

保存性2次元傾斜サーマルと傾斜ブルーム先端部の連行係数について

九州工業大学工学部 学生員 ○早川 史郎、今宮 盛雄
正 員 秋山 寿一郎、浦 勝

1. 序論

傾斜面上を流下する重力密度流は流入条件が連続的か瞬間的かによって、傾斜ブルームもしくは傾斜サーマルに分けられる。本研究は、保存性傾斜ブルーム先端部と傾斜サーマルの連行係数をはじめとする流れの特性量について統一的に比較検討を加えるとともに、従来の代表的研究であるBritter & Linden(1980)およびBeghin et al.(1981)の実験結果との比較検討も併せて行ったものである。

2. 実験

実験装置は大型水槽内に可変勾配水路を設けたもので、傾斜ブルームでは5、10、20、45、60および90°、サーマルでは5、15、30、45、60、75および90°の各底面傾斜角 θ で実験を行った。いずれの場合も塩水を淡水中に流入させることによって保存性重力密度流を形成し、先端移動速度 U_f および先端部形状をVTR画像解析より求めた。定義図を図1に示す。

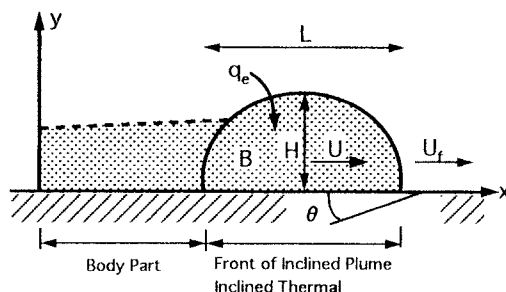


図1 流れの定義図

3. 実験結果

傾斜ブルームは先端部と後続部から構成され、高濃度・高速の後続部から低濃度・低速の先端部へ浮力の供給があり、後続部において初期浮力フラックス $q_{f0}(=B_0 q_0)$ が流下方向へ保存されるのが特徴である。一方、傾斜サーマルは、後続部が無く、初期総浮力 $W_0(=B_0 A_0)$ が流下方向へ保存されるのが特徴である。ここに、 A_0 =流入BOXの断面積、 B_0 =初期浮力、 q_0 =流入単位幅流量である。以下、傾斜ブルーム先端部(添字P)および傾斜サーマル(添字T)の各巨視的的特性量について比較検討を加える。

(a)断面アスペクト比 $F=H/L$ は、ブルーム先端部、サーマルのいずれも θ に線形的に依存し、両者の間にほとんど差異がないことが認められ、それぞれの θ の関数として式(1)、(2)で近似できる(図2)。

$$F_P = 0.0053\theta + 0.20 \quad \dots (1) ; F_T = 0.0040\theta + 0.22 \quad \dots (2)$$

(b)断面面積比 $S=A/(HL)$ は、ブルーム先端部、サーマルのいずれも θ に依存せず、それぞれ式(3)、(4)で近似できる(図3)。

$$S_P = 0.785 \pm 0.017 \approx \frac{\pi}{4} \quad \dots (3) ; S_T = 0.744 \pm 0.025 \approx \frac{\pi}{4} \quad \dots (4)$$

(c)最大層厚変化率 dH/dx は、ブルーム先端部、サーマルのいずれも θ に線形的に依存し、両者はほとんど一致しており、それぞれ θ の関数として式(5)、(6)で近似できる(図4)。

$$\frac{dH_P}{dx} = 0.0037\theta \quad \dots (5) ; \frac{dH_T}{dx} = 0.0040\theta \quad \dots (6)$$

(d)連行係数を $E_d=q_e/(LU_f)$ で定義する。体積保存則より、連行量 q_e はブルーム先端部とサーマルに対して、それぞれ式(7)、(8)のように与えられる。

$$q_{eP} = \frac{dA_P}{dt} - q_i \quad \dots (7) ; q_{eT} = \frac{dA_T}{dt} \quad \dots (8)$$

それぞれの dA/dt 値は、画像解析より求めた数多くの $\Delta A/\Delta t$ 値の集合平均をとることによって求めることができる。ブルーム先端部では、後続部から先端部への流入フラックス q_i の値を

知る必要があるが、これについても式(9)より、半理論的に求めることができる(Akiyama et al.,1994a,b)。

$$q_i = q \left[1 - \left(\frac{U_b}{U} \right) \left(\frac{U_i}{U_b} \right) \right] \quad \dots (9)$$

