

河川水面に存在する氷板が塩水遡上速度に与える影響

土木研究所 寒地土木研究所 正会員 吉川 泰弘
土木研究所 寒地土木研究所 正会員 赤堀 良介

1. はじめに

河川河口域では、潮汐による海面上昇によって塩水が河川を遡上するため、多様な生態系を形成している。一方で、上水道の取水口に塩水が流入する取水障害の発生や、汽水湖の下層に塩水が流入・滞留するため、下層が無酸素状態となり青潮などの水質事故が発生している。これらの対策を立てるためには、現象を十分に把握することが重要であり、開水時の塩水遡上現象においては、従来より研究が実施されている。冬期に気温がマイナスとなる寒冷地の河川は、気温の低下に伴い河川水面に氷が形成され、北海道においては12月下旬頃から4月上旬頃まで結氷する。河川結氷時の流況は、河床粗度の影響に加えて氷の粗度の影響を受けるため、開水時の流況と異なる。河川結氷時の塩水遡上現象に関する既往研究¹⁾では、現地観測結果から氷の影響によって塩水遡上が遅れるとの有益な知見が得られている。しかし、現在、開水時の塩水遡上現象に比べて、河川結氷時の塩水遡上現象は、十分には解明されていない。

本研究は、流れがある河川水面に模型氷板を設置した塩水遡上実験を行い、氷板が塩水遡上速度に与える影響を明らかにすることを目的としている。

2. 塩水遡上実験

実験水路²⁾の水路床および水路側面は透明なアクリル板で構成されており、実験区間の水路長は9m、水路幅は0.2m、水路床勾配を0である。淡水と塩水の供給は、交流電圧安定化装置(omron製, RE100FW)に接続したポンプにより行った。

実験ケースは、下流端から塩分濃度25.6PSUの塩水を0.37L/sで供給し、塩水流量は固定して、上流端から淡水を0.4L/s, 0.6L/s, 0.8L/sで供給する3ケースを設定した。氷板がないケース、氷板が上流側半分まであるケース(氷板存在範囲: 2.8m~9.0m(下流端0m))、氷板が上下流全部あるケース(氷板存在範囲: 0.05m~9.0m(下流端0m))の3ケースを設定した。実験ケースは上記の3ケース×3ケースの合計9ケースである。なお、水深は水路下流端で0.1mとした。

実験で用いる模型氷板は、ポリプロピレン(19.8cm×19.8cm×0.5cm)の下面に粗度を持たせるために、直径0.6cmの球状の発砲スチロールを両面テープで張り付けて、上面にはナットを接着し模型氷板の比重を調整した。模型氷板は複数個作成し、平均的な比重は0.83であった。氷板ありの実験では、これらの模型氷板を水面に浮かべて実験を行った。

