

表面密度噴流の流動開始直後の流れについて

中電技術コンサルタント（株） 正〇天 野 卓 三
 山口大学 工学部 学 田 村 宜 史
 山口大学 工学部 正 羽田野袈裟義
 山口大学 工学部 正 河 元 信 幸

1. はじめに

海面上に流出した油の拡がりを予測することは海域環境上重要な課題である。この問題を2層流モデルにより解析する場合、先端条件を課すと有効である¹⁾。先端条件は首藤²⁾により検討されているが、先端部の流動形態により先端厚さの定義が異なるなど一貫性に欠ける。本研究では、一定体積の浮力流体が短時間に流出する『瞬間流出』について、淡・塩水の実験により初期の流動状態と先端条件を検討する。

2. 実験装置と方法

実験装置は、測定水路と上層流体貯留槽で構成されている。測定水路は、水平に置かれた水路長400cm・高さ30cm・幅15cmの縦アクリル製の開水路であり、この水路内の上流端に上層流体貯留槽を設置している。実験では、この水槽に塩水を満たしておき、貯留槽の前方半分の20cmに水道水（上層流体）を貯めたのち、底面のシャッターを後方に移動させ、界面が安定した状態で前面のシャッターを開放して上層流体を流出させた（図-1参照）。

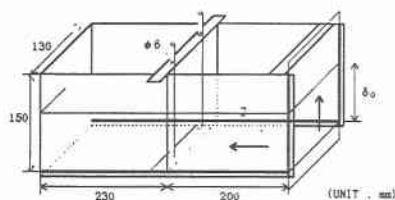


図-1 貯留槽の構造

実験は、塩水濃度3%、上層流体の初期厚さ(δ_0)3~9cmの条件で行った。上層水はフルオレセンナトリウムで着色し、その流動状況を水路側方から撮影した。そして得られた画像をもとに流動特性を調べた。

3. 実験結果

先端部は初めのうちは特有のヘッドを形成するが、後には尖ったくさび形状を示す。また瞬間流出の場合、

フロント速度ははじめ加速されて後減速していく。本研究では、表面張力の効果が小さいとみなされる領域について流動形態と先端条件を調べる。

(1) 先端部の形状と厚さ 前述のように、表面密度流の先端部は流下と共に変形するため2層流モデルの先端条件のための流動厚さの決定は注意を要する。ここでは先端部近くで内部境界面が揺らぎはじめる位置をもとにして先端条件を求めた。図-2のように境界面が揺らぎはじめる点(A)における接線を用い、図の線分CDを先端層厚 δ_1 と定義する。

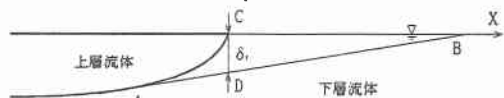


図-2 先端層厚の定義

シャッターを開放すると淡水は貯留層の上半部から塩水域に侵入し、塩水は逆に貯留槽の下半部に侵入する。図-3は、 $\delta_0 \approx 9\text{cm}$ の場合の上層流体の先端層厚(図-2の定義)とシャッター位置での層厚の時間変化を示す。シャッター開放後、淡水の先端厚さとシャッター位置での厚さは急減するが、その後シャッター位置での厚さが一旦増加に転じた後単調に減少する。図ではシャッター位置での厚さが増加に転じる時

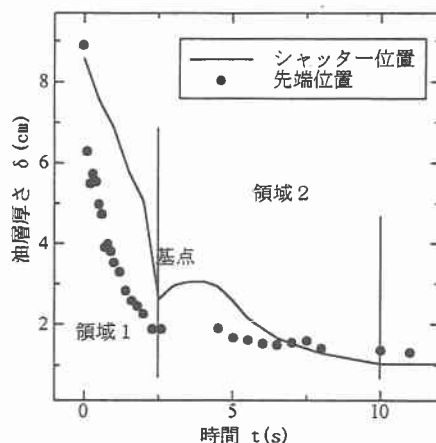


図-3 流動層厚の時間変化

刻を基点として表示している。基点時刻後の層厚の増大は初期貯留厚が大きいほど著しい。両方の流動厚さの時間変化の対応関係は初期貯留厚により異なる。

(2) 速度の変化 $\delta_0 \approx 9\text{cm}$ の場合の先端速度とシャッター位置での内部境界面上昇速度の時間変化を図-4に示す。先端速度は、増加して最大値になった後、徐々に減少する。シャッター位置における内部境界面上昇速度は、基点時刻直前まで増加し、それ以降は急減して負値をとった後小さな値で推移する。両者の時間的変化の対応関係は層厚の場合と同様初期層厚により異なる。

