

低傾斜面上におけるサーマルの流動特性

九州工業大学工学部 学生員 ○斎藤 俊一郎、富岡 直人
同 上 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

1. 序論

周囲水より重い流体が斜面上に瞬間的に放出されると傾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、底面傾斜角度 $\theta=1^\circ \sim 5^\circ$ の低傾斜面上におけるサーマルの主要な流動特性に関して統一的な知見を得ることを目的としたものである。

2. 実験

実験装置は大型水槽(長さ9.0m、深さ1.22m、幅0.6m)内に可変勾配水路(長さ7.5m、深さ1.0m、幅0.2m)を設けたもので、底面傾斜角 θ は 1° 、 3° および 5° の3通りに変化させた。水路上流端に放出ゲートが付いた正方形断面を有するBOXが取り付けられており、このBOXにウラン色素で着色した塩水(初期相対密度差 $\varepsilon_0=(\rho_0-\rho_s)/\rho_s$)を満たし、ゲートを瞬間的に引き上げることにより傾斜サーマルを発生させた。ここに、 ρ_0 、 ρ_s はそれぞれ初期塩水、周囲淡水密度である。実験条件を表1に示す。特性量はVTRを用いて収録した画像を解析することにより求めた。図1に傾斜サーマルの定義図を示す。

3. 実験結果

傾斜サーマルのOverall Richardson数 R_i を式(1)で定義すると、 R_i 数は式(2)のように書き換えられる。

$$R_i = \frac{BH \cos \theta}{U^2} \quad \dots (1) ; \quad R_i = \frac{FW \cos \theta}{S_i U^2 H} \quad \dots (2)$$

ここに、 B =有効重力($=(\rho-\rho_s)g/\rho_s$)、 ρ =サーマルの密度、 g =重力加速度、 H =サーマルの最大層厚、 U =サーマルの重心移動速度、 F =断面アスペクト比、 W =総浮力、 S_i =形状係数である。

低傾斜角度における傾斜サーマルでは、初期総有効重力 W_0 が流下方向に保存されない⁽¹⁾、これを考慮して R_i 数を式(2)より算定し、流下距離 x に対してプロットしたものが図2である。 $\theta=5^\circ$ の場合では、 $\theta>5^\circ$ の場合⁽²⁾と同様に R_i 数が x について一定となることが認められる。 $\theta=3^\circ$ の場合では、一定値に向かう傾向は認められるが、実験水路の長さが十分でないために固有の R_i 数を特定することはできない。 $\theta=1^\circ$ の場合では、一定値に向かう傾向も認められず、 ε_0 にも依存するようである。これより、 $\theta=1\sim 3^\circ$ において何らかの流動現象の変化が生じているものと思われる。

以下に述べる特性量は、重心移動速度 U が流下距離 x の $1/2$ 乗に比例する領域から求めた。

(1)形状および形状係数(S_i 、 F):サーマルの形状は図3に示すように流入条件にかかわらず、ほぼ半楕円形状の相似形を有することが認められた。 A をサーマルの単位幅体積、 L をサーマルの長さとする、式(3)および式(4)によりそれぞれ定義される形状係数 S_i および断面アスペクト比 F は、図4および図5に示すように θ の関数としてそれぞれ式(5)、(6)で近似される。

$$S_i = A/(HL) \quad \dots (3) ; \quad F = H/L \quad \dots (4)$$

$$S_i = \pi/4 \quad \dots (5) ; \quad F = 0.014\theta + 0.154 \quad \dots (6)$$

(2)最大層厚変化率(dH/dx): dH/dx は、図6に示すように θ に対して単調に増加し、式(7)で近似的に与えられるが、Beghin et al.⁽³⁾のものとは大きく異なっている。

$$dH/dx = 0.0052\theta \quad \dots (7)$$

(3)連行係数(E_d):連行係数 E_d を式(8)で定義する。 E_d 値の算定に当たっては、式(9)より算定する E_{d1} と、式(10)より算定する E_{d2} の2通りの方法を用いた。図7に E_d と θ との関係を示す。算定方法が異なるにも関わらず、両者にはほとんど差異がないことがわかる。よって、 E_d は θ の関数として式(11)で近似されることがわかる。

$$E_d = q_0/(CU) \quad \dots (8) ; \quad E_{d1} = 2 \frac{S_i}{S_2} \frac{dH}{dx} / \sqrt{F} \quad \dots (9)$$

$$E_{d2} = \frac{q_0 \sqrt{F}}{S_2 U H} \quad \dots (10) ; \quad E_d = 0.0052\theta \quad \dots (11)$$

