

保存性2次元傾斜サーマルの流動特性・・・抵抗係数と仮想原点について

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

1. 序論

周囲より重い流体が斜面上(傾斜角度 θ)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、保存性傾斜サーマルの予測モデルに含まれる抵抗係数の算定と予測モデルの適用に当たって極めて重要である仮想原点位置について検討を加えたものである。

2. 保存性傾斜サーマルの理論

傾斜サーマルを図1のようにモデル化する。現象のモデル化にあたって、以下のような仮定を設ける。(1)サーマルの形状は流下方向に相似形を保つ、(2)サーマルの形状は半楕円で近似できる、(3)サーマルの内部は完全混合状態である、(4)周囲水の密度は均一である、(5)上部界面の不安定のために、サーマルの流体塊の一部が後方へ置き去られるが、この量は微小であるとして無視する、(6)Boussinesqサーマルとする。

対象とする現象の支配方程式は体積保存の式、質量保存の式、および運動方程式であるが、これらは最大層厚 H 、Overall Richardson数 $R_i(=BH\cos\theta/U^2)$ および断面平均浮力 $B(=\varepsilon_0 g)$ を未知数とする支配方程式(1)～(3)に書き換えられる。

$$\frac{dH}{dx} = \frac{1}{2} \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \sqrt{FE_d} \quad \dots (1) ; \quad \frac{dR_i}{dx} = \frac{3R_i}{H} \left[\frac{dH}{dx} + \frac{2}{3} \frac{FC_d - S_1 R_i \tan\theta}{S_1(1+A_m)} \right] \quad \dots (2)$$

$$\frac{dB}{dx} = - \frac{2B}{H} \frac{dH}{dx} \quad \dots (3)$$

ここに、 F =断面アスペクト比($=H/L$)、 C_d =抵抗係数、 A_m =付加質量係数、 L =サーマル長、 W_0 =初期総浮力($=A_0 B_0$)、 $S_1(=A/(HL))$ 、 $S_2(=(\pi/2^{3/2}) \sqrt{4F^2+1}/\sqrt{F})$ は形状係数、 A =サーマル断面面積、 E_d =連行係数($=q_e/S_2 \sqrt{HL} U$)、 q_e =サーマルの連行量である。

支配方程式(1)～(3)において $dR_i/dx=0$ とすると、流下方向に R_i 数=一定($=R_{in}$)となる”流れの確立領域”における理論解が、流れの確立領域における H を外挿して $H=0$ となる点からの流下距離を x として、以下のように求められる。

$$\frac{H}{x} = \frac{1}{2} \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \sqrt{FE_d(\theta)} \quad \dots (4) ; \quad \frac{U}{\sqrt{W_0 H}} = \left[\frac{\sin\theta}{\left(\frac{3}{4} (1+A_m) S_2 \frac{E_d(\theta)}{\sqrt{F}} + C_d \right)} \right]^{1/2} \quad \dots (5)$$

$$\frac{B}{W_0 H^2} = \frac{F}{S_1} \quad \dots (6)$$

式(4)～(6)において、右辺はいずれも θ のみの関数であるので、 $H \sim x$ 、 $U \sim x^{-1/2}$ 、 $B \sim x^{-2}$ の関係があることがわかる。

3. 仮想原点について

支配方程式(1)～(3)を用いて、傾斜サーマルの流動特性を予測するためには、計算の初期条件である仮想原点位置を明らかにする必要がある。理論解に対する仮想原点位置は、上述のように $H=0$ となる点で定義したが、先端速度 U_f を用いて $W_0/U_f^2=0$ となる点で定義することもできる。 $H=0$ より決定した各底面傾斜角度における仮想原点と実際の流入点との距離 x_v を x_{vH} 、 $W_0/U_f^2=0$ より決定した x_v を x_{vU} とし、両者を比較したものが図2である。ここに、 x_v^* は無次元仮想原点位置($=x/A_0^{1/2}$)である。同図より、 $\theta \geq 60^\circ$ では両者はほぼ一致するが、それ以下の底面傾斜角度では一般に一致しないことがわかる。しかし、仮想原点位置の決定において、実

