

(Ⅱ－２) 保存性及び非保存性の密度フロントの先端速度

長岡技術科学大学建設系 正会員○福嶋祐介
長岡技術科学大学建設系 正会員 早川典生
新日本製鐵 正会員 近藤 敏

1. はじめに 一様流体中に、これより密度の大きな流体が一定の体積だけが流入し、斜面に沿って流下する現象を傾斜サーマルと呼ぶ(Beghin et al.¹⁾)。傾斜サーマルは、流入する流体が塩水、温度差などの保存性の流体で構成される場合と、濁質、土砂などの沈降性の混合流体で構成される場合に分けられる。前者を保存性傾斜サーマル、後者を非保存性傾斜サーマルという。サーマルでは上流からの密度フラックスの供給がないが、プリュームでは上流からの密度フラックスの供給がある。本研究では保存性及び非保存性の傾斜サーマルと保存性の傾斜プリュームの先端速度について、検討を行う。

2. 傾斜サーマル及び傾斜プリュームの実験 図-1は傾斜サーマルの模式図を表したものである。傾斜サーマルと傾斜プリュームのフロントの形状は先端部でふくらみ、後部では傾斜壁面プリュームのような形状となる。実験に使用した水槽は、長さ370cm、高さ40cm、幅15cmの矩形アクリル製水槽である。保存性流体(塩水)、非保存性流体(硫酸バリウム混合液)は水槽の上流部に設置したボックスに貯め、ゲートを引き上げることによってサーマルを発生させた。実験条件は初期濃度を1%、3%、5%に設定し、水路の傾斜角を 5° とした。流入流体の初期体積はいずれも

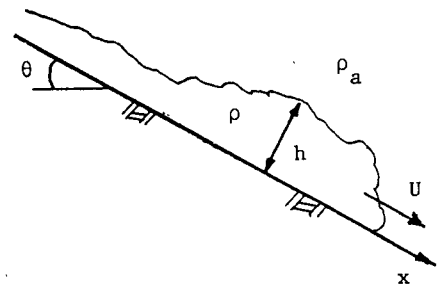


図-1 傾斜サーマルとプリュームの模式図

1ℓである。保存性の傾斜プリュームの実験では、傾斜角 5° の水槽を用いて塩水の初期濃度1%、3%、5%に設定し、塩水の流量を0.12ℓ/sとした。測定項目は、フロントの速度、最大高さ、塩分濃度(塩水のみ)である。硫酸バリウムの粒径はコールターカウンターで測定した結果 $2.0\text{--}50.8\mu\text{m}$ であり、ストークスの式で計算した沈降速度は $6.22\times 10^{-4}\text{cm/s}$ から 0.402cm/s であった。

3. 先端速度の実測結果 図-2では、異なる塩分の初期濃度のサーマルのフロントの先端速度の実験結果を流下距離に対して示す。フロントの先端速度は流入直後($x<20\text{cm}$)を除いてほぼ一定値で推移していることが分かる。また、初期の塩分濃度が大きいほど先端速度は大きくなっている。図-3は硫酸バリウムの懸濁流体を用いた非保存性の傾斜サーマルのフロントの先端速度を流下距離に対して示したものである。図-2の保存性の場合と比較して、フロントの先端速度は流下距離に伴って次第に減少している。これは流下に伴い硫酸バリウムが沈降し、周囲水とサーマルの密度差が小さくなっているためと考えられる。

図-4は塩水を用いた傾斜プリュームの先端速度を流下距離に対して図示したものである。この場合も初期濃度が大きくなるほど、先端速度が大きくなる。一般に傾斜プリュームではある程度の流下距離になると流れの平衡状態に至り、先端速度一定、高さが流下距離に比例することが知られている。本実験の範囲では、高さは流下距離にほぼ直線的に広がるのに対して、先端速度はやや増加する傾向にある。従って、この場合は流れの形成領域となっていることが分かる。

4. 無次元先端速度 3. 節において、保存性及び非保存性の傾斜サーマルの先端速度、保存性の傾斜プリュームの先端速度を有次元の形でみてきた。本節では、フロントの先端速度を無次元化して表示することにより、保存性及び非保存性の傾斜サーマルの相違点と共通点を明確にする。

傾斜サーマルの流動特性は、初期の体積 V_0 と有効重力の総和 B_0 によると考えられる。有効重力の総和 B_0 は

次のように表される。

$$B_0 = V_0 (\Delta \rho / \rho)_0 g \sin \theta = [L^3][LT^{-2}][L^4 T^{-2}] \quad (1)$$

