

II-267

流水面上における油の分散に関する実験的研究

(株) 福田水文センター 正会員 甲斐 達也
 北海道開発局 正会員 玉川 尊・齋藤 大作・渡邊 康玄
 北海道大学 工学部土木学科 学生員 岩上 哲平 正会員 長谷川 和義

1 はじめに

近年、一級河川で発生した水質事故のうち8割以上が油類の流出事故によるものである。この中には上水道取水停止を伴う大規模な事故なども含まれており、油の流出は河川管理上重要な問題となっている。

本研究では、油の流下予測を行うことを目的としており、河川での油の流出事故のように流出した油が薄く、表面張力の影響が大きいと思われる場合の油の分散係数を求めて流下予測の検討を行うこととした。

2 実験概要

実河川に近い流下方向に流速分布をもつ流れの中での油の拡がりを再現するために、長さ50m、幅30cmの実験水路を用いて実験を行った。油の流下状況は2台のビデオカメラを油投入地点から3mと6mの位置に設置し撮影した。実験は、上下流に設置したビデオカメラの映像から油膜面積の割合を求め油の濃度とし、2断面の油膜ピーク値の差から油の分散係数を求めた。また、2次元電磁流速計を用いて表面流速の計測を行った。計測は30cmの水路幅の左右岸から6cmまでは1cmピッチで、それ以外は2cmピッチの計20測線で行った。

実験条件は水路内を等流状態とし、水路勾配を1/2,750に設定した。流量は2,800cm³/sと8,100cm³/sの2種類とした。投入する油の種類はA重油とフェアコールAを使用し、投入量は0.012cm³と0.030cm³の2種類を目標投入量とした。なお、投入量の滴定方法はマイクロピペットを使用し、化学天秤により5～10回の試験計量を行った平均値を滴定量とした。流れの状況を示すフルード数、レイノルズ数及びウエーバー数の3種の無次元量を表-1に示す。

表-1 実験における無次元量

流量	フルード 数	レイノルズ 数		ウエーバー 数		
cm ³ /s	流れ	流れ	フェアコール ×10 ⁻⁵	A重油 ×10 ⁻⁵	フェアコール ×10 ⁻⁵	A重油 ×10 ⁻⁵
2,800	0.14	10,000	1.76	60.51	1.24	1.51
8,100	0.16	33,000	2.83	97.37	3.20	3.90

3 実験結果

3.1 流速分布

流下方向表面流速を U (cm)、水路幅の横断距離を左岸から y (cm)とし図-1に示した。表面流速分布を見ると、流量が2,800cm³/sの時は壁面付近を除くと流速分布にほとんど差がなく一定の流速であるのに対し、流量が8,100cm³/sの時は壁面から流心部にかけて流速が増加する傾向が見られた。

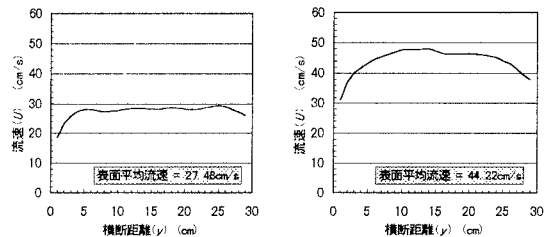


図-1 流速分布

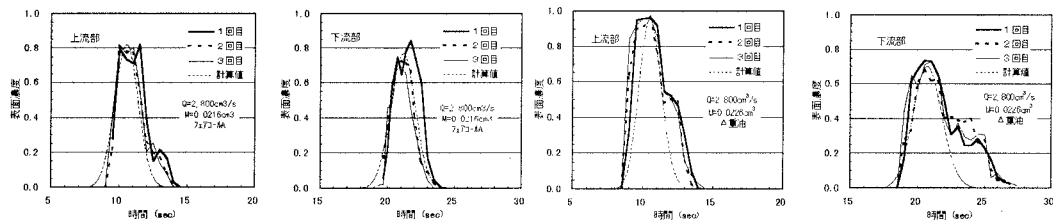


図-2 フェアコールAおよびA重油の濃度の時間変化

キーワード：油流下特性、油分散係数、油流出事故

連絡先：〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目 TEL 011-736-2371

3. 2 油の分散

上下流撮影地点で求められた油膜濃度の時系列変化の一例を図-2に示した。実験の結果、同一条件で行った3回の実験はほぼ同じ傾向であり実験の再現性は高いものといえる。油の流下時間は、流れの平均表面流速とほぼ等しくなる結果を得た。また、油の種類により下流断面では濃度ピーク値から濃度減少期の分布形状が異なっており、油の種類による分散の違いが見られる結果となった。