験データのばらつきなどが大きく影響するので、今後さらにデータの質を高め、両者の相違について引き続き検討する必要があると思われる。

4. 抵抗係数について

支配方程式(1)～(3)を用いて、傾斜サーマルの流動特性を予測するためには、適切な抵抗係数を与える必要がある。さて、式(2)において $dR_l/dx=0$ とすることによって、 C_d と A_m との関係が式(7)のように得られる。これが本解法の特徴であり、 C_d あるいは A_m のいずれか一方が既知であれば、式(7)の中の F 、 S_1 、 R_{in} および dH/dx はいずれも可視化実験により比較的容易に決定できるので、もう一方を半理論的に求めることが可能となる。ここでは、 A_m として式(8)で与えられる楕円形状Solid Bodyの付加質量係数を採用し、上記諸量を実験的に求め、式(7)に基づき、 C_d 値を決定した。

$$C_d = \frac{S_1}{F} \left(R_{in} \tan \theta - \frac{3}{2} \frac{dH}{dx} (1 + A_m) \right) \cdots (7) ; A_m = 2F \cdots (8)$$

図3がこのようにして得られた各底面傾斜角における C_d の値である。同図より、 C_d 値は底面傾斜角度に依存せず、ほぼ一定値を取ることがわかる。また、図4は完全乱流状態での楕円断面形状を有する2次元Solid Bodyの C_d 値との比較のグラフである。同図より、いずれの傾斜角度においても、サーマルの C_d 値の方が小さく、傾斜角度が大きくなると C_d 値の差異も大きくなることわかる。

5. 参考文献

[1]秋山・浦・富岡・今宮(1996)、水工学論文集、第40巻、[2]秋山・浦・斎藤(1996)、水工学論文集、第40巻、

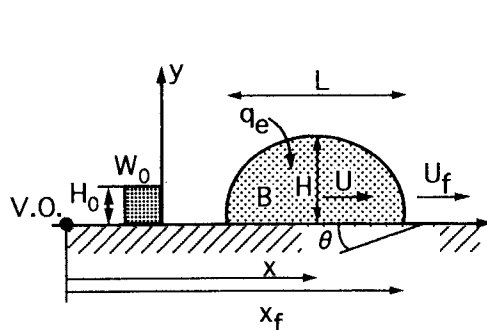


図1 定義図

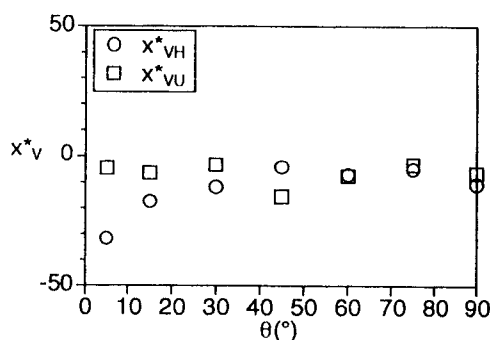


図2 仮想原点

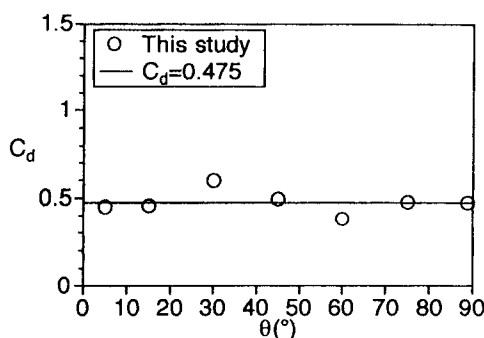


図3 抵抗係数

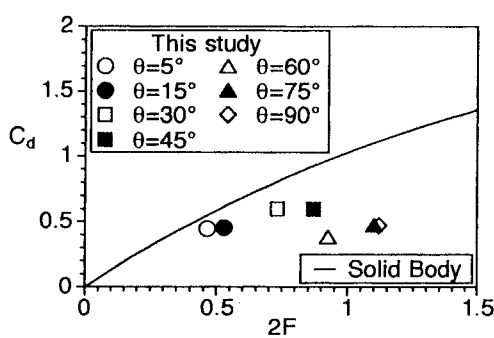


図4 抵抗係数の比較