ここで、 g は重力加速度、 $(\Delta \rho / \rho)_0$ は初期相対密度差であり、 $[L]$ 、 $[T]$ はそれぞれ、長さ、時間の次元であることを表す。代表速度 U_0 、代表長さ L_0 、無次元速度 U^* 、無次元距離 x^* は式(1)の結果を用いて、

$$U^* = U/U_0 = U/(B_0^{1/2}/V_0^{1/3}); \quad x^* = x/L_0 \quad (2)$$

図-5、6、7は、それぞれ、保存性、非保存性の傾斜サーマルの無次元速度（式(2)を用いた）、保存性傾斜サーマルの無次元速度を图示したものである。これらにより、無次元速度は同一の傾斜角のもとでは初期濃度に依らずほぼ同じ変化特性となることが分かる。保存性のサーマル、プリュームについては無次元速度は一定か僅かに増加する傾向にある。一方、非保存性のサーマルでは無次元速度は次第に減少する。

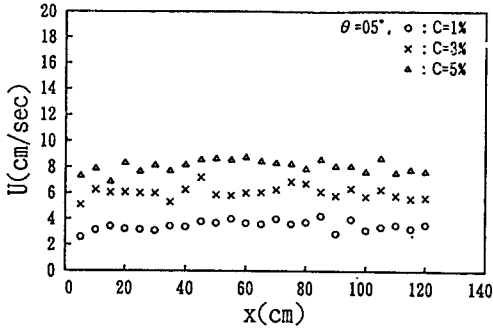


図-2 保存性の傾斜サーマルの先端速度

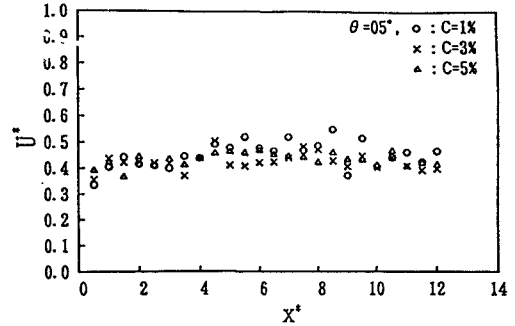


図-5 保存性の傾斜サーマルの無次元先端速度

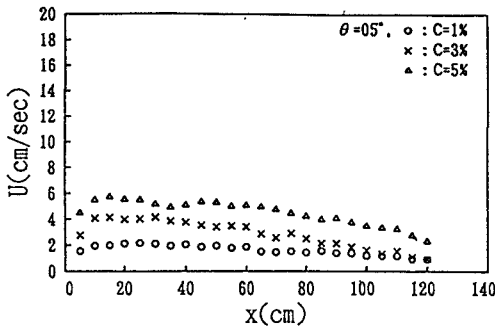


図-3 非保存性の傾斜サーマルの先端速度

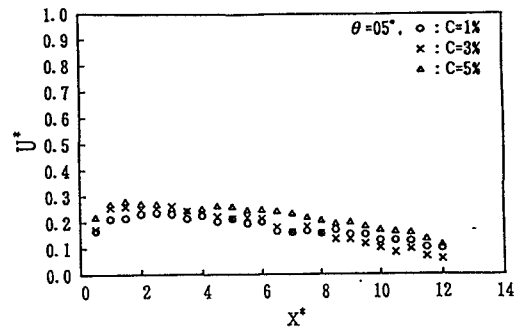


図-6 非保存性の傾斜サーマルの無次元先端速度

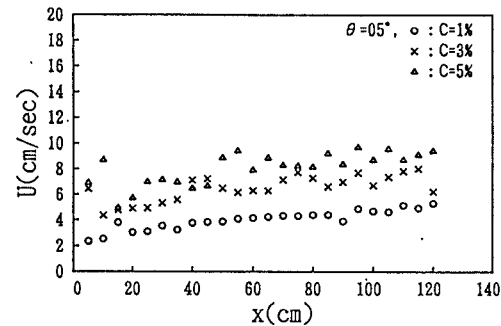


図-4 保存性の傾斜プリュームの先端速度

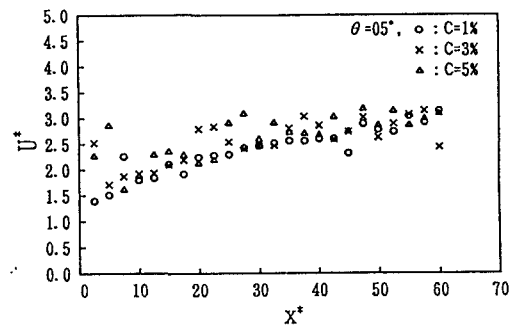


図-7 保存性の傾斜プリュームの無次元先端速度

5. おわりに 保存性の傾斜プリューム、サーマルと、非保存性の傾斜サーマルの流下速度特性の違いを実験的に調べた。非保存性のサーマルは粒子の沈降に伴って密度差が減少するため、流下速度が大きく減少することが示された。1) Beghin, P. et al. J. Fluid Mech., Vol. 107, pp.407-422, 1981.