

河川結氷時における灯油の流下速度に関する水理実験

株式会社 水工リサーチ 正会員 ○河田 拓視
 北見工業大学 社会環境工学科 正会員 吉川 泰弘
 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 阿部 孝章
 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 伊藤 丹

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期において貯油タンクの破損等による河川への油流出事故が問題となっている。原因となる油種は暖房用に使用する灯油が最も多い。河川への油流出事故は、河川生態系、取水による水利用及び漁業等への影響が大きく、発生時には迅速な処理が求められる。流下した油は、油の到達距離や河川の流速等を加味し主にオイルフェンスにより拡散防止を行い人力や機械により処理されている。しかし、積雪寒冷地における河川結氷時の油流出事故の場合、河水の下を流下する油が見えず、その挙動が把握出来ないことが問題となっている。また、氷下の油拡散については大塚らによる実験的研究があるが、この研究は流れのある河川域を対象としていない。

河川結氷時に油が河川へ流出した場合の油到達地点を予測する手法の開発を目的に、本研究では、その第一歩として、開水時と河川結氷時の流下する油の速度の違いを明らかにするために、赤色に着色した灯油と氷板模型を使用し、流出させる灯油流量別に水理実験を実施した。さらに、河川と灯油の流量と流速の関係を用いて、油到達地点を予測する基礎式を整理した。

2. 実験条件

実験概要図を図-1 に示す。実験水路の底面と側面は透明な亚克力板で構成され、水路長 9.0m、水路幅 0.2m、水路勾配 1/300 で実験水が循環するものである。実験流量は 1.98L/s とし、電圧が一定となるように交流電圧安定化装置(omron 製、RE100FW)に接続したポンプより実験水路に供給した。なお、流量はポンプから実験水路に接続してある導水パイプに設置したバルブにて調整を行った。X=3.0m の水深が 0.1m になるように下流端の水深を 0.11m に堰上げた。水温は 3.0°C ± 1°C とした。次に実験 case 一覧を表-1 に示す。表-1 のように流出させる灯油流量 3 ケースで、氷板模型有無の合計 6 ケースの実験を行った。

氷板模型には、河水と同等の比重(0.92)である平坦なポリプロピレン板(厚さ 0.5cm、幅 19.7cm、長さ 1.0m)を 2 枚使用し、X=2.5m~4.5m の区間に浮かべ設置した。設置後に、氷板模型と水路側壁及び氷板模型同士の継目にそれぞれある隙間に、筆を用いて透明な液体ゴムを充填し乾燥させ固定した。

流下する灯油の判別を容易にするために、赤色のアルコール系インキ(マジスター専用 補充インキ)を灯油 1L に対し 25ml の割合で灯油に投入し掻き混ぜ着色し、ろ紙にてインクカス等の不純物をろ過し、流出地点の水路上部に設置した容器に入れ実験時に流出させた。実験水路への灯油の流出は、容器よりステンレ

表-1 実験 case 一覧

case	灯油流量	水温	灯油温度	水路条件
case1	0.0068L/s	3.2°C	16.0°C	開水 (氷板模型無)
case2	0.0375L/s	3.4°C	15.5°C	
case3	0.0750L/s	3.0°C	16.0°C	
case4	0.0068L/s	2.4°C	14.0°C	氷板模型有
case5	0.0375L/s	3.2°C	15.2°C	
case6	0.0750L/s	3.1°C	14.8°C	

