

非定常1次元表面密度噴流の流れ特性について

山口大学工学部 正 員 ○羽田野 袈裟義
名古屋大学大学院 学生員 松 本 守 正
山口大学工学部 正 員 齊 藤 隆
九州大学工学部 正 員 平 野 宗 夫

1. 序論

表面密度噴流は、海域に放流された温排水や、海に放出した油の拡がりなどにみられる現象である。特に油の拡がりに於ては拡がりの時間的な発達を予測することが必要で、多くの研究がなされている。中でも特性曲線法による解析は有望である。しかしながら解析に必要なフロント部の水・油境界面勾配、速度勾配、界面抵抗係数などの性状は、フロント部の特定が困難なため不明な点が多い。

本研究は淡・塩水による1次元連続放出実験で得た、界面形状の変化などから、上記諸量の変化特性を調べたものである。ここでは1つの試みとしてフロント部を代表する断面を、流動厚さが時々刻々の最大流動厚さの60%, 75%, 85%となる断面として採用して検討した。

2. 解析法

図-1に示すように、自身より重い流体の領域に放出された軽い流体は、重い流体の表面を進行する。基礎式は上層流体層に関する連続式及び運動方程式であり、連行が無視しうる場合には各々次式となる。

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{\partial \delta}{\partial x} - \frac{1}{\delta} \frac{\tau_i}{\rho_1} \quad (2)$$

ここに、 $\delta(x, t)$ は上層流の厚さ、 $u(x, t)$ は上層流の断面平均流速、 $\tau_i = f i \rho u^2$ は界面でのせん断応力、 $\Delta \rho$ は密度差である。

式(1)、および(2)は特性曲線 $dx/dt = u$ 上で

$$\frac{d\delta}{dt} = -\delta \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3) \quad \frac{du}{dt} = -g \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{\partial \delta}{\partial x} - \frac{\tau_i}{\delta \rho_1} \quad (4)$$

で表される。式(3)、(4)において、 $\partial u / \partial x$ 、 $\partial \delta / \partial x$ 、 $f i$ が u 、 δ あるいは t の関数として表記されるなら、連立微分方程式の解を求めることができる。

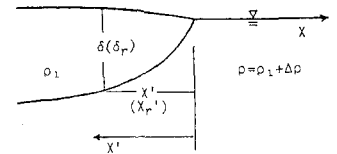


図-1 フロント部の流れ

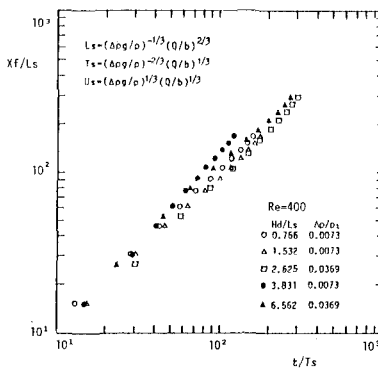


図-2 フロント位置の時間的变化

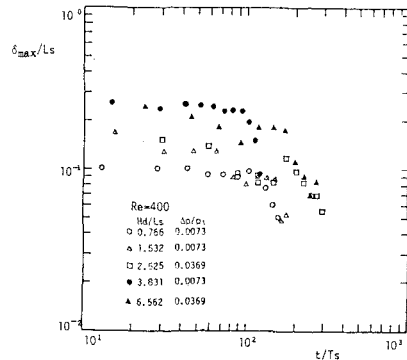


図-3 流動厚さの時間的变化

3. 諸量の評価法

データ解析では、界面形状の結果より各時刻における最大厚さ $\delta_{\max}$ (先端部にくびれが生じない時には、平坦な部分の平均厚さを $\delta_{\max}$ とする) の 60%, 70%, 80%, 90% の厚さを δ_r として採用し、これらに対する xr' 値を求めた。これらを基に 65%, 75%, 85% 断層の諸量を以下のように算定した。

まず、各時刻に於ける δ_r と xr' の測定値より $\partial \delta / \partial x$ 値を求める。つぎに連続式の変形式

$$\partial u / \partial x = -u / \delta \cdot d \delta / d x \quad (5)$$

を、各時刻に於て上記各断面に適用して速度勾配を求めた。また f_i については式 (4) の変形式

$$f_i = -\frac{\delta}{u^2} \left(g \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{\partial \delta}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{du^2}{dx} \right) \quad (6)$$

