

保存性2次元傾斜サーマルの流動特性・・・平均浮力と連行係数について

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、保存性傾斜サーマルの断面平均浮力 B と連行係数 E_d の普遍定量化を目的としたものである。

2. 実験装置

実験装置は大型水槽内に可変勾配水路を設けたもので、底面傾斜角 θ を 5° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° および 90° の7通りに変化させた。水路上流端に放流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を満たし、ゲートを瞬間的に引き上げることで保存性傾斜サーマルを発生させた。流入密度差 ϵ_0 は、各角度に対してそれぞれ0.01～0.14の範囲で3通りに変化させ、初期単位幅体積 A_0 は $3.24 \sim 100$ (cm^2) の範囲で変化させた。特性量はVTRを用いて画像解析より求めた。また、流れの再現性は良好であったので、同一条件下で5回の繰り返し実験を行い、実験データの信頼性を高めた。図1に傾斜サーマルの定義図を示す。

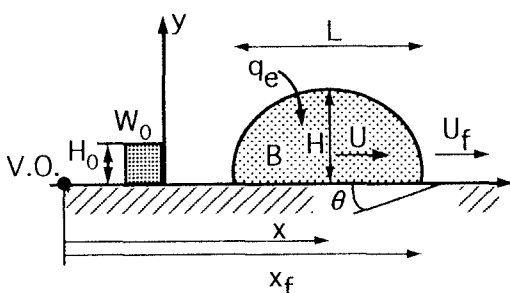


図1 傾斜サーマルの定義図

3. 実験結果

(1) 無次元平均浮力(B^*): B^* を式(1)で定義する。保存性傾斜サーマルでは初期総浮力 W_0 が保存されるので、これを利用して B^* の算定を行った。つまり、 $W_0 = W (=AB)$ なる関係があるので、 B^* は式(2)のように断面積比 S_1 と断面アスペクト比 F で表される。 S_1 値は式(3)のように θ に依存せずほぼ一定値をとり、 F 値は式(4)のように θ の一次関数なので、 B^* は流下距離 x には依存せず、図2に示すように θ の1次関数として、近似的に式(5)のように与えられる。さらに、最大総厚変化率 dH/dx は図3に示すように θ に対して線形的に増大し、式(10)で近似的に与えられるので、式(1)により平均浮力 B も簡単に求められ、 $B \sim x^{-2}$ なる関係があることがわかる。

$$B^* = \frac{B}{W_0 A^2} \quad \dots (1) ; \quad B^* = \frac{F}{S_1} \quad \dots (2)$$

$$S_1 = \frac{A}{HL} = 0.744 \approx \frac{\pi}{4} \quad \dots (3) ; \quad F = \frac{H}{L} = 0.004\theta + 0.224 \quad \dots (4)$$

$$B^* = 0.005\theta + 0.288 \quad \dots (5)$$

ここに、 B =平均浮力($=(\rho - \rho_a)g/\rho_a$); ρ =サーマルの密度; ρ_a =周囲水の密度; g =重力加速度; W_0 =初期総浮力; H =最大層厚; L =長さ; A =サーマルの単位幅体積である。

(2) 連行係数(E_d): 連行係数 E_d を式(7)で定義する。 E_d の算定に当たっては、式(8)に基づくBeghinらが用いた方法(E_{d1})と式(9)に基づく方法(E_{d2})の2通りの方法を用いた。前者は体積保存則を変形したものであり、後者は連行係数の定義式である式(7)を変形したものである。さて、本研究で得られた dH/dx 値は式(10)で与えられるが、図3から明らかなように各角度において、Beghinらのものと比べて1/3程度となっている。従って、図4に示す E_d と θ との関係においても、本研究で得られた E_{d1} 値はBeghinらのものと比較すると明らかに小さく、1/2程

