

## II-266 静水面および流水面上における油膜の拡がりに関する実験

北海道大学大学院工学研究科 学生員 岩上 哲平 正会員 長谷川和義  
北海道開発局 正会員 玉川 尊 正会員 斎藤 大作  
北海道開発局 正会員 渡邊 康玄  
株式会社 福田水文センター 正会員 甲斐 達也

### 1. はじめに

河川での油流出事故は、海洋での大規模なものと比較すると油膜が薄く、重力の作用よりは、表面張力による作用の影響が大きい。このような表面張力の卓越した場合の油の拡がりについては、流水面上だけでなく静水面上においても、不明な点が多く研究例も少ない。本研究は、油膜の拡がり特性を解明する第一歩として、静水面および流れの様な流水面上において、基礎的実験を行った結果を示すものである。

### 2. 実験概要

静水実験はコンクリート製の水槽を用いて行った。水槽の底を黒くし、水槽を白い布で覆うことにより、油膜と水面の反射率の違いを明確にした。油の投入はマイクロピペットを用いて行い、投入直後から油膜が完全に拡がりきるまでの間をビデオカメラにより撮影をした。使用した油は潤滑油のフェアコール A-100 Ⅱ、モービルオイル DTE オイル AA VG-320 ⅡおよびA重油の3種類である。投入量は50, 170, 300  $\mu\text{L}$  の3量を目安とし、投入前に化学天秤で毎回5～10回の試験計量を行った上でこの値を投入量とした。実験はこの3種の油、3種の量について各3回ずつ計27パターン行った。

一様流実験には幅3m、長さ24mの可傾斜水路を使用し、水深が2.6cm、表面平均流速が1秒間に7.2cmという非常にゆっくりとした様な流れの中で行った。また静水実験同様、水路床を黒くし、水路を白い布で覆った。そして、高さ5mの位置にビデオカメラを設置することにより、3.2m×2.4mの撮影範囲の中で油膜の拡がる様子を調べた。投入する油の種類や投入パターンについても静水実験と同条件で行った。静水実験および一様流実験における油の拡がりの様子を写真-1, 2に示し、油の種類と投入量について記載した。写真-2は拡がっていく油を合成して表したものである。

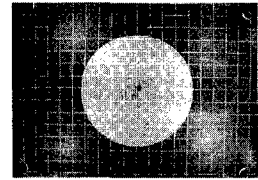


写真-1 油の拡がり（静水面）  
（フェアコール、161  $\mu\text{L}$ ）

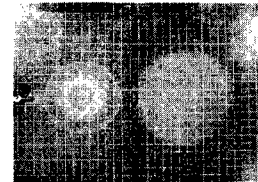


写真-2 油の拡がり（流水面）  
（モービルオイル、154  $\mu\text{L}$ ）

### 3. 実験結果

図-1に3種類の油ごとの静水・一様流実験における油膜半径の時間変化について示す。グラフ内の数字は投入量と水温を表している。グラフから油の種類によって拡がり方や平衡状態となるまでの時間が異なっていることが分かる。また、3種類の油とも投入量の増加に伴って平衡時の半径が大きくなっており、静水実験および一様流実験を比較すると、後者において拡がり方が速く、油膜半径も大きくなっている。

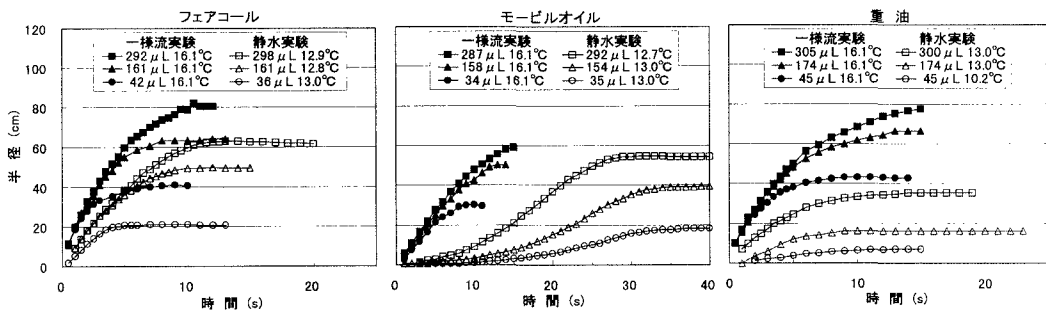


図-1 油膜半径の時間変化

キーワード：油膜拡散、水質事故、表面張力、温度依存性

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 Tel: (011) 706-6199 Fax: (011) 706-7165