ここに、 q =後続部の単位幅流量、 U_{ie}/U =先端部最先端での移動速度 U_{ie} と後続部断面平均流速 U との比、 U_i/U_{ie} =先端部重心移動速度 U_i と最先端部移動速度 U_{ie} との比であり、それぞれ以下のように与えられる。

$$q = q_0 + E_e U x \quad ; \quad U = \left(\frac{B_0 q_0}{R_{ln}} \right)^{1/3}$$

$$\frac{U_b}{U} = 0.4 - \frac{0.04 + 0.75 \tan \theta - \sqrt{0.5625 \tan^2 \theta + 1.41 \tan \theta + 0.0061}}{0.0267 + 8 \tan \theta}$$

$$\frac{U_b}{U_i} = 1 + \frac{1}{F} \frac{dH_i}{dx} \quad ; \quad E_e = \frac{0.08 - 0.1 R_i}{1 + 7 R_i} \quad ; \quad R_{ln} = \frac{-A_2 + \sqrt{A_2^2 - 4 A_1 A_3}}{2 A_1}$$

いま、 E_e =後続部の連行係数、 R_i =後続部のOverall Richardson数、 $A_1=0.05\beta_1+5\beta_2\tan\theta$ 、 $A_2=0.1-0.04\beta_1+\beta_2\tan\theta-5f_b$ 、 $A_3=-0.08-f_b$ 、 $\beta_1=0.25$ 、 $\beta_2=0.75$ 、 $f_b=0.01$ である。

連行係数 E_d は、プルーム先端部、サーマルではほぼ一致し、 θ の一次関数として式(10)で近似できる(図5)。この理由は、プルーム先端部への流入フラックス q_i が先端部連行量 dA_p/dt に比して、無視できるほど小さいためと考えられる。

$$E_d = E_{dp} = E_{dt} = 0.0045 \theta \quad \dots (10)$$

4.参考文献

- [1]Britter & Linden (1980), JFM,vol.99.
- [2]Beghin et al. (1981), JFM, vol.107.
- [3]Akiyama et al. (1994a), JHHE, vol.12.
- [4]Akiyama et al.(1994b),JHHE,vol.12.

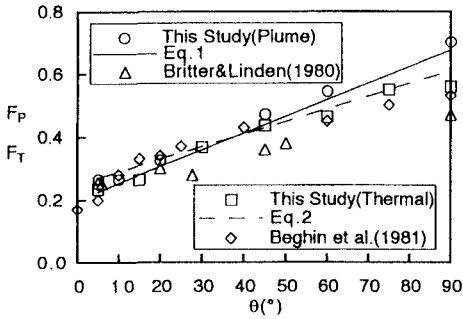


図2 Fと θ との関係

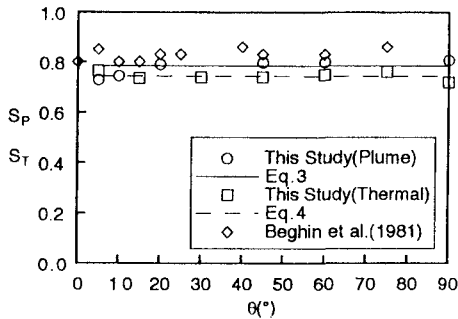


図3 Sと θ との関係

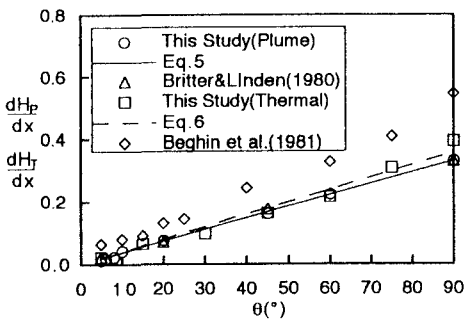


図4 dH/dx と θ との関係

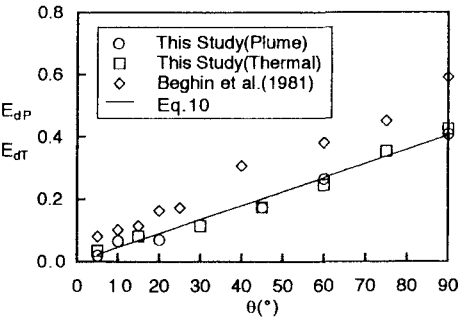


図5 E_d と θ との関係