

緩斜面上におけるサーマルについて

九州工業大学工学 学生員 ○末広 祐志、 富岡 直人
同上 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

1. はじめに

周囲流体より重い流体が傾斜面上に瞬間的に放出されると、斜面に沿って流下発達し、傾斜サーマルを形成する。本研究は、 $\theta=5^\circ$ 以下の緩斜面上における2次元傾斜サーマルの流動特性について実験的に検討を加え、特性量の定量化を行なったものである。

2. 実験装置および条件

実験装置を図1に示す。流入装置のゲートを瞬間的に引き上げることで、流入装置内部に満たされたウランインで着色した初期密度 ρ_0 の塩水を初期単位幅体積 A_0 で一様密度 ρ_s の静止した周囲水中に瞬間的に流入させ、傾斜角度 θ の斜面上に重心移動速度 U で流下する平均密度 ρ のサーマルを形成させた。

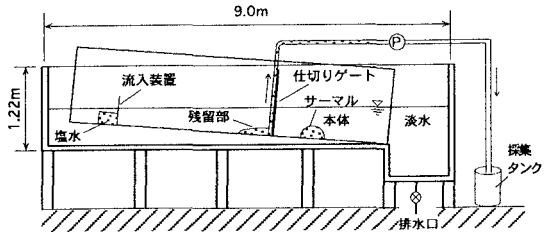


図-1 実験装置

保存性2次元傾斜サーマルの流動形態は、周囲流体が静止かつ一様密度の状態では、初期単位幅体積 A_0 、初期相対密度差 $\varepsilon_0=(\rho_0-\rho_s)/\rho_s$ などの流入条件と底面傾斜角度 θ によって規定される。そこで、 A_0 と ε_0 はそれぞれ $A_0=100\text{cm}^2$ と $\varepsilon_0=0.08, 0.10$ および 0.12 とし、 $\theta=1^\circ, 3^\circ$ および 5° の3通りに変化させ実験を行なった。

3. 流れの観測と実験方法

緩斜面上のサーマルでは、循環流が弱いため、サーマル後方の残留塩水をサーマル内部に取り込むことができず、傾斜ブルーム後続部のような残留部が明確に見られることが特徴である。

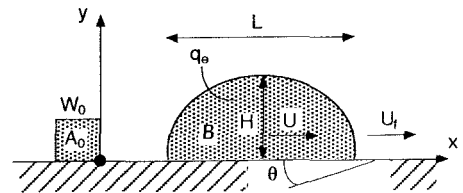


図-2 傾斜サーマルの定義図

そこで、サーマル本体の有効重力の保存状況を定量的に調べる目的で、次のような実験を行った。図1に示すように仕切りゲートを設置し、サーマル本体が通過すると同時にゲートを瞬間的に降ろし、サーマル本体とそれより後方の残留塩水とを分離した。その後、残留塩水を回収し、その塩分濃度と体積を導電率計で測定し、残留塩分を求めた。その際、傾斜サーマルは一過性の非定常流れであるので、水路中の1ヵ所にゲートを設置し、同一条件下で3回の繰り返し実験を行いデータの信頼性を高めるとともに、ゲートの設置点を移動させ同一条件下で5回の実験を行ない、残留塩分の流下方向変化を求めた。

更に、サーマルの移動速度と同じ速度でVTRカメラを移動させ、VTRに収録された画像の解析を行なうことにより、サーマルの形状ならびに重心移動速度 U を求めた。図2に傾斜サーマルの定義図を示す。

4. 実験結果

緩斜面上のサーマルでは、初期総有効重力 $W_0(=A_0\varepsilon_0g)$ が流下に際して保存されないことが大きな特徴であるが、それが流動特性にどのような差異を生じるのかについて以下で検討する。ただし、図4～6中の式の添字 m と s はそれぞれ $\theta \leq 5^\circ$ と $\theta > 5^\circ$ を表す。形状係数や最大層厚変化率 dH/dx については、 $\theta > 5^\circ$ の場合と比較して著しい違いは認められなかったため、ここでは省略する。

(1) サーマル本体の有効重力 W と初期有効重力 W_0 との比 W/W_0 の流下方向の変化

図3はサーマル本体の総有効重力 W と初期総有効重力 W_0 の比である W/W_0 と流下距離 x との関係を調べたものである。全体的に x が増加しても、 W/W_0 はほぼ一定に保たれることや θ が小さいほど W/W_0 が小さくなっていることが認められる。いずれにせよ、サーマル内部の総有効重力 W は50%以下であり、予想以上に多くの塩分がサーマル後方に取り残されていることがわかる。

