

山口大学大学院 学生員 ○天野 卓三 矢野 晶人
 山口大学工学部 正 員 羽田野 袈裟義
 九州大学工学部 正 員 平野 宗夫
 宇部短期大学 正 員 松本 治彦

1. はじめに

著者ら¹⁾は、既往の油層先端の実験結果を用いて先端条件を検討し、その結果を下流端の条件として非定常2層流モデル解析に適用したが、先端部の界面抵抗の評価が不十分であった。そこで、本研究では、界面抵抗の評価として慣性抵抗の評価を試みた。

2. 解析方法

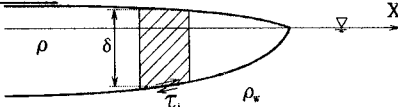


図-1 流れの模式図

図-1に示すように、密度 ρ_w の水の静止域に密度 $\rho(=\rho_w - \Delta\rho)$ の油が流出した場合、油層の連続式と運動方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u\delta) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \delta = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \Delta \rho g \delta^2 \right) - \tau_i \quad (2)$$

Massauにならい、 $c^2 = \Delta \rho g \delta / \rho$ を導入して式(1)、(2)を変形し、その和と差をとって特性曲線式を得る。その差分表示式を用いて解析を行う。

2-1 先端条件

首藤ら²⁾は油層先端の条件を実験的に検討し、Fr数とRe数の関係を示したが、データの散乱が著しい。ここでは、作用力のバランスの点から再検討する。この現象では、油が水の抵抗を受けながら進行するため、動粘性係数は水の値を用いるべきと考えられる。実際に、水の動粘性係数を用いた方がまとまりが良い。図-2と式(3)は先端条件の結果である。

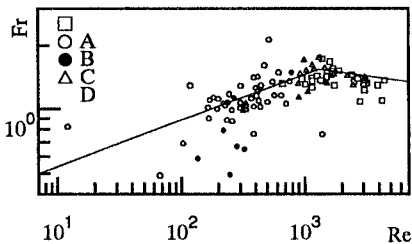


図-2 Re数とFr数の関係(動粘性係数; 水)

$$\frac{u_f}{\sqrt{\Delta \rho g \delta_f / \rho}} = A \left(\frac{u_f \delta_f}{\nu} \right)^n \quad (3)$$

$$\text{Re} > 1500 ; A = 2.87 \quad n = -0.0960$$

$$\text{Re} \leq 1500 ; A = 0.317 \quad n = 0.209$$

2-2 界面抵抗の評価式

Fannelopらは先端から後方に向かって界面に境界層が発達すると考え、Leading Edgeの位置を x_{LE} 、その速度を u_{LE} として界面抵抗を平板に沿う境界層の壁面抵抗の表現から式(4)を与えた。ここでは x_{LE} を式(5)のように与え、先端より前方にとる。

$$\tau_w = \sqrt{\frac{\rho_w \mu_w}{\pi}} u u_{LE}^{\frac{1}{3}} \frac{1}{\sqrt{x_{LE} - x}} \quad (4)$$

$$x_{LE} = x_f + K \delta_f / \text{grad} \quad (5)$$

しかしながら、油層界面は変形し得るため、平板の抵抗をそのまま用いることには議論の余地がある。そこで、油層先端の進行に伴う慣性抵抗の評価を行う。油の進行に伴って先端部周辺の水塊は加速し、これにより運動量が増加する。この慣性抵抗として、次式を与える。

$$\tau_w = \rho_w \frac{\partial \delta}{\partial t} \left\{ 1 - 2k' \left[1 + \left(\frac{\partial \delta}{\partial x} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} u \quad (6)$$

以上は油層先端部の界面抵抗の評価であり、後続部の界面抵抗の適切な評価ができない。そこで、式(7)を与える。

$$\tau_i = \tau_w + f_i \rho_w u^2 \quad (7)$$

ここで、 f_i は摩擦抵抗係数であり、ここでは塩水楔の経験式の k_f 倍、およびLauら³⁾の結果の双方により次のように評価する。

$$\text{塩水楔} ; f_i = 1 \times k_f \left[\frac{u^3}{\nu(1 - \Delta \rho)g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8-A)$$

$$\text{Lauら} ; f_i = 0.003 \quad (8-B)$$

2-3 初期条件および境界条件

釜口によれば厚さ h_0 、長さ L_0 の貯油槽のシャッターを解放して発生する瞬間流出の場合、流出

直後にシャッター位置の油層厚がほぼ1/2倍の厚さ(δ_0)となって進行する。流出直後に距離 l_0 だけ油層先端が進行した時刻を初期時刻とする。流出後これに至るまでの時間 t_0 を次元的考察から、式(9)により定義する。実験によれば1次元の場合、流出後の先端厚さと先端速度を用いた密度Fr数で約1となる。よって、式(9)とこのFr数の条件から、式(10)が得られる。

$$t_0 = \left(\frac{l_0}{\Delta \rho g / \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9) \quad l_0 = \delta_0 \quad (10)$$