Key Words: 結氷河川, 塩水遡上, 水理実験, PIV

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 TEL011-841-1639

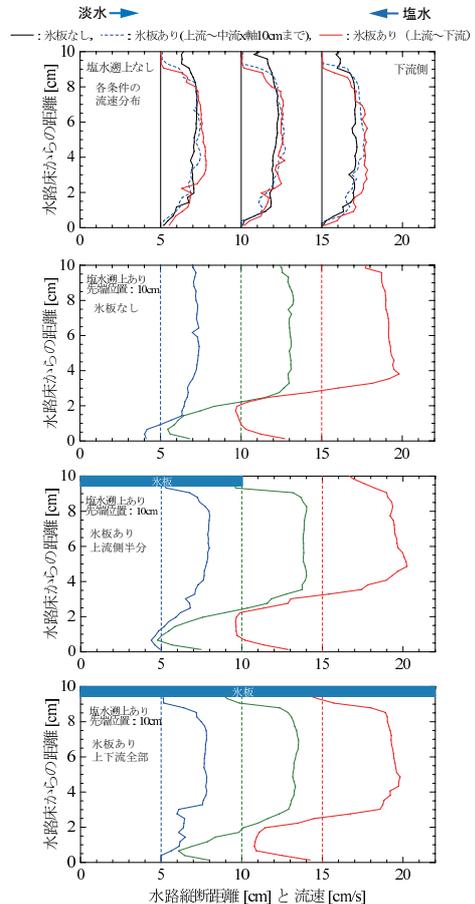


図-1 淡水流量 0.4L/s の場合における鉛直流速分布
 ・x軸の水路縦断距離0cm, 10cm, 20cmは、水路下流端から2.9m, 2.8m, 2.7mの位置
 ・x軸の流速は、その地点の水路縦断距離を0cm/sとした場合の値
 (例えば、水路縦断距離5cmの地点で、x軸の流速7cm/sの場合、実際の流速は2cm/s)

図-1 淡水流量 0.4L/s の場合における鉛直流速分布

実験の測定項目は、鉛直流速分布を測定するために、淡水と塩水に粒子(ダイヤイオン HP20, 比重 1.01, 粒径 0.25mm 程度)を投入し、水路下流端から2.8mの地点において、可視化光源(日本レーザー社製, PGL-8W)を水路床に向けて2.0Wで水路右側面から0.05mの位置に照射し、高速カメラ(Photron製 FastcamSA3)で60fps/s, F5.6, 1024×768pixelの設定で撮影した。塩水遡上距離を測定するために、高速カメラ位置(下流から2.8m)から上下流1mの地点(下流端から1.8mと3.8m)において、塩分濃度計(KENEK製, NK-403MSA, MKT-15-04L)を水路床から0.01mの位置に設置して測定した。

3. 鉛直流速と塩水遡上速度

高速カメラの画像と市販のソフトウェア(Ditect製 Dipp-Flow)を用いてPIV解析を行い、高速カメラ位置(図のx軸10cm)とその上下流5cmの3地点において、0.5秒間の画像から平均鉛直流速分布を測定した。

