

流水面上に放出された油の拡がり (2)

山口大学工学部 正 羽田野 袈裟義
山口大学大学院 学○村上 満典
山口大学工学部 正 斎藤 隆
通産省中国工試 正 埜口 英昭

1. まえがき 前報¹⁾では、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形成される油層の流れを3次元表面密度噴流としてとらえ、1次元解析法によるモデル化を行なった。本報では、前報で不明確であった拡がり角を再評価し、また油層・水の間のせん断抵抗係数の修正を行なった。

2. 理論の概要 前報と同様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-1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ため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、および運動量の水流方向の成分の収支式であり、各々次式で表わされる。

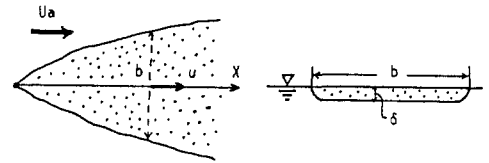


図-1 解析モデル

$$\frac{d(uA)}{dx} = 0 \quad (1) \quad \frac{d}{dx}(\beta \rho_o u^2 A) = -\frac{\rho_o}{\rho_w} \Delta \rho g \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} \delta^2 b \right) + \tau_i b \quad (2)$$

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および両者の差、 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 $\tau_i = \rho_w f_i |U_a - u| (U_a - u)$ とおく。連続式と $A = b \delta$ の関係を用いて式(1)および(2)を変形すれば式(3)および(4)を得る。

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

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

このままでは式が2個、未知数が3個(δ 、 b 、 u)であるので条件式が1つ不足する。そこで境界面の運動学的条件を、油層の水平方向の拡がりの油・水境界に適用する。即ち、油層拡がりの中心線から横方向に y 軸をとり、境界面(長方形の油層断面を仮定)を $y = b_1(x)$: $b_1(x) = b(x)/2$; とすると、 $D(y - b_1(x))/Dt = 0$ の条件より $db_1(x)/dx = v(b_1)/u(b_1)$ を得る。 b_1 は平面形状の目視による境界を対象とするから $u(b_1) \approx U_a$ 、また $v(b_1)$ は横方向に1次的に拡がる油層フロントの移動速度 U_f に比例するものとし、比例係数 C を用いて $v(b_1) = C U_f$ とおく。結局 $db/dx = 2C \cdot U_f/U_a$ となる。 U_f については不明な点が残るが、ここでは静水面上での油層フロント速度に対して首藤ら²⁾が与えた次式を用いる;

$$U_f = K_f \sqrt{\Delta \rho g \delta_f / \rho} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} ; \quad K_f &= (U_f \delta_f / \nu_o)^{0.176} \quad \text{for } U_f \delta_f / \nu_o < 10 \\ &= 1.5 \quad \text{for } U_f \delta_f / \nu_o \geq 10 \end{aligned}$$

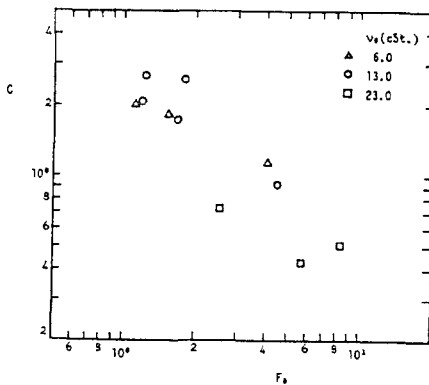


図-2 CとF₀の関係

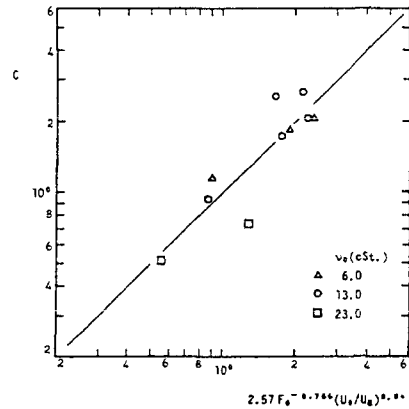


図-3 Cの回帰分析結果

3. 計算結果 本解析を前報で示した実験結果に適用する。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。式(5)を式(3)、(4)に代入し、ルンゲクッタ法により解いた。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_1 の値はLau²⁾らの研究結果を参照し、 $f_1 = 0.003$ を用いた。そして拡がり角の式の中のC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Cの値を求めた。

以上のようにして得られたC値の、速度比

U_0/U_* および内部フルード数の初期値 F_0 による変化を調べた。その結果の一部が図-2に示されている。なお、内部フルード数の値が変化し、途中で式(3)、(4)中の分母がゼロを突破するケースでは異常な結果となった。C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C値は減少する傾向がある。C値のこのような傾向の要因は明かでなく詳細な検討を要するが、一応 $C = a F_0^{-0.788} (U_0/U_*)^{0.88}$ の式形を仮定し、回帰分析を行なった。その結果が図-3に示されている。図-4はこの回帰式を用いて得られる油層幅の計算値と実験値の比較を示したものである。両者は比較的良好な一致を示している。

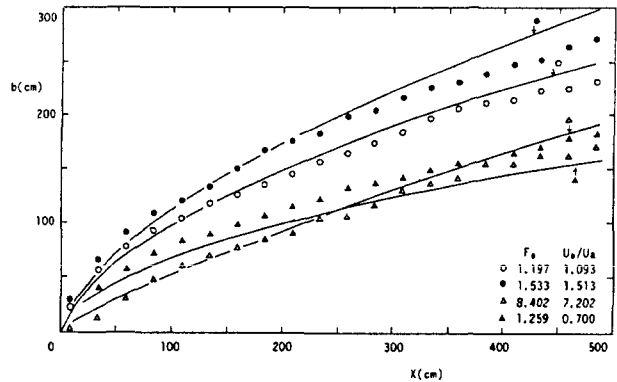


図-4 油層拡がり幅の実験値と計算値

参考文献

- 1) 羽田野ら：流水面上に放出された油の拡がり、第44回土木学会年講、1989
- 2) 首籙・大野：石油の拡がりの実験、第24回海岸工学講演会論文集、1977
- 3) Lau, Y. L. & Moi, J.: Booms used for oil slick control, ASCE, Vol.105, No.EE2, 1979