

表面密度噴流の流動について

1 はじめに

表面密度噴流の重要なものは、水面上の油の拡がりや発電所から流出した温排水の流れである。このような流れを流出口から拡がり、先端まで大量のプログラムを必要とせず解く方法として特性曲線法が提示されている。しかしながら、温排水の場合には重要な周囲水の連行を考慮した取扱いは示されていない。

本研究では、既往の2層流モデルの特性曲線法に周囲水の連行を考慮した取扱いを検討し、室内実験データで検証を行った。

2 解析方法

2-1 基礎方程式

淡水が塩水表層に流出する現象は図-1のように模式化され、基礎方程式は上層流体の体積保存則、運動量保存則、及び浮力保存則で以下ようになる。

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

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

$$\frac{\partial \Delta \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \Delta \rho}{\partial x} = -\frac{\Delta \rho v_e}{\delta} \quad (3)$$

ここで δ は淡水層厚さ(= $\delta_1 + \delta_2$)、 u は淡水層の断面平均流速、 v_e は連行速度、 $E = v_e/u$ は連行係数、 ρ と ρ_s は淡水と塩水の密度、 $\Delta \rho = \rho_s - \rho$ 、 g は重力加速度、 u_i は界面流速、 τ_i は界面抵抗である。式(1)、(2)を Massau の方法により取り扱う。 $C = (\Delta \rho g \delta / \rho)^{1/2}$ を導入して δ を波速 C に変換し、得られた結果の和と差をとることによって成立した式は特性曲線上で次のように書かれる。

$$\omega_+ : \frac{dx}{dt} = u + C \text{ 上 } \quad \frac{d(u + 2C)}{dt} = G + \frac{\Delta \rho}{\rho} g \frac{v_e}{C} \quad (4)$$

$$\omega_- : \frac{dx}{dt} = u - C \text{ 上 } \quad \frac{d(u - 2C)}{dt} = G - \frac{\Delta \rho}{\rho} g \frac{v_e}{C} \quad (5)$$

$$\omega_o : \frac{dx}{dt} = u \text{ 上 } \quad \frac{d(\Delta \rho)}{dt} = -\frac{\Delta \rho v_e}{\delta} \quad (6)$$

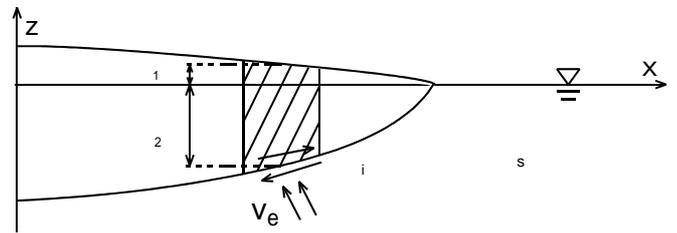


図-1 解析モデル

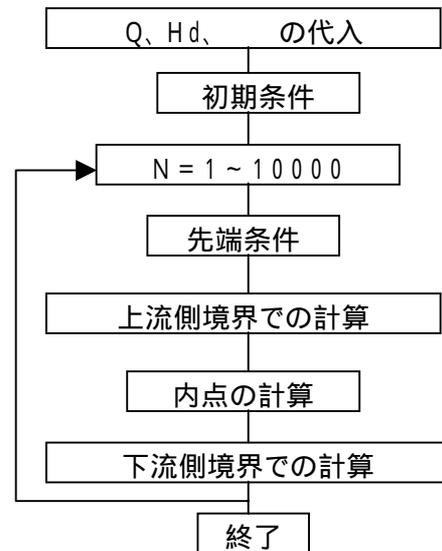


図-2 プログラム計算

表1 実験条件

実験	流量 Q(cc/s)	水路幅 B(cm)	流出口 Hd(cm)	密度差 (g/cm ³)
RUN 3	50	12.5	1	0.007342
RUN 4	50			0.036912
RUN 5	100			0.007342
RUN 6	100			0.036912
RUN 12	50	12.5	2	0.036912
RUN 13	100			0.007342
RUN 14	100			0.036912
RUN 16	200			0.036912
RUN 20	50	12.5	5	0.036912
RUN 21	100			0.007342
RUN 22	100			0.036912
RUN 23	200			0.007342
RUN 24	200			0.036912

これらの式をしかるべき初期条件と境界条件のもとに図-2のような順序で解く。なお、式(4)、(5)中の G の表現式、及び式(6)から明らかなように、最先端で流動厚さ δ がゼロとなり計算が厄介である。このため、適当な先端条件を課して、流出口からこの先端条件を満たす区間を計算領域とする。

