

II-251

非保存性傾斜壁面サーマルの減速域の運動機構

長岡技術科学大学 正会員 ○福島 祐介

長岡技術科学大学 正会員 早川 典生

J R西日本 正会員 金子 幸弘

1. はじめに

固体粒子を浮遊する非保存性の傾斜壁面サーマルの運動機構は「自己加速サイクル」と「自己減速サイクル」の二つに大別される¹⁾。「自己加速サイクル」は、初期の流下速度が大きい場合に見られる現象で、流下速度の増大→乱れ運動エネルギーの増加→濃度・速度相関項の増大→固体粒子の巻き上げ（有効重力の増加）→流下速度の増大（流れの加速）に至るサイクルである。これに対し、「自己減速サイクル」は、初期流下速度が小さい場合に見られる現象で、流下速度の低下→乱れ運動エネルギーの減少→濃度・速度相関項の減少→固体粒子の沈降（有効重力の減少）→流下速度の低下（流れの減速）に至るサイクルである。密度差の原因が塩分濃度などが保存性物質の場合の「保存性傾斜壁面サーマル」では、十分時間が経過すると、最大厚さが時間の $2/3$ 乗に比例して増加し、流下速度が時間の $-1/3$ 乗に比例して減速する平衡領域に達することが知られており、「非保存性サーマル」のような加速・減速サイクルは表れない。

本論では、負の浮力源が固体粒子で構成される非保存性傾斜壁面サーマルの「自己減速域」の運動機構について実験的に検討した結果について述べる。傾斜サーマルの模式図を図1に示す。

2. 実験装置と実験方法

本研究では、底面の傾斜角が 5° 、 10° 、 30° の場合について実験を行った。傾斜角が 5° 、 10° の場合には、水路長370cm、高さ40cm、幅15cmの矩形アクリル製水槽を用い、傾斜角が 30° の場合には水路長200cm、高さ100cm、幅15cmのアクリル製水槽を用いた。水路の上流端に引き上げ式のゲートを持つボックスに1lの硫酸バリウム懸濁液をため、ゲートを引き上げるにより傾斜サーマルを発生させた。初期重量濃度は1%、3%、5%の3種類とした。これに対する相対密度差 $\varepsilon_0 (= \Delta\rho/\rho_0)$ は、それぞれ0.00777、0.0237

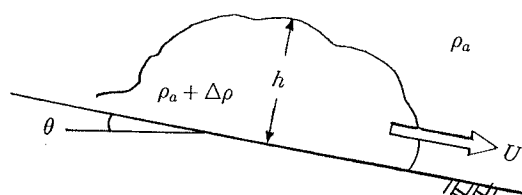


図1: 傾斜サーマルの模式図

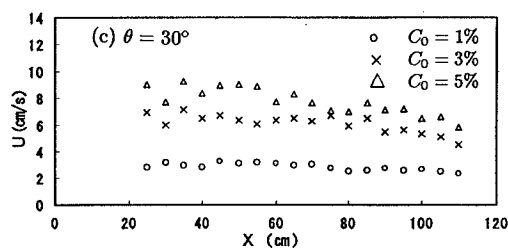


図2: フロントの移動速度の流下距離変化

、0.0401である。硫酸バリウム粒子の粒径は、 $2.00\sim 50.8\mu\text{m}$ 、これに対応する粒子の沈降速度は $6.22\times 10^{-4}\sim 4.02\times 10^{-1}\text{ cm/s}$ であった。傾斜サーマルの運動は本質的に非定常で界面に発生する大規模渦に伴って変動する。このため、それぞれの条件で3回の実験を行い、その平均を取って測定結果とした。測定項目は、フロントの流下速度、最大厚さ、流速分布、濃度分布とした。

3. フロントの流下速度とフロントの最大厚さ

図2に底面の傾斜角が 30° の場合のフロントの流下速度の流下距離変化を示す。図中、○印が1%、×印が3%、△印が5%の初期濃度である。初期濃度が1%の結果は流下速度の減少はあまり顕著ではないが、初期濃度が3%、5%と大きくなるに従って流下速度が早く減少していることがわかる。