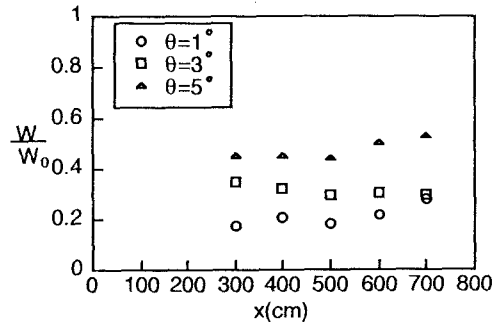


図3 傾斜サーマルの総有効重力と初期総有効重力との比 W/W_0 の流下方向変化

(2) 無次元断面平均浮力(B^*)

式(1)で定義される B^* と θ との関係について調べたものが図4である。 $\theta \leq 5^\circ$ では $\theta > 5^\circ$ の関係と同様に θ に対して増加する傾向を示しているが、初期総有効重力 W_0 の非保存性を反映して B^* は小さくなっている。同図より、 B^* と θ との関係は式(2)で近似される。

$$B^* = \frac{W/A}{W_0/H^2} \quad (1) ; \quad B^*_m = 0.025\theta + 0.011 \quad (2)$$

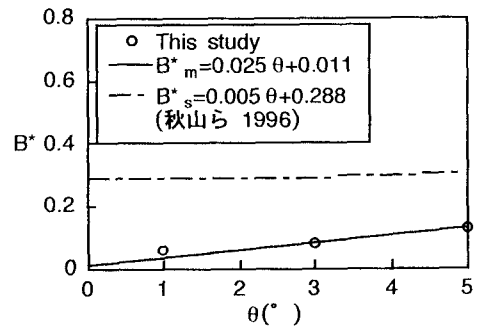


図4 無次元断面平均浮力 B^* と θ との関係

(3) 無次元重心移動速度(U^*)

式(3)で定義される U^* と θ との関係について調べたものが図5である。初期総有効重力 W_0 の非保存性に起因してサーマルの駆動力が減少するため、 $\theta \leq 5^\circ$ の U^* の方が $\theta > 5^\circ$ よりも小さくなっている。また、 $\theta = 1^\circ$ ではやや傾向が異なっていることも確認できる。同図より、 $\theta \leq 5^\circ$ での U^* は式(4)で近似できる。

$$U^* = \frac{U}{(W_0/H)^{1/2}} \quad (3) ; \quad U^*_m = 0.030\theta + 0.153 \quad (4)$$

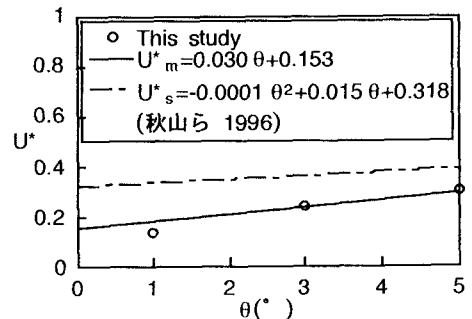


図5 無次元重心移動速度

(4) 連行係数(E_d)

式(5)で定義される連行係数 E_d と θ との関係について調べたものが図6である。 $\theta \leq 5^\circ$ と $\theta > 5^\circ$ のいずれの E_d も θ に対して線形的に増加し、 $\theta \leq 5^\circ$ での E_d は式(6)で近似できるが、 $\theta \leq 5^\circ$ と $\theta > 5^\circ$ との E_d 値の間には若干の差異が認められる。また、 $\theta = 1^\circ$ と $\theta = 3^\circ$ ならびに 5° では明らかな違いが認められる。ここに、 q_s =連行量、 C =サーマルの周囲長である。

$$E_d = \frac{q_s}{CU} \quad (5) ; \quad E_{dm} = 0.0058\theta \quad (6)$$

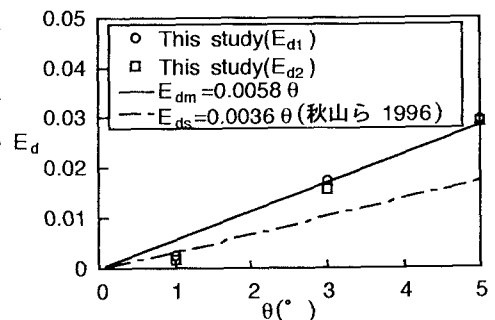


図6 E_d と θ との関係

参考文献：秋山ら(1996)、水工学論文集、第40巻。