

傾斜サーマルの流動開始直後の流れについて

山口大学大学院 学生員 ○矢野晶人
 山口大学工学部 正 員 羽田野袈裟義
 山口大学大学院 学生員 田村宜史
 山口大学工学部 正 員 河元信幸

1. はじめに

傾斜した底面上に周囲流体より密度の大きな流体が流入すると、密度差のために傾斜底面上を流れる。これを下層傾斜密度流という。下層傾斜密度流は、自然界では乱泥流や貯水池の濁水密度流、山地斜面での冷気流、火砕流などとして現れ、水工学と密接に関連している。乱泥流は土砂の巻き上げや沈堆を引き起こし、これは掃流力に支配される。また、掃流力は流速に強く依存するが、乱泥流の発達・減衰は初期のフルード数と初期掃流力/限界掃流力比に支配されることがわかっている¹⁾。このため、初期の運動を詳細に調べることは現象の関連性の点から有意義である。

本研究では乱泥流を念頭に置き、傾斜サーマルの流動開始直後における水理条件を内部境界面の形状の時間的変化を測定することにより、検討したものである。

2. 実験方法

実験装置は図-1に示すように、長さ 3.0m、幅 40cm、高さ 60cm の水槽内部に長さ 2.8m、幅 12.5cm、高さ 40cm の可変勾配水路を設けたものを用いた。実験方法は水路上部部にゲートを設け、水槽内に水道水を供給した後、着色した塩水をゲートより上部に貯めた。そして両者が落ちついた後、ゲートを上部に移動させて短時間の塩水の供給を行った。実験条件は、勾配 1/5、相対密度差 $\Delta\rho/\rho=0.05$ に固定し、塩水の供給体積量を 1~5l の間で変化させた。この実験の記録方法は、密度流の流動状況を水路側方から VTR により収録し、画像解析により形状、層厚そして先端移動量を測定した。本研究で用いた座標系を図-2に示す。

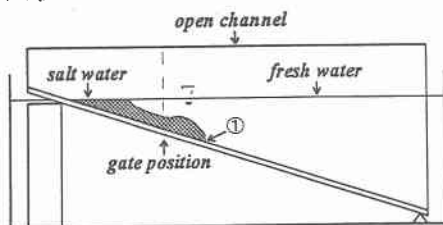


図-1. 実験装置および流れの概略図

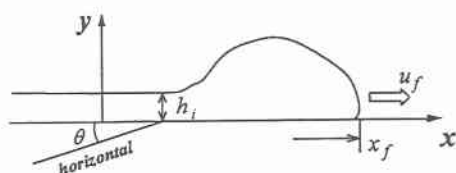
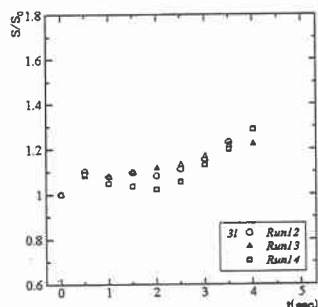


図-2. 座標系

3. 実験結果および考察

3-1. 三次元性および連行による混合の検討

水路側方から求めた下層流体の占有面積 S を初期状態での面積 S_0 で割ったものの時間的変化を図-3に示す。面積比は最初ほぼ 1 に等しいが時間経過に伴い増加していく。この原因として、水路中心線上の層厚を求めているため、界面形状の三次元性の影響が現れたと考えられる。図からわかるように $t=3.0(\text{sec})$ 以降において面積比の値が著しく変化しているため、 $t=3.0(\text{sec})$ 以前を流動開始直後の流況として、実験結果を考察していく。

図-3. 面積比 S/S_0 の時間的変化量

3-2. 先端諸量の検討

内部境界面と底面との交点（図-1の①）の移動速度（先端移動速度）の時間的変化を図-4に示す。先端移動速度は、一定値まで加速したのち安定し、その後減速していくことが既往の研究で明らかになっているが、本研究でも緩やかな加速の状況が認められた。また、先端部の最大厚さの時間的変化を図-5に示す。先端部は、相似性を保ちながら流下し、最大厚さが流下距離