を各時刻、各断面に適用した。

上で求めた諸量を無次元化するため、現象を規定する代表長さ L_s 、代表速度 U_s 、代表時間 T_s をフルード則から定義する。

4. 実験および結果

実験では、幅 12.5cm、長さ 3.5m 一次元水路に塩水 (1%, 5%) を貯めておき、上流の点から一定流量の淡水を幅方向に一樣に供給させた。流量を 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 l/s、出口の深さ H_d を 1, 2, 5cm で変化させた。図-2 は、フロント位置と時間の関係との一例である。各実験のデータはほぼ一本の線上にプロットされている。このことは本実験で行ったすべての $Re = (Q/b)/\nu$ に対して認められた。図-3 は先端部最大厚さの時間的変化の一例である。図はフロントの進行とともに先端部が平坦となり厚さが減少することを反映している。また $\Delta \rho / \rho$ 、 H_d / L_s が大きい程上めにプロットされ、この傾向は Re が小さい程顕著である。また Re が小さい程、 δ_m / L_s の減少が遅くなる。図-4 は界面勾配の時間的変化の一例である。時間と共にフロント部が偏平化することを反映し、 $-\partial \delta / \partial x$ は単調減少する。個々の実験で値はかなりバラツクが、プロットの分布は平均的にはほぼ同様である。 $\Delta \rho / \rho$ 、 H_d / L_s による差異は明瞭でない。図-5 は、速度勾配の時間的変化の一例である。いずれの実験においても値はバラツクが、時間的にならせば、ほぼ一定の正值とみなせよう。すなわち後方に比べ前方が速度大である。値は、 Re 、 $\Delta \rho / \rho$ が大きいほど、無次元速度勾配は大きくなる。図-6 は、界面抵抗係数 f_i の時間的変化の一例である。値はかなりバラツクが個々の実験についてみると f_i は時間と共に単調減少する。 Re が小さいほど f_i のバラツキが大きい。 f_i の値は従来の解析で与えられている値より大きい。

以上、表層流最大厚さとの比で代表断面を想定し、フルード則によりフロント部の物理量の変化を調べた。今後、代表断面を最先端からある距離の点で定義した場合の諸量を調べ、対応関係を調べる必要がある。

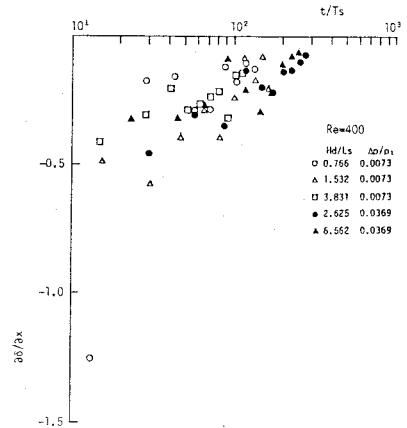


図-4 界面勾配の時間的変化

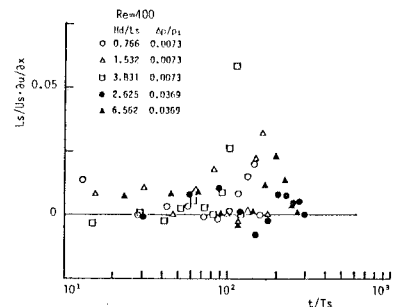


図-5 速度勾配の時間的変化

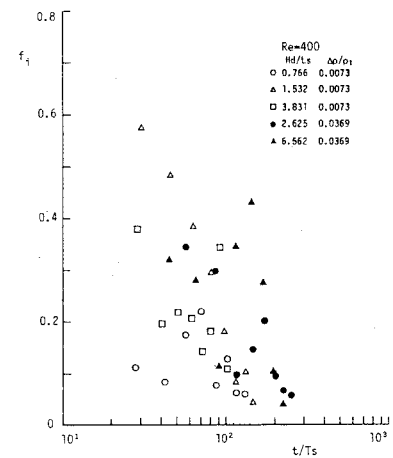


図-6 界面抵抗係数の時間的変化