3 解析結果とその検討

解析方法の検証のため、実験値との比較を行った。また、実験条件は表-1に示す。

実験は塩水を溜めた水槽の表面に流出部深さ Hd を制御した淡水供給口を用い、ヘッドタンクにより一定流量で循環する淡水を瞬時に水槽に流すような仕組みで淡水を流入させて行った。

流出口の境界条件において、初期の淡水層厚さ δ_c が Hd より大きい場合には出口での流動厚さを Hd とした場合()と、開水路における支配断面の類推から比エネルギーを Hd とみたと、出口での流動厚さを $2Hd/3$ にした場合()について計算した(図-3, 4)。図-3, 4に示すようにの方が実験値に近い値になった。これは出口での流動厚さを $2Hd/3$ としたため、淡水層に作用する慣性抵抗を過小評価したためと考えられる。

また、計算では前報と同様に先端厚さが極端に薄く、これが 0.3cm まで低下した後はこれを 0.3cm で固定した場合()、及び流動厚さの平均値の $2/3$ 倍のケース()について示している(図-5, 6)。図-5に示されるようにのケースの方が実験値に近い結果が得られた。一方、ケースによっては図-6のようにの方法で30秒位までは実験値に近い値が得られたが、30秒を過ぎてからは大きく下回り始めるものもあった。これは、初期の間は計算上の先端厚さに平均層厚の $2/3$ の値を用いる事で良い結果を得られたが、時間が経つに連れて連続流出ということで常に水が供給され平均層厚の $2/3$ では先端厚さが大きくなってしまい、その結果慣性抵抗を過大評価してしまった結果であると考えられる。

4 まとめ

以上、本研究では既往の2層流モデルの特性曲線法に周囲水の連行を考慮した取扱いを検討し、室内実験データで検証を行った。その結果、 δ_c が Hd より大きい場合には出口での流動厚さを Hd とし、先端厚さの下限値を平均値の $2/3$ 倍とすると、実験値と近い傾向を示した。しかし、条件によっては誤差が生じ、その点で課題を残した。

今後はその課題を解決し、多くの実験条件での検討することが必要である。そして最終的には実際に起こる予測の解析が必要であると考えられる。

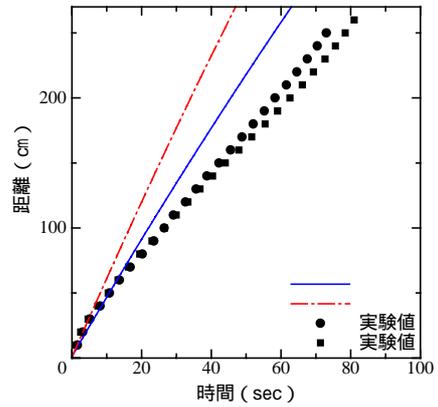


図-3 RUN3

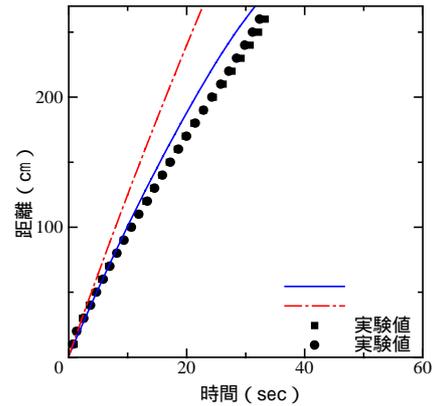


図-4 RUN6

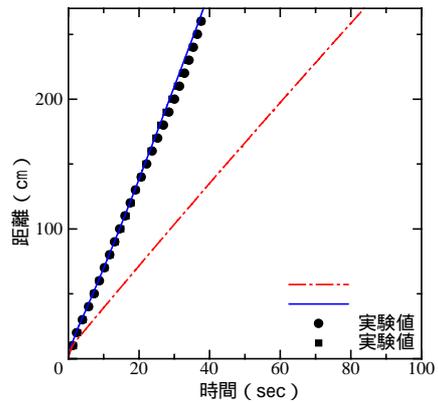


図-5 RUN14

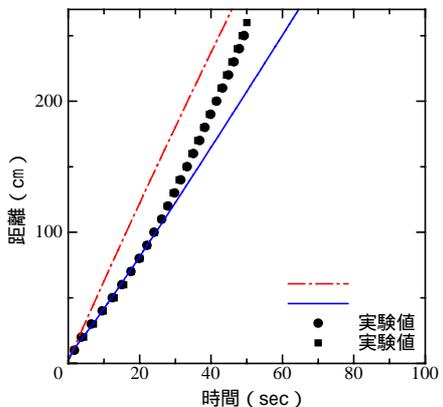


図-6 RUN21