図3に底面の傾斜角が 5° 、 10° 、 30° の場合のフロントの最大厚さの流下距離変化を表す。図中、○印が1%

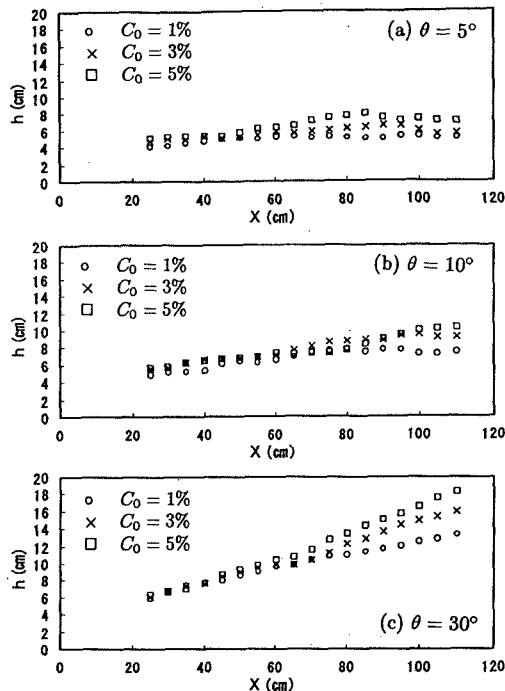


図 3: フロントの最大厚さの流下距離変化

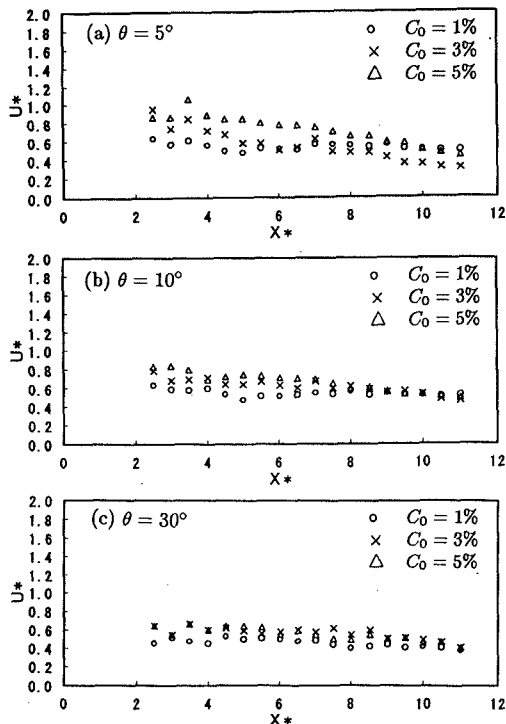


図 4: フロントの無次元移動速度

、 $\times$ 印が3%、 $\square$ 印が5%の初期濃度である。流下距離が60cm以下では、初期濃度に依らず、それぞれの傾斜角についてほぼ同じ発達率で最大厚さが増加していることがわかる。流下距離がこれより大きくなると、初期濃度により傾向が変化し、初期濃度が大きいほど最大厚さが大きくなる。また、傾斜角による違いが表れ、傾斜角が小さいほど最大厚さの発達率、すなわち最大厚さの流下方向の増大率が小さくなっていることがわかる。特に $\theta = 5^\circ$ では、初期濃度が3%、5%の場合には流下に伴って最大厚さが減少している。

4. フロントの無次元流下速度

保存性の傾斜サーマルの場合には十分時間が経過すると、最大厚さが時間の $2/3$ 乗に比例して増加し、流下速度が時間の $1/3$ 乗に比例して減速する平衡領域に達する。一方、非保存性の傾斜サーマルの場合にはこのような平衡状態は存在しない。このことを明確にするため、流下速度を無次元化する。傾斜サーマルの流動に影響に及ぼす因子として、初期濃度と傾斜角を選び、初期有効重力の斜面方向成分である $G_0 = V_0(\Delta\rho/\rho_a)g\sin\theta$ と初期体積 V_0 を用いて次のように無次元化を行う。このとき、特性速度 U_0 、特性長さ L_0 は $U_0 = G_0^{1/2}/V_0^{1/3}$ 、 $L_0 = V_0^{1/3}$ となる。無次元速度を U^* 、無次元長さを X^* とすると、無次元量は次のようになる。

$$U^* = \frac{U}{\{(\Delta\rho/\rho_a)g\sin\theta\}^{1/2}V_0^{1/6}} \quad X^* = \frac{X}{V_0^{1/3}} \quad (1)$$

図4に無次元流下速度 U^* を無次元距離 X^* 対して示す。傾斜角 $\theta = 10^\circ$ 、 $\theta = 30^\circ$ の場合は、 $X^* > 8$ で U^* は濃度による変化は小さく、一本の曲線で近似できるように見える。これに対し $\theta = 5^\circ$ の結果は、 U^* の値は全領域でかなりばらつきがある。 $\theta = 10^\circ$ 、 30° の $X^* < 8$ 及び $\theta = 5^\circ$ の全領域で、 U^* の値に差があるのは、今回の傾斜サーマルは懸濁性のため硫酸バリウム粒子が流下に伴って沈降しているためである。

5. おわりに

非保存性の傾斜サーマルでは、初期濃度が大きい程フロントの流下速度の減少は大きい。フロントの最大厚さは流下直後には初期濃度によらず増加するが、増加率が小さくなり、傾斜角が小さい条件では、減少することもある。

参考文献 1) 福嶋祐介、粉雪雪崩の流動機構の解析、雪氷、48-4, pp. 189-197, 1986.