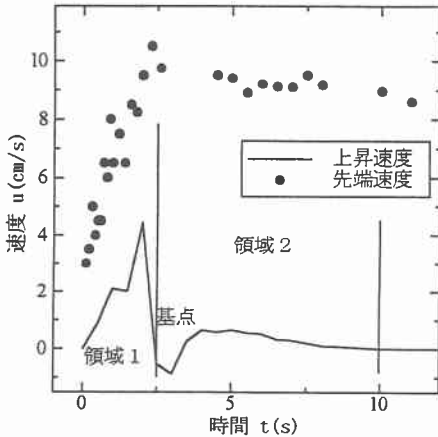


図-4 油層速度の時間変化

(3) 内部フルード数とレイノルズ数 図-5は $\delta_0 \approx 9\text{cm}$ の場合の先端のRe数とFr数を先端移動距離に対して図示している。

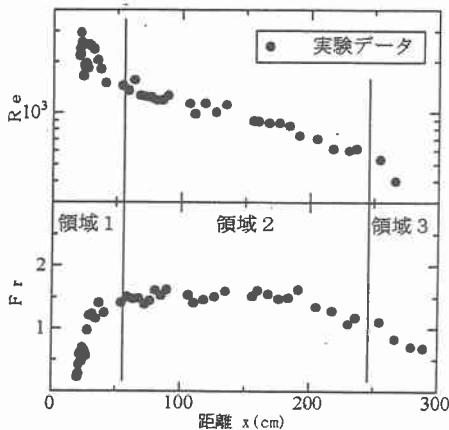


図-5 先端部Re数とFr数の変化

以上の図では3つの領域に区分している。これらは、シャッター開放直後に先端層厚が著しく減少し先端

速度がゼロから最大値に達するまでの区間(領域1)、上層流体が貯留槽内に一定以上の厚さ存在することによりほぼ一定の先端層厚と速度を保ちながら進行する区間(領域2)、そして先端形状を失いながら先端速度や先端層厚が減少する区間(領域3)である。

領域2のFr数に着目すると初期段階でFr数がほぼ一定の領域が見られる。初期層厚が大きいとその領域は明確であるが、初期層厚が小さい場合はその範囲は狭く、この領域が不明確となる。その後Fr数は減少する。Re数は領域2では単調減少する。Fr数がほぼ一定の領域では粘性項の影響が小さく、Fr数が減少する領域では粘性項の影響が出ていていると考えてよい。

(4) 先端条件 以上で見たように、領域1ではシャッター開放による初期攪乱があり、領域3では表面張力の効果が出る可能性がある。このことを考慮し、領域2のデータ(図-3の基点以後、先端形状を失う前までの領域)を用いて先端条件を調べる。図-6はFr数とRe数の関係を示す。図中の2直線は、Fr数の一定領域とFr数の減少領域でデータを分類し近似したもので、式(5)で与えられる。

$$Fr = A \times Re^n \quad (5)$$

$$A = 1.50 ; n = 0 \quad (Re \geq 930)$$

$$A = 0.11 ; n = 0.38 \quad (Re \leq 930)$$

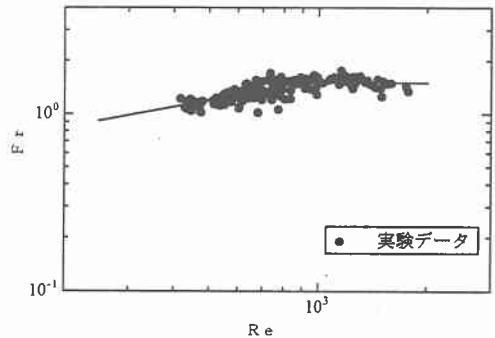


図-6 Re数とFr数の関係

4. 結語

以上、淡・塩水の実験により表面密度噴流の瞬間流出の場合について流動初期の状態と先端条件を検討した。今後より広範囲の条件により検討したい。

参考文献：

- 1) 羽田野ら：水工学論文集第41巻、pp543～548, 1997
- 2) 首藤・大野：第24回海講論文集、pp509～513, 1977