

II-268

表面密度噴流フロント部の計算法(第2報)

山口大学工学部 正員 〇羽田野 袈裟義
 五洋建設 正員 住田 裕志
 下関市 岡田 正典
 九州大学工学部 正員 平野 宗夫

1. はじめに

表面密度噴流は、海域に流出した油や温排水などの拡がりにみられる現象で、その挙動を予測することは海域環境上重要な課題である。前報¹⁾では、2層流としての取扱いで上層流体の連続式と運動方程式を特性曲線表示し、フロント近くの層厚が適当に小さな値の部分を一時的先端とみなして、これより後方を取り扱う方法を述べた。その中で、先端の厚さを適当に小さな一定値としたが、その水理学的根拠は特に検討していなかった。また、界面抵抗係数を場所によらず一定としていた。

今回、次元的考察から得られた先端条件²⁾を計算に組み込むとともに、Fannelopら³⁾が先端部の境界層の発達を考慮して与えた界面抵抗の評価式の適用を試みた。

2. 理論の概要

図-1に示すように、密度 $\rho_2(=\rho+\Delta\rho)$ の水の静止域に密度 ρ の流体が流出した場合、流出した流体は静水面上を流動する。簡単のため進行を無視すると、上層流体の連続式と運動方程式として次式が与えられる。

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

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

Massauにならい、 $C^2 = \Delta \rho g \delta / \rho$ を導入して得られる式(1)

と(2)の変形式の和と差を特性曲線表示すれば、特性曲線 ω_+

と ω_- 上で次のようになる。

$$\omega_+ : dx/dt = u + C \text{ 上で } d(u + 2C) = -\tau_i / (\rho \delta) \quad (3)$$

$$\omega_- : dx/dt = u - C \text{ 上で } d(u - 2C) = -\tau_i / (\rho \delta) \quad (4)$$

計算法は前報¹⁾に従った。ただし、先端条件と界面抵抗を再検討した。

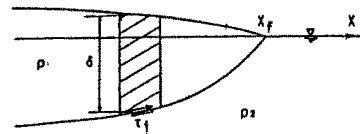


図-1 流れの模式図

3. 先端条件と界面抵抗

(1)先端条件 表面密度噴流のフロントは、流出してしばらくの間は鈍頭形のいわゆる先端部を形成しながら進行するが、その後はとがったくさび形を保ちながら進行する²⁾。大野は前者のケースに対して先端厚さ δ_f と先端速度 U_f の詳細な測定を行っている。また、羽田野らは先端部では慣性力、重力、そして粘性力が適当にバランスした状態にあると考え、大野の実験結果に次元的考察を加え、Aとnを定数として次式を導いた。

$$\delta_f \sqrt{\Delta \rho g \Delta z / \rho} / \nu = A (U_f \delta_f)^n \quad (5)$$

ここに、この関係式は、 ν に水と油のいずれの粘性係数を使っても実験データをよく整理できる。したがって、先端条件としても問題がないであろう。水の粘性係数を用いた場合、 $A=2.41$ 、 $n=0.822$ である。ただし、この式のもとになった δ_f の値は0.3cm以上である。したがって、計算では各時間ステップで上式により δ_f を求めていったが、こうして求めた値が0.3cmを下るときにはくさび形に移行したとして δ_f に一定値0.3cmを与えた。

(2)界面抵抗 密度流フロントの内部境界面の抵抗に関する研究は少ないが、Fannelopらのものは参考にできよう。彼らは、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} として界面抵抗を次式で与えた。

$$\tau_w = (\rho_w \mu_w / \pi)^{1/2} u_{LE}^{1/3} (x_{LE} - x)^{-1/2} \quad (6)$$

ただし、上式により界面抵抗を計算すると十分後方では τ_w が極めて小さくなり、この部分にそのまま適用するのは問題である。そこで、先端部以外にも適用可能なように次式 $\tau_i = \tau_w + f_1 \cdot \rho u^2$ (7) とおいた。なお、特性曲線法はメッシュ上のフロント位置を x_f として、 $x \leq x_f$ について行なったが、 x と x_{LE} が一致すると不都合なのでこれを回避するようにした。具体的には $x_{LE} = x_f + \beta \delta_f$ とした。また、 $f_1 = 0.005$ を用いた。

4. 計算結果

図-2は以上のようにして求めた先端位置 x_f の計算値と実験値を時刻に対してプロットしたものである。計算値は途中で弱い折れ線となるが、これは計算の中で先端の厚さ δ_f が式(5)による値から一定値へとシフトしたことを示す。図より計算値は δ_f のシフトののち、先端速度が低下場合によっては実験値を連ねた線と交差する。今後さらにパラメータの値を検討するとともに、くさび形に移行した後の取扱いを見直すつもりである。

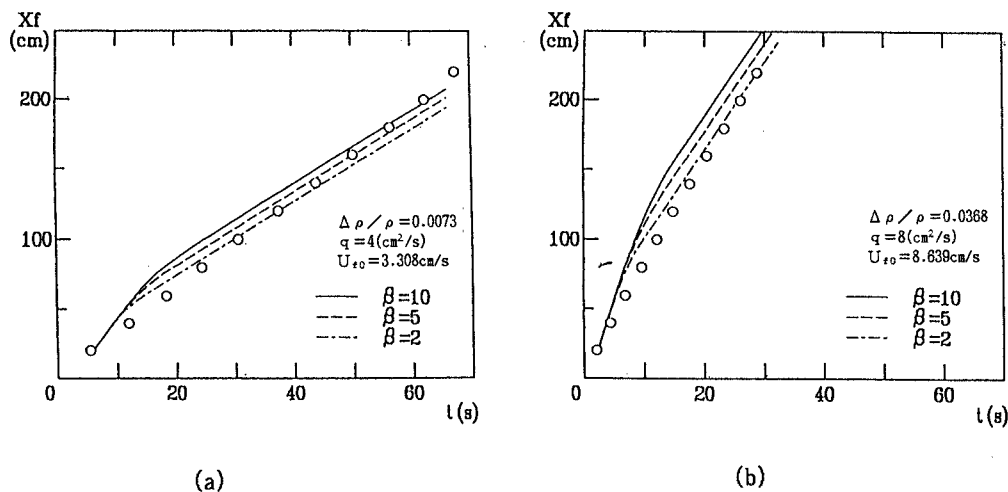


図-2 先端位置の実験値と計算値

参考文献

- 1)羽田野ら(1991):第46回土木学会年講概要集, pp.700-701。
- 2)羽田野ら(1994):第49回土木学会年講概要集, pp.426-427。
- 3)Fannelopら(1972):AIAA Journal, Vol.10, No.4, pp.506-510。