ここに、 q_0 =連行量、 C =サーマルの周囲長($=S_2 \sqrt{HL}$)、 $S_2 = (\pi/2^{3/2}) \sqrt{4F^2 + 1} / \sqrt{F}$ である。

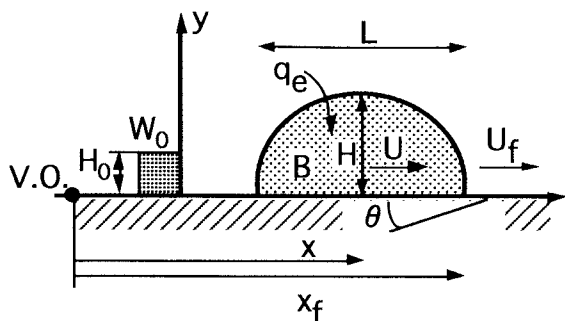


図1 定義図

表1 実験条件

$\theta(^{\circ})$	BOX(cm×cm)	ε_0
1	10×10	0.08
		0.12
3	10×10	0.08
		0.12
5	10×10	0.08
		0.12

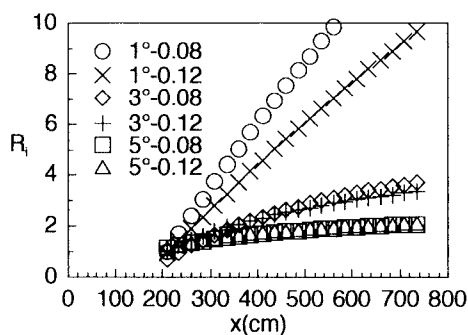


図2 R_1 と x との関係

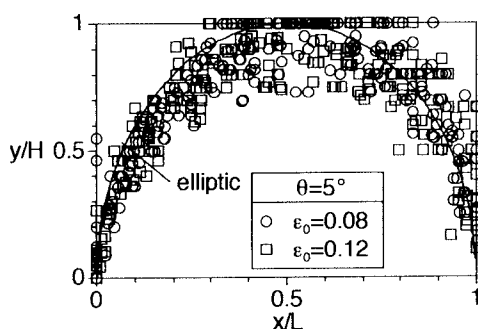


図3 無次元サーマル形状の一例

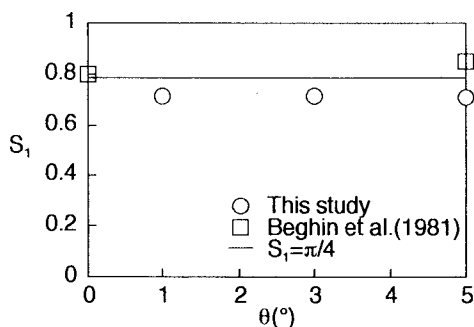


図4 S_1 と θ との関係

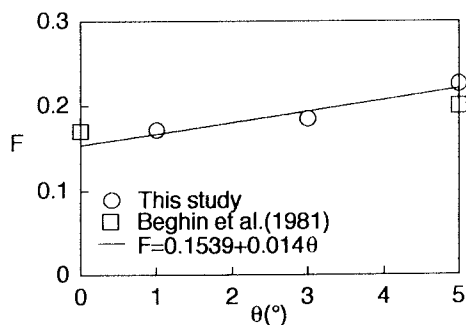


図5 F と θ との関係

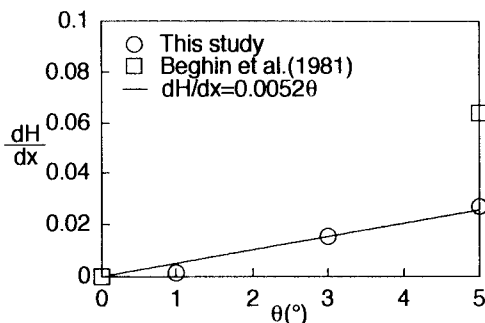


図6 dH/dx と θ との関係

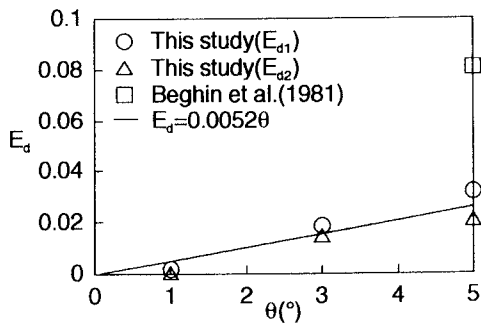


図7 E_d と θ との関係

参考文献: (1) 秋山・浦・富岡(1997)、西部支部。

(2) 秋山・浦・斎藤(1996)、水工学論文集、第40巻。

(3) Beghin et al.(1981)、J.Fluid Mech.,Vol.107。