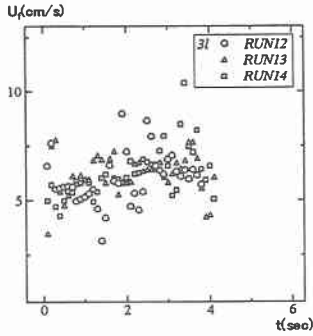


図-4.先端移動速度の時間的変化

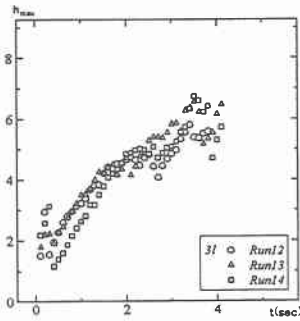


図-5.先端部最大厚さの時間的変化

に対してほぼ直線的に増大することが確かめられた。

次にゲート下流側の先端フルード数の時間的変化を図-6に示す。先端フルード数は、

$$Fr = u_f / \sqrt{g \cdot h_{\max} \cdot \Delta \rho / \rho} \quad (1)$$

として求めた。 u_f は先端移動速度、 $h_{\max}$ は先端部の最大厚さ(図-5)である。先端フルード数はゲート開放直後はほぼ $Fr=0.5$ であり、その後徐々に減少する。これは下層流体の体積を変えた実験でも、同様の変化をすることが認められた。つまり先端フルード数は、水路勾配、相対密度差が同じであれば、ほぼ同様の変化を示すと考えられる。

3-3. 断面平均諸量の検討

形状の時間変化から、下層流体の断面平均流速・フルード数を算出する。

図-2に示す座標系で、連行を無視したとき下層流体の連続式は次のようになる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

式(2)を変形すると、

$$q_i = - \int_{x_0}^{x_i} \frac{\partial h}{\partial t} dx + q_0 \quad (3)$$

式(3)により各点の形状の時間変化のデータを用いて

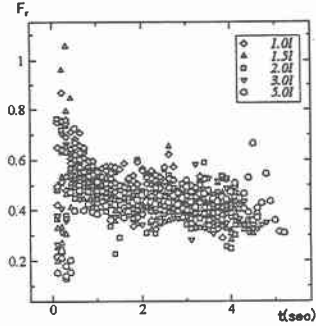


図-6.先端フルード数の時間的変化

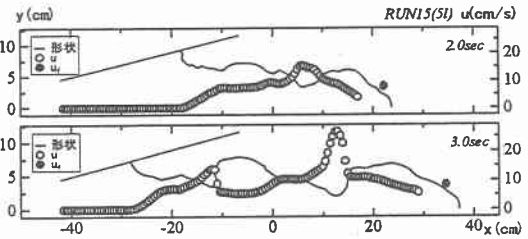


図-7.流速の場所的変化

任意点 x_i の流量 q_i を求める。これを各時刻について行う。また、流速 u_i およびフルード数 Fr_i は、

$$u_i = q_i / \bar{h}_i \quad (4)$$

$$Fr_i = u_i / \sqrt{g \cdot \bar{h}_i \cdot \Delta \rho / \rho} \quad (5)$$

となる。ここで $\bar{h}_i = (h_i + h_{i+1}) / 2$ とする。式(4)および式(5)の結果と形状を比較したものを図-7に示す。

図-7からわかるように、先端部と後続部の間のくびれた部分で流速が最大になる。

4. まとめ

先端部の最大厚さは時間に対して直線的に増大することが確かめられた。先端フルード数は初期体積(流量)によらず、同様の変化をすることがわかった。また断面平均流速は、先端部と後続部とで異なり、くびれた部分で最大となることがわかった。今後の課題として、濃度、勾配、初期体積を変えた実験を行いデータを蓄積したい。

参考文献

- 1) M. Hirano et al.: Activation and degeneration of turbidity currents, Proc of Int'l Symposium HY & IR Div./ASCE (1990), pp639-644