

II-236

流水面上に放出された油の拡がり

山口大学工学部 正○羽田野袈裯義

通産省中国工試 正 埜口 英昭

山口大学工学部 正 斎藤 隆

九州大学工学部 正 平野 宗夫

1. まえがき 油の流出による海域汚染について多くの研究が行なわれ、拡がりの定量評価もある程度可能となってきた。しかしながら実際の海域では海面で流れが生じていることが多く、このような場合についての解析は皆無に近い。ここではその最も簡単な場合として、一様な流れの流水面上に油が水流と同じ向きに一定の速度で連続点源放出された場合について、簡便な理論解析の概要を報告する。

2. 実験と実験結果の概要 実験装置と実験方法については第26回水理講演会に発表したものである。実験は、幅 3.8m、水深4m、有効実験区間長40mの大型回流水槽

表-1 実験条件

Run	Oil	$\rho_o(g/cm^3)$	$\nu_o(cSt)$	$U_o(cm/s)$	$U_w(cm/s)$	U_o/U_w	Fr
3	No.10	0.857	13.0	19.3	21.1	1.09	1.179
9	No.10	0.857	13.0	19.3	9.0	0.51	0.580
10	No.10	0.857	13.9	19.3	29.8	1.53	1.680
14	No.10	0.857	13.0	19.3	78.6	4.07	4.459
15	Light	0.833	6.0	19.3	21.0	1.09	1.101
19	Light	0.833	6.0	19.3	29.2	1.51	1.533
20	Light	0.833	6.0	19.3	79.3	4.09	4.418
22	No.1	0.874	23.0	19.3	91.3	4.73	5.518
24	No.1	0.874	23.0	19.3	139.0	7.20	8.402
25	No.1	0.874	23.0	31.7	41.5	1.31	2.508
29	No.10	0.857	13.0	31.7	22.2	0.70	1.259
20	No.10	0.857	13.0	31.7	31.8	1.00	1.794

で行なった。油の放出は、実験区間内の水槽中央の水面位置に下流向きに設置した放出口から連続的に噴出する形とした。実験条件及び使用した油の物性値は表-1に示す通りである。図-1は2秒間隔で撮影された油の平面的な拡がりの状況を重ねて図示したものである。各時刻に於て油層の幅は流下方向に単調増加しフロント部分に接続する。フロント部分は寸法を増しながら下流へと移動するが、フロント部分以外では幅が時間的に変化せず流れは定常である。

3. 理論 フロント部分を除く定常な流れの部分に解析を限定する。図-2に示す2層流モデルで考える。油の噴出方向が水流と同じ向きであるから外流部と同じ方向の運動が卓越すると考えられることから1次元解析により取扱う。簡単のため油層は長方形断面を保ちながら流下すると仮定する。基礎式は油の連続式、及び流れ方向の運動量方程式であり、各々次式で表わされる。

$$\frac{d(uA)}{dx} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d(\beta \rho A u^2)}{dx} = -\frac{\rho_o}{\rho_w} \Delta \rho g \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} \delta^2 b \right) + \tau_i b \quad (2)$$

ここに、Aは油層断面積、 ρ_w 、 ρ_o 、 $\Delta \rho$ は各々水と油の密度差及び両者の差、 τ_i は内部界面でのせん断抵抗で界面抵抗係数 f_i を用いて $\tau_i = \rho_w f_i |U_o - u| (U_o - u)$ とおく。連続式と $A = b \delta$ の関係をjいて式(1)および(2)を変形すれば式(3)および(4)を得る。

$$\frac{d\delta}{dx} = \frac{\frac{\delta}{b} \frac{db}{dx} (\beta F_i^2 - \frac{1}{2}) + \frac{\rho_o}{\rho_w} F_i^{-2} f_i |U_o/u-1| (U_o/u-1)}{1 - \beta F_i^2} \quad (3)$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{\frac{1}{2} \frac{u}{b} \frac{db}{dx} + F_i^2 - \frac{\rho_o}{\rho_w} f_i |U_o/u-1| (U_o/u-1)}{1 - \beta F_i^2} \quad (4)$$

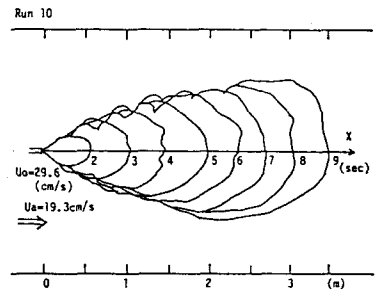
ここに $F_i = u / \sqrt{\Delta \rho / \rho \cdot g \delta}$ 