以上より、初期条件として次のように与える。

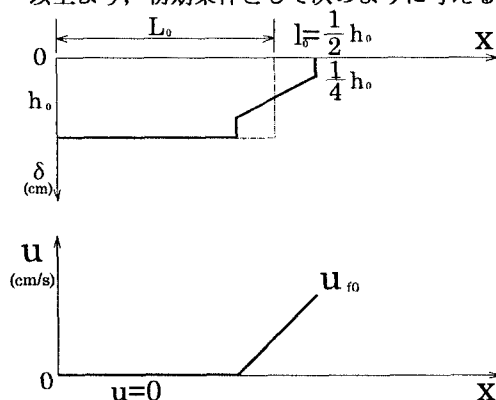


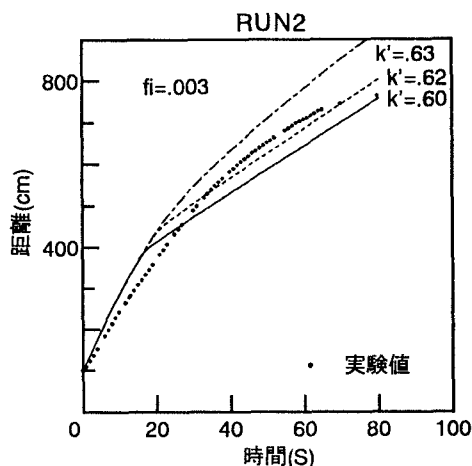
図-3 初期条件(上図:油層形状, 下図:流速)

境界条件は上流端と下流端で与えるが、下流端の条件は式(3)となる。上流端の境界条件は上流端に壁がある条件となり $x=0$ で $u=0$ が課される。

3. 計算結果

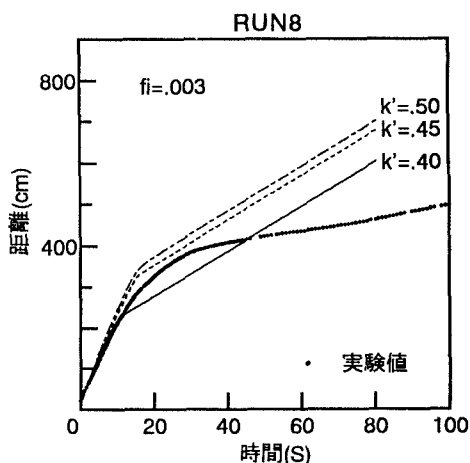
以上をもとに瞬間流出の場合の先端位置の時間的変化を求めた。界面抵抗は式(7)を用い、先端急変部の界面抵抗に式(4)と式(6)、そして、 f_i に式(8-A)と式(8-B)のいずれかを与えて計算を行った。なお、先端条件として式(3)を課す場合、途中で先端速度が著しく小さくなり、ある程度時間が経過すると先端の進行がみられなくなるので、先端油層厚 $\delta_f = 0.3\text{cm}$ 以下となった場合、その値を 0.3cm に固定した。その結果、急変部の界面抵抗として式(6)を用い、 f_i に式(8-B)を用いた場合に比較的良好な一致を得た。図-4はその計算結果である。

先端油層厚が小さくなり先端速度が小さくなると、実験値に比べて計算値の方が進行が進む。これを解消するには、先端部の形状が進行と共に変化する事に伴う k' の時間的変化を考慮する必要があると考えられる。



($L_0 = 100\text{cm}, h_0 = 5\text{cm}, B = 50\text{cm}, \Delta \rho / \rho = 0.09$)

図-4-a 先端位置の実験値と計算値(慣性抵抗)



($L_0 = 20\text{cm}, h_0 = 10\text{cm}, B = 30\text{cm}, \Delta \rho / \rho = 0.09$)

図-4-b 先端位置の実験値と計算値(慣性抵抗)

4. まとめ

以上、先端条件を再検討し、図-2及び式(3)を得た。また、先端部の界面抵抗の評価において、慣性抵抗としての評価を行う方が、Fannelopらの方法を用いるよりは合理的であることが示唆された。

参考文献

- 1)羽田野ら：第51回年講，PP506-507(1997)
- 2)首藤ら：第24回海講，PP. 509-513(1977)
- 3)Lauら：ASCE, Environmental Engineering Division, PP. 369-382 (1979)