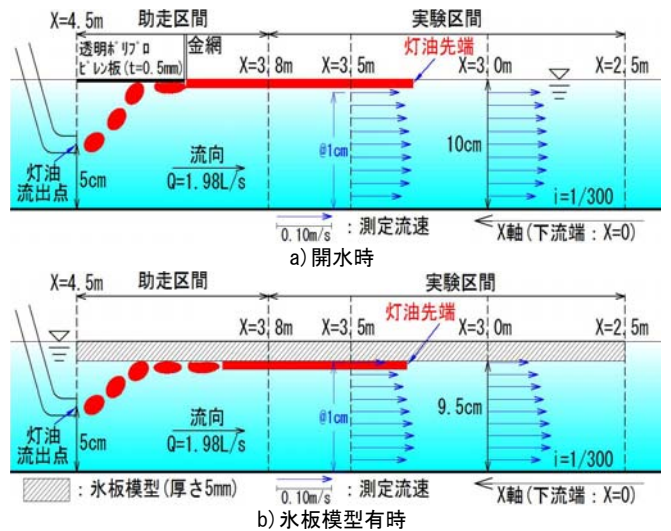


図-1 開水時と氷板模型有時の実験概略図

ス製のフレキシブルホース(内径 13mm)に接続し、水路中央部にて X=4.5m で河床から 5cm の位置に流出点を設け、容器に設置したコックの開閉により流出させた。流出させる灯油流量は、フレキシブルホースとコックとの間に設置したバルブにて実験前に予め調整し制御を行った。また、実験水路に一樣に灯油が流下した状態を実験対象とするため、助走区間を設け実験区間を X=2.5m~3.8m とした。なお、開水時の実験では、灯油が水面に浮き泡立つ現象を抑えるため、助走区間に厚さ 0.5mm の透明なポリプロピレン板を水面に浮かべ、太さ 0.5mm で 5mm 間隔のメッシュで編み込んでいる金網を、透明なポリプロピレン板の直下流の水面へ 2mm 差込み、設置した。

灯油の流下速度は、流下状況を動画撮影し、X=2.7m~3.8m の範囲において流下する灯油の先端位置(以下、灯油フロント)を判読して、流下 10cm に要した時間よりそれぞれの区間で速度を求め、平均したものとした。動画撮影には 2 台のデジカメ(Canon 5D Mark II)を使用し、カメラ位置を X=3.0m と 3.5m 地点とし、開水時は水路の真上から真下方向に、氷板模型有時は水路の真下から真上方向に撮影するようにカメラを設置し、焦点を水面に合わせ動画撮影を行った。

キーワード 結氷河川、油流出事故、水理実験

連絡先 〒062-0933 札幌市豊平区平岸 3 条 3 丁目 2-7 株式会社 水工リサーチ TEL 011-812-7724

3. 実験結果

3.1 灯油の流下速度

case1~3 の灯油フロントは油紋状でその厚さは非常に薄く、流出した灯油は水路全体に広がり流下した。

case4~6 の灯油フロントは開水路時のような油紋状ではなく、目視で確認出来る厚さを持った灯油層であり、氷板模型に沿って流下した。灯油フロントの形は図-2にあるようによりくさび形であり、その周辺の灯油層の厚さは5mm~7mmで case4<case5<case6 となり、流出させた灯油流量が多いほど厚くなった。

灯油の流下速度は全 case、 $X=2.7m\sim 3.8m$ の区間で求めた。case4 のみ氷板模型を 2 枚接続して設置した継目($X=3.5m$ 地点)における僅かな段差において、灯油フロントの流下が停止し、停止地点より上流に灯油が実験水路全体に広がった。流下停止後の 37 秒後に上流から流下して来る灯油に押し出される形で流下が再開した。そのため、case4 の灯油の流下速度は、流下停止前までの速度(0.010m/s)と流下が再開してからの速度(0.012m/s)の 2 つに分け判読し求め、平均したものを流下速度とした。判読し求めた実験条件別の灯油の流下速度を図-3 に示す。

図-3 より、case1~case3 では、流下速度が流水の鉛直平均流速 0.10m/s より速くなり、case4~case6 では遅くなった。また、氷板模型の有無に関係なく、流出させた灯油流量が多いほど流下速度は速くなった。

同じ灯油の流出流量下で比較すると、case4 は case1 の約 1/13、case5 は case2 の約 1/7、case3 は case6 の約 1/4 の流下速度であり、氷板模型有では灯油の流下速度は開水時に比べて遅くなるということが明らかとなった。これは、既往研究²⁾にある氷により油膜層が厚くなり油の拡散を小さくしているという現象と、図-1 にある流速分布からも、氷板模型の粗度の影響で氷板模型近傍の流速が遅くなっているためと推察される。