図-1 油層の拡がりの状況

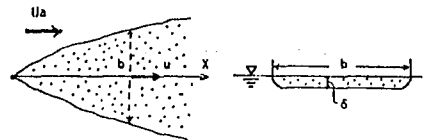


図-2 解析モデル

式(3),(4)より、 δ 、 b 、 u を求めることが必要であるが条件式が1つ不足する。そこで流れの中における衝撃波の拡がりの場合と同様の扱いをする。即ち、横方向の拡がり速度 V_t を用いて拡がり角度 $db/dx = db/dx = 2V_t/U$ と仮定し、 V_t は油層中心線から横断方向に1次的に拡がる表面密度フロントの移動速度 $c\sqrt{\Delta\rho/\rho \cdot g\delta}$ に比例するものとし、比例係数に K を用いて $V_t = K\sqrt{\Delta\rho/\rho \cdot g\delta}$ とおく。結局 db/dx は次式で評価される。

$$\frac{db}{dx} = 2K \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot g\delta / u \quad (5)$$

4. 計算結果 式(5)を式(3),(4)に代入し、ルンゲクッタ法により解いた。実験でデータとして各々の x における幅 b が得られている。計算では出口の条件として油の噴出流量 Q_0 、出口の断面積 a_0 を用いて、 $u_0 = U_0 = Q_0/a_0$ により初期速度を与え、出口の幅 b_0 、流動厚さ δ_0 を $b_0 = \delta_0 = \sqrt{a_0}$ とおいた。流水と油層の境界面での抵抗係数 f_i の値は明かでないが、ここでは第1次段階として塩水楔の結果を参照し、 $f_i = 0.1 \times (u^3 / \nu \varepsilon g)^{1/2}$ を用いた。そして式(5)中の K の値を種々変化させて計算を行ない、 b の計算値と実験値の差を最小とする K の値を求めた。

以上のようにして得られた K 値を速度比 U_0/U_a および内部フルード数の初期値 F_0 に対してプロットしたのが図-3および4である。なお、内部フルード数の値は下流で8~10程度になり、初期値が0.56であるRun9については式(3)、(4)中の分母がゼロとなり発散した。 K 値は本実験の範囲では1~3程度の値をとり、これら2つのパラメータが増加すると K 値は減少する傾向がある。 K 値のこのような傾向の要因は明かでなく検討を要する。この K 値を用いて行なった油層幅の計算結果と実験結果の比較の一例が図-5に示されており、両者は比較的良好な一致を示している。

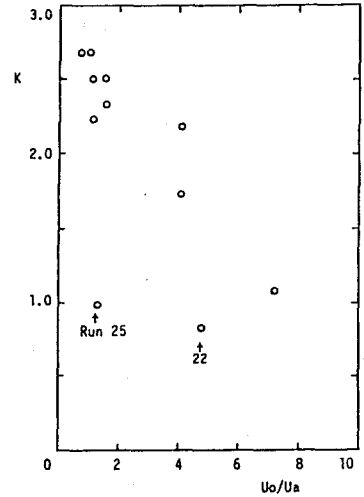
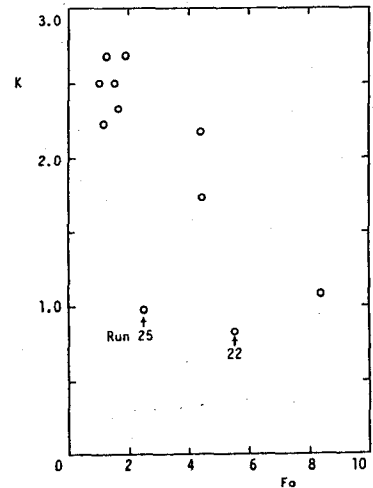
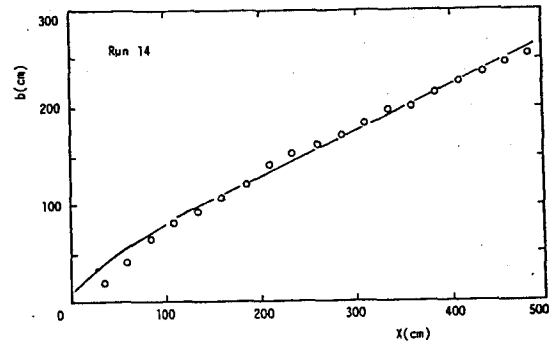
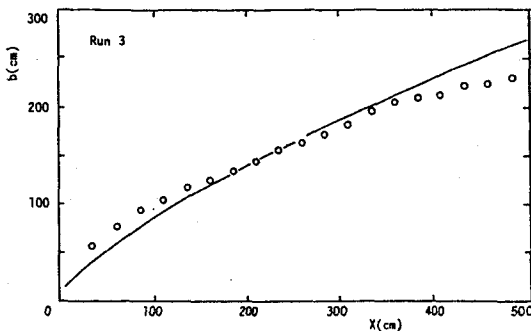
図-3 K と U_0/U_a の関係図-4 K と F_0 の関係

図-5 油層の拡がり幅の実験値と計算値の比較