4 分散係数に関する考察

今回の実験では油の分散係数を2つの方法で検討を行うこととした。一つは実測の濃度分布形状から分散係数を算出することができないため実測の濃度分布形状をFickの分散方程式で表すことができると仮定し、一様流実験²⁾より推定した表-2に示す油厚を用いて油面濃度ピーク値から油の分散係数を(1)式より算出する方法である。もう一方はFischerの理論式¹⁾を表面流速分布に適用し分散係数を(2)式より算出する方法である。得られた結果を表-2に示した。

ここで、 t : 通加時間(s), C_s : 油表面濃度, C_{p1} : 上流断面ピーク濃度, C_{p2} : 下流断面ピーク濃度, S_j : 投入面積(cm^2), R_j : 油面直径(cm), x : 距離(cm), D_L : 分散係数(cm^2/s), u :

表面平均流速(cm/s), B : 水路幅(cm), U_s : 流下方向流速の平均流からのずれ(cm/s), ε_y : 流れの横拡散係数(cm^2/s)である。流れの横拡散係数(ε_y)は、 $Q=2,800\text{cm}^3/\text{s}$ の実験では水深方向に平均化された(3)式をから求め、 $Q=8,100\text{cm}^3/\text{s}$ の実験では壁面の抵抗を考慮し、壁面から横方向に対数則を適用した(4)式から求めた。ここで、 u_s : 摩擦速度(cm/s), h : 水路水深(cm), κ : カルマン定数である。表より求められた分散係数は流量の増加に伴って分散係数が増加する結果が得られた。次に、実験の濃度分布形状から求めた油の分散係数と、Fischerの理論式から求めた油の分散係数の関係を把握するため、分散係数の比較を図-3で行った。この結果、実測から求めた油の分散係数は理論から求めた分散係数より小さい結果となった。

5 まとめ

今回の実験において流水表面上における油の占める面積の割合を油の濃度と定義し、流水中における油の分散を測定することができた。この結果、油の濃度の時間変化は濃度下降期に尾をひく形状で分散していることが分かった。また、同一条件で行った実験結果は再現性が良い結果となった。実測値から求めた油の分散係数と理論式から求めた油の分散係数を比較すると、前者の方が多少小さい値を示していることがわかった。

今回の実験結果は油の流出事故を想定し、分散範囲の推定を行うことを目的として行っているが、油の種類、水温、油温等による表面張力の違いが分散現象に影響を与えており、今後さらなる研究が必要である。

参考文献

- 1) Fischer, H.B.: Transverse mixing in a sand-bed channel, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 575-D, d267 ~d272, 1967
- 2) 岩上哲平・長谷川和義・玉川尊・甲斐達也・齋藤大作: 静水面上における油の拡がりに関する研究、土木学会北海道支部論文集、P336~341、平成10年度
- 3) 甲斐達也・玉川尊・齋藤大作・渡邊康玄・岩上哲平: 流水面上における油の分散に関する実験的研究、土木学会北海道支部論文集、P342~347、平成10年度

表-2 理論および理論から求めた分散係数

	油厚 ²⁾ μm	投入量 cm^3	分散係数	
			$Q=2,800\text{cm}^3$	$Q=8,100\text{cm}^3$
フィッシャー式	—	—	cm^2/s 18.84	cm^2/s 129.40
フィッシャー式 A	0.072	0.012	7.43	25.72
フィッシャー式 B	0.072	0.030	3.42	8.63
A重油	0.066	0.012	22.23	46.72
A重油	0.066	0.030	18.70	69.39

$$c_s(x,t) = \frac{S_j}{2R_j \sqrt{\pi D_L t}} \exp \left[-\frac{(x-ut)^2}{4D_L t} \right] \quad (1)$$

$$D_L = -\frac{1}{B} \int_{-B/2}^{B/2} U_s dy \int_{-B/2}^y \frac{1}{\varepsilon_y} dy_1 \int_{-B/2}^{y_1} U_s dy_2 \quad (2)$$

$$\varepsilon_y(y) = 0.23u_s h \quad (3)$$

$$\varepsilon_y = (\kappa u_s B)/12 \quad (4)$$

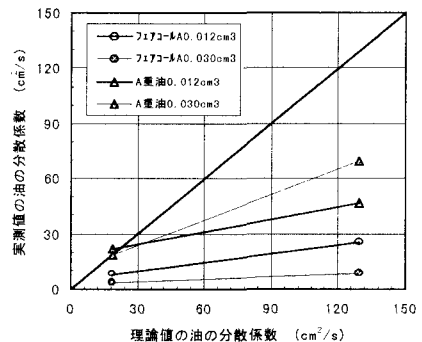


図-3 理論と実測から求めた分散係数の比較