3.2 油到達地点を予測する基礎式

流れのある河川域で油膜の分散係数に関して岩上³⁾が行った研究で、Fick の濃度分布式を用いて油の表面濃度の時系列変化を求める式がある。この式は油の瞬間流出に対しては適応するが、今回の実験で行った継続した油の流出に対しては適応出来なかった。そこで、河川流量を Q_0 、灯油流出流量を Q_t 、河川の平均流速を V_0 、灯油の流下速度を V_t とし、case1~case6 の無次元化した河川と灯油の流量と流速の関係を検討した。図-3 にその結果を示す。次に、油が河川へ流出した場合の油到達地点を予測する基礎式を(1)、(2)と整理した。

$$L = V_t T \tag{1}$$

$$V_t = C V_0 \tag{2}$$

L : 油到達距離, V_t : 油の速度, T : 油の流出時間, C : 流下係数, V_0 : 河川の平均流速である。

図-3 の縦軸にある (V_t/V_0) の値が、灯油の流下係数 (C) となり、河川と灯油の流量比 (Q_t/Q_0) に依存する。実際に灯油流出事故が発生した際に、河川の平均流速 (V_0) 、河川流量 (Q_0) 、灯油流出流量 (Q_t) 、灯油の流出時間 (T) の現地データを用いて、図-3 より流下係数 (C) を求め、式(1),(2)から灯油の到達距離を予測することが出来る。

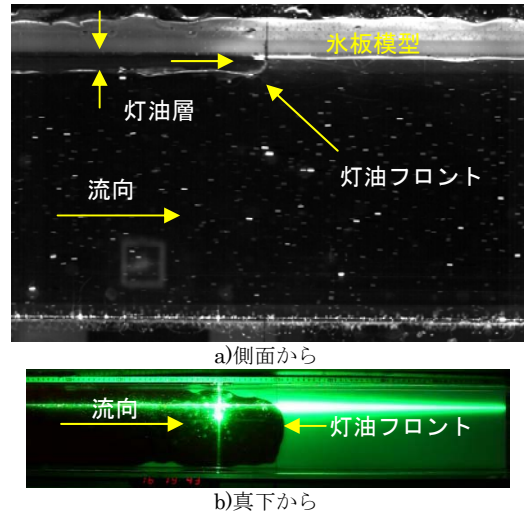


図-2 氷板模型に沿って流下する灯油

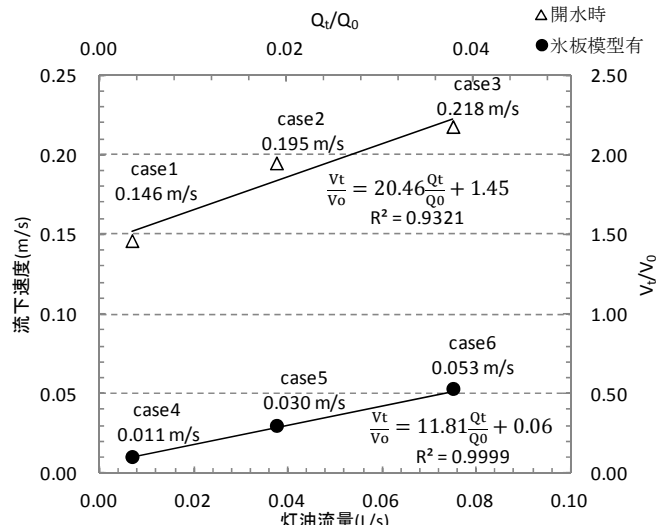


図-3 実験条件別の灯油の流下速度と無次元化した河川と灯油の流量と流速の関係

4. まとめ

今回の実験結果より、河川結氷時では開水時に比べて水面にある河氷の影響により、流下する灯油の速度が遅くなることが明らかになった。また、開水時および河川結氷時に関係なく、流出する灯油の流量が多いほど流下速度が速くなる結果となった。

河川への灯油流出事故が起きた場合の対応策のための基礎資料として、河川流速、河川流量、灯油流出流量、灯油流出時間および本研究で提案した流下係数 (C) を用いて、灯油の到達距離を予測する簡便な式を提案した。

参考文献

- 1) 東北地方整備局 東北技術事務所：河川管理の現場担当者に向けた『油流出事故対策』, 平成 21 年 3 月
- 2) 大塚夏彦・荻原浩二・金編康平・高橋伸次郎・佐伯浩：氷盤群の下に流出した油の拡散特性に関する実験的研究, 海洋開発論文集第 18 巻, pp. 767-772, 2002 年 6 月
- 3) 岩上哲平・長谷川和義・玉川尊・渡邊康玄：表面張力の影響を考慮した流水面上における油膜の分散係数, 平成 12 年度土木学会北海道支部論文報告集第 57 号, pp. 444-447, 2001 年 2 月