度となっている。ところが、本研究で得られた E_{d1} 値はまったく異なる算定方法に基づく E_{d2} 値と各角度において、ほぼ一致した結果を与えており、本研究の結果の信頼性は高いと考えられる。また、保存性傾斜サーマルのOverall Richardson数 R_i は式(11)のように表現することができるので、密度測定などのやっかいな計測を行わずに R_i 数を実験的に決定することができる。図5は E_d と R_i 数との関係を示したものである。以上より、 E_d は θ または R_i の関数としてそれぞれ式(12)、(13)で近似的に表現できることがわかる。

$$E_d = \frac{q_e}{CU} \quad \dots (7)$$

$$E_{d1} = 2 \frac{S_1}{S_2} \frac{dH}{dx} / \sqrt{F} \quad \dots (8) ; \quad E_{d2} = \frac{q_e \sqrt{F}}{S_2 UH} \quad \dots (9)$$

$$\frac{dH}{dx} = 0.004\theta \quad \dots (10) ; \quad R_i = \frac{FW_0 \cos \theta}{S_1 U^2 H} \quad \dots (11)$$

$$E_d = 0.0036\theta \quad \dots (12) ; \quad E_d = \frac{0.37 - 0.15R_i}{1 + 0.94R_i} \quad \dots (13)$$

ここに、 q_e =連行量； U =重心移動速度； C =サーマルの周囲長(= $S_2 \sqrt{HL}$)；
 $U_i/U = (1 + 1/2F)(dH/dx)$ ； $S_2 = (\pi/2^{3/2})\sqrt{4F^2 + 1}/\sqrt{F}$ である。

参考文献：[1]Beghin et al.(1981), J. Fluid Mech.,Vol.107, [2]秋山・浦・斎藤(1996)、水工学論文集、第40巻。

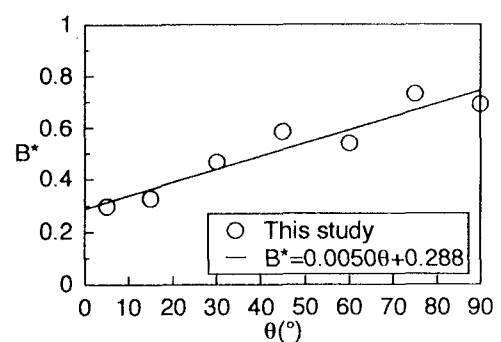


図2 B*と θ との関係

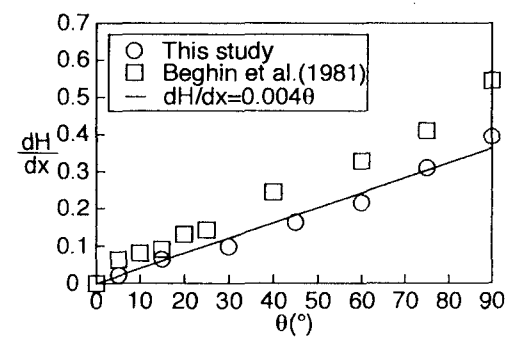


図3 dH/dx と θ との関係

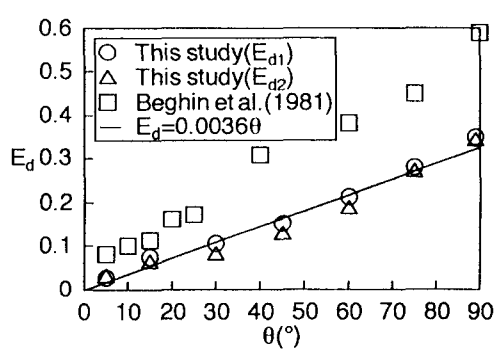


図4 E_d と θ との関係

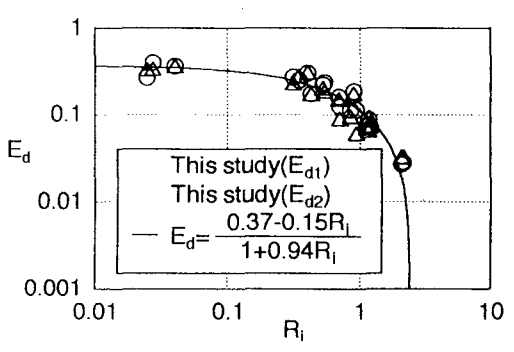


図5 E_d と R_i との関係