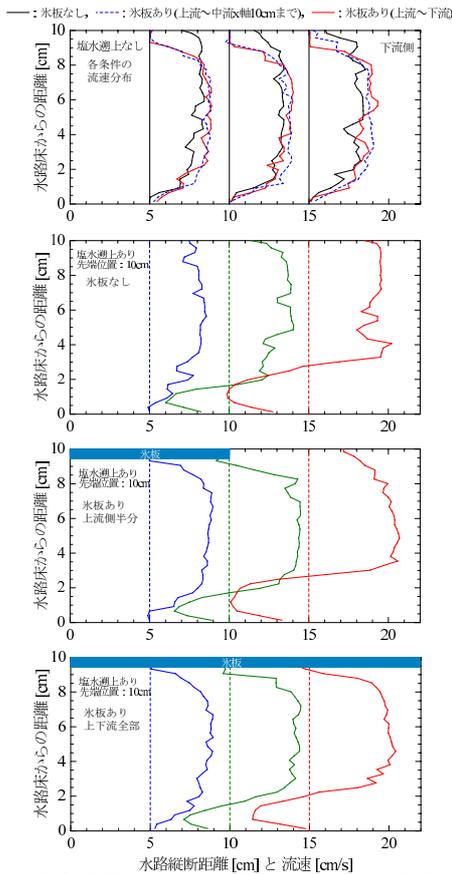


図-2 淡水流量 0.6L/s の場合における鉛直流速分布

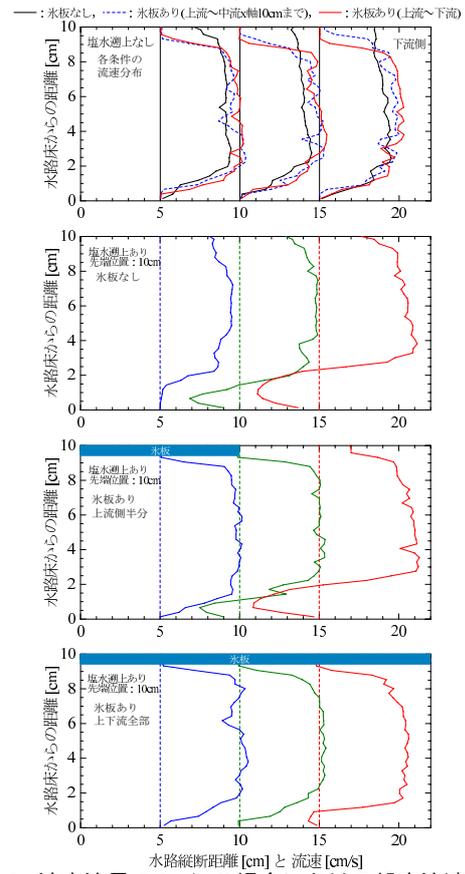


図-3 淡水流量 0.8L/s の場合における鉛直流速分布

解析間隔は 15pixel, x 軸方向は 1pixel=0.181mm, y 軸方向は 1pixel=0.175mm で補正した。淡水流量ケース毎に図-1, 2, 3 に示す。図-1, 2, 3 の上の図は、氷板なし、氷板あり(上流側半分)、氷板あり(上下流全部)において、まだ塩水が遡上していない淡水のみの鉛直流速分布である。この図より下の図は、塩水のフロントが水路縦断距離 10cm に到達した時点における氷板なし、氷板あり(上流側半分)、氷板あり(上下流全部)の鉛直流速分布である。

淡水のみの鉛直流速分布において、氷板が存在する場合は、氷板なしに比べて、どのケースも氷板の粗度の影響により氷板近傍の流速が遅く鉛直中央の流速が速い。水路縦断距離 15cm における塩水遡上時の鉛直流速分布において、水路床近傍の塩水流速をみると、氷板なしに比べて、どのケースも氷板が存在する方が流速が遅い。実験結果から、水面に氷板が存在する場合の淡水の鉛直流速は、氷板がない場合に比べて、氷板粗度の増加により鉛直中央の流速が速くなる。流速の速い淡水が塩水に衝突し塩水遡上への抵抗となるため、塩水遡上速度が遅くなると考えられる。

淡水の下層平均流速と塩水遡上速度を図-4 に示す。淡水の下層平均流速は、水路床から 3cm を下層として、塩水遡上時の水路縦断距離 5cm の鉛直流速分布を用いて算出した。塩水遡上速度は、上流と下流に設置した塩分濃度計の値が 2PSU となる時刻を用いて算出した。図-4 より、氷板のありなしの条件毎に、淡水流量の大小でみると、淡水流量が大きい方が下層平均流速が速

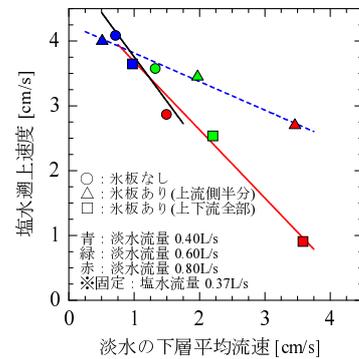


図-4 淡水の下層平均流速と塩水遡上速度

く塩水遡上速度が遅い。淡水流量の条件毎に、氷板のありなしで見ると、氷板がある方が下層平均流速が速く塩水遡上速度が遅い。

4. まとめ

今回の実験結果から、以下の定性的な知見が得られた。河川水面に存在する氷板の粗度の影響により、鉛直中央の淡水の流速が速くなる。淡水の下層流速が速くなり、塩水が受ける抵抗は大きくなるため、塩水遡上速度は遅くなる。

参考文献

- 1) Brian Morse, Benoit Ringo, Danielle Messier, Tung Thanh-Quach, Ed Stander: Hydrodynamics of Mesotidal Estuary in Winter, J.COLD REG. ENGRG, Vol.20, No.3, pp.95-115, 2006.
- 2) 赤堀 良介, 吉川 泰弘, 安田 浩保: スルースゲートを用いた弾力的な塩水遡上の制御手法に関する基礎的研究, 土木学会, 水工学論文集, 第 55 巻, pp.S1585-S1590, 2011.