 (このケースでは水面下の氷厚 0.1m) と ADCP による推定氷厚の誤差が 0.2m 程度生じている。ただしビデオから判読した氷板通過観測時間と、ボトムトラッキングから得られる氷板厚変化の時間帯が概ね一致していることから、氷板通過時刻については ADCP により概ね再現できていると言える。

続いて各ケースでの水面下の実測氷板厚と ADCP による水面下の推定氷板厚を比較する。図-5 は静止観測

及び移動観測での実測氷板厚と推定氷板厚の誤差及びヒストグラムを示している。推定氷厚保は実測氷厚に対し概ね 0.1~0.2m 程度大きくなっており、氷板厚や観測手法（静止，移動）によっても傾向に違いがない。この原因については、今後より詳細に検討を進める予定である。



(a) 実測氷厚と ADCP による推定氷厚



(b) 推定氷厚の誤差ヒストグラム

図-5 実測氷厚と ADCP による推定氷厚の誤差

いただいた皆様にここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 滝口真澄, 大田見定, 澤田公男: 網走川下流部特殊堤に生じた変状の要因分析及対策について, 第 56 回 (平成 26 年度) 北海道開発技術研究発表会, 2015
- 2) 河合孝治, 牧田佳巳, 木岡信治, 寺島貴志, 竹内貴弘: 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, 海洋開発論文集, 第 26 巻, 2010
- 3) 阿部孝章, 吉川泰弘, 平井康幸: 結氷時河川津波による漂流氷板の衝突力評価に関する研究, 河川技術論文集, 2012
- 4) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 白井博彰: 天塩川における雪面高と氷底面高の連続測定, 第 24 回寒地技術シンポジウム論文集, pp210-215, 2008
- 5) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 清治真人: 氷板下における晶氷厚の連続測定, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1027-1032
- 6) 橋場雅弘, 吉川泰弘, 渡邊康玄: 結氷河川における SWIP を用いた河氷の晶氷厚の測定, 河川技術論文集 第 12 巻, pp.265-270, 2010

4. まとめ

ADCP による河氷厚及び河氷通過時間帯の推定を行った。また、ADCP 上での氷の静止観測及び移動観測を比較し、観測値の傾向に違いが出るのかを検証した。本研究で得られた結果を以下に示す。

(1) 河氷厚については、静止観測及び移動観測で誤差の傾向の違いは見られなかった。

(2) ADCP ボトムトラッキングにより、氷板が ADCP 上に静止または通過する時間帯は概ね再現できている。

今後は、氷板厚の誤差の原因についてより詳細に検討を進めるとともに、氷板通過時のボトムトラッキングの反応についても検討を進める予定である。

謝辞

本研究の実施に当たり、北海道開発局網走開発建設部には現地データ提供のほか、現地調査で多大なご協力をいただいた。北見工業大学吉川助教には ADCP を用いた河氷観測実施及び結果解析において多くの有益な助言をいただいた。その他現地調査実施に当たり協力をいた