このことが流水の作用によるものなのか、水温の違いによるものなのかを調べるため、次に油膜厚さについて調べた。油膜厚さは投入量を半径の二乗と円周率で割って求めた。

図-2は油膜厚さと投入量の関係を示したものである。図より油膜厚さは投入量によらず、油ごとにほぼ一定になっているのがわかる。静水時の重油においてばらつきが見られるのは、実験時の水温が10～13℃と大きく変化していたためと考えられる。このため、次に油膜厚さの水温依存性について調べた。図-3に油膜厚さと水温の関係を示す。3つのグラフから10～17℃の間では、水温が上がると油膜の厚さは薄くなる傾向が見てとれる。この傾向は重油において特に顕著であり、この特徴が図-2の静水実験における重油のばらつきに現れた原因である。また、図-1における一様流実験で平衡時の半径が大きくなったのは、流水の作用というよりは水温の変化が影響していることがわかった。

図-2 油膜厚さと投入量

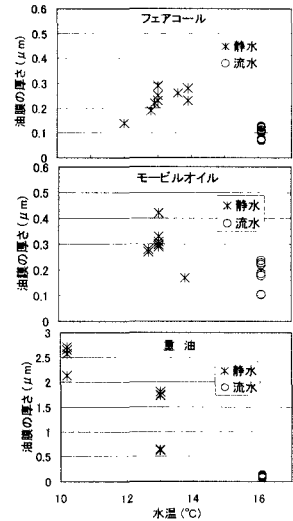


図-3 油膜厚さと水温

#### 4. 静水面上における油の拡がりに関する理論解析

本研究では、油膜が非常に薄いものとして、油の拡散現象を圧力と表面張力とのバランスにより解くこととする。力のバランスに関する油膜の模式図を図-4に示す。図-4に示す記号を用いると、水上および水中部分における油膜に働く力のつりあい式は、式(1)、(2)によって表される。式(1)と式(2)をそれぞれ鉛直方向に積分し、油膜先端部において成り立つYoungの式(3)を代入して整理すると、油膜の厚さは式(4)で表される。式(4)より、油膜の厚さは投入量には無関係で、油の物性や表面張力によって定まることがわかる。しかし、油の物性や表面張力は温度に依存しているため、式(4)から直接油膜厚さを求めることは困難である。

ただし、 $T_o$ ：水上部分における油の表面張力、 $T_{ow}$ ：水中部分

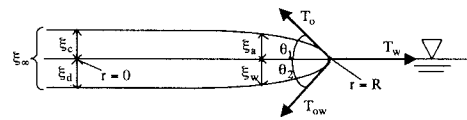


図-4 油膜先端部における力のつりあい

$$T_o \left\{ \left( \frac{d\xi_o}{dr} \right)^2 + 1 \right\}^{-3/2} \cdot \frac{d^2 \xi_o}{dr^2} + \rho_o g (\xi_c - \xi_o) = 0 \quad (1)$$

$$T_{ow} \left\{ \left( \frac{d\xi_w}{dr} \right)^2 + 1 \right\}^{-3/2} \cdot \frac{d^2 \xi_w}{dr^2} + \rho_w g \xi_c - (\rho_w - \rho_o) g \xi_w = 0 \quad (2)$$

$$T_w - T_o \cos \theta_1 - T_{ow} \cos \theta_2 = 0 \quad (3)$$

$$\xi_w = \sqrt{\frac{2(T_o + T_{ow} - T_w)}{(1 - \sigma) \rho_o g}} \quad (4)$$

における油の表面張力、 $T_w$ ：水の表面張力、 $r$ ：油膜の半径、 $\rho_o$ ：油の密度、 $\rho_w$ ：水の密度、 $\rho = \rho_o / \rho_w$  である。

#### 5. おわりに

本研究によって得られた結果は、以下の通りである。

- 1) 油は、種類や物性によって広がる速さが変わるだけでなく、変曲点をもつような拡がり方をするものがある。その特性は静水状態だけでなく、流水状態においても見られる。
- 2) 油膜の厚さは投入量や静水・流水状態には影響されず、油の種類、水温によってほぼ決まる。
- 3) それは油膜の厚さが(4)式で示したように水と油の表面張力、それを左右する水温によって影響を受けるためである。

#### 参考文献

- 1) 埜口英昭・山崎宗広：海面上に連続流出する油の拡がり、第26回水理講演会論文集、pp.596～575、1982年。
- 2) 井本稔：表面張力の理解のために、高分子刊行会、1993年。