

II - 267

傾斜サーマルの流動特性に関する理論的研究

九州工業大学工学部

学生員 ○斎藤 俊一郎

同 上

正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

東京建設コンサルタント

森田 毅

1.序論: 周囲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、“保存性傾斜サーマル”の流動特性の理論予測モデルの構築を目的としたものである。

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と、支配方程式である体積保存の式、質量保存の式、運動方程式は、最大層厚 H 、Overall Richardson数 Ri および平均浮力 B を未知数とする式(1)~(3)の支配方程式に書き換えられる。

$$\frac{dH}{dx} = \frac{1}{2} \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \sqrt{f(\theta)} E_d \quad (1) ; \quad \frac{dRi}{dx} = \frac{3Ri}{H} \left[\frac{dH}{dx} + \frac{2}{3} \frac{f(\theta)C_d - S_1Ri \tan\theta}{S_1(1+A_m)} \right] \quad (2)$$

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

ここに、 $Ri=f(\theta)W_0\cos\theta/(S_1U^2H)$ 、 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($=B_0H_0L_0$)、 U =重心移動速度、 S_1 =形状係数($=A/(HL)$)、 S_2 =形状係数($=(\pi/2)^{3/2} \sqrt{4f^2(\theta)+1}/\sqrt{f(\theta)}$)、 E_d =連行係数($=q_0/(S_2\sqrt{HL}U)$)、および $f(\theta)$ =断面アスペクト比($=H/L$)である。

流れの確立領域での理論解: 式(1)~(3)において、 $dRi/dx=0$ とすると、 Ri =一定となる“流れの確立領域”に対して、 H 、 U および B の理論解が以下のように求められる。

$$\frac{H}{x} = \frac{1}{2} \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \sqrt{f(\theta)} E_d \quad (4) ; \quad \frac{U}{\sqrt{W_0/H}} = \left[\sin\theta / \left(3(1+A_m)S_2E_d / (4\sqrt{f(\theta)}) + C_d \right) \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\frac{B}{W_0/H^2} = \frac{f(\theta)}{S_1} \quad (6) \quad \text{ここに、} x=\text{仮想原点からの距離。}$$

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.付加質量係数 A_m と抵抗係数 C_d の推定: 式(2)において $dRi/dx=0$ とすると C_d と A_m との関係式が得られる。ここでは、 C_d と A_m との与え方について、以下の3通りの方法を考え、モデルの適用性について考察する。

【方法1】 A_m =半楕円形状Solid Bodyの付加質量係数($=2f(\theta)$)を採用し、 $C_d=0$ とする方法。

【方法2】式(2)で $dRi/dx=0$ として、 $A_m=2f(\theta)$ を採用し、実験値を用い C_d 値を算定する方法。この場合の C_d と θ の関係を図-2に示す。 C_d 値はほぼ0.6程度を取り、底面傾斜角度には依存しないという妥当な結果が得られた。

【方法3】 $C_d=0$ とし、 A_m がSolid Bodyのそれに比例すると仮定し、補正係数 α を式(7)の様に導入し、実験値を用い A_m 値を算定する方法。この場合の α と θ の関係を図-2に示す。

$$A_m=2f(\theta)\alpha \quad (7)$$

4.数値計算値と実験値との比較: 理論解と数値解との比較を行い、両者が完全に一致することがわかった。

また、異なる流入条件に対する Ri の挙動も調べたが、いずれの角度でも流入条件にかかわらず、 Ri は一定値($=R_{in}$)に収束することがわかった。 R 値の実験値と計算値の比較の一例を図-3に示す。図の横軸は実験値の幅(x^0-x^*)で無次元化されている。計算のための初期条件としては、仮想原点での値を用いた。つまり、 H_0 としては極めて小さな値、 U_0 としては極めて大きな値を使用し、 B_0 は W_0 =一定なる条件から逆算して求めた。 $\theta=45^\circ$ 、 $W_0=39.2\text{cm}^3/\text{s}^2$ の場合での実験値と数値計算との比較を図-4に示す。図中の(H , B , U)の単位は(cm , cm/s^2 , cm/s)である。【方法1】は R 値の予測精度に問題があり、【方法2】は【方法3】よりも若干よい結果を与え、最良の方法であることが判った。

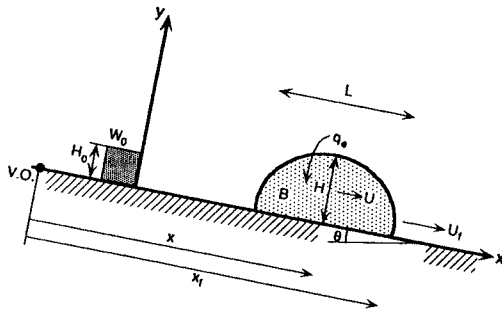


図-1 定義図

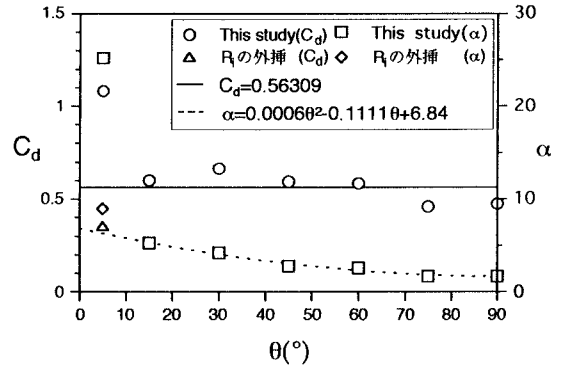


図-2 C_d , α と θ との関係

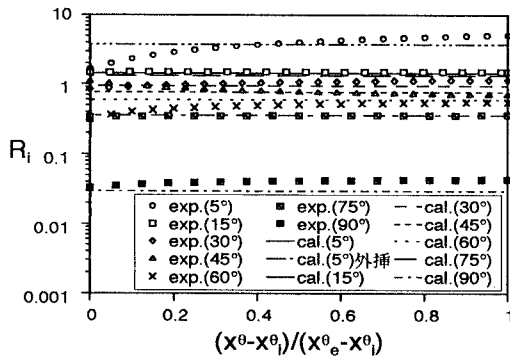


図-3 R_i の実験値と計算値との比較

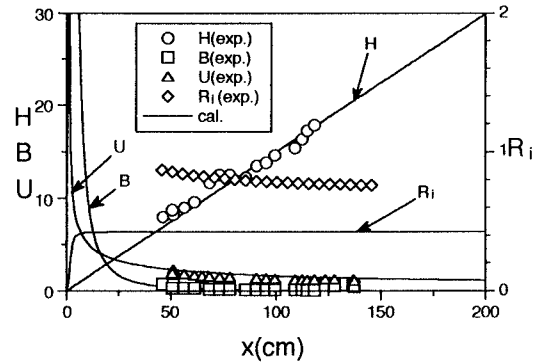


図-4a 実験値と数値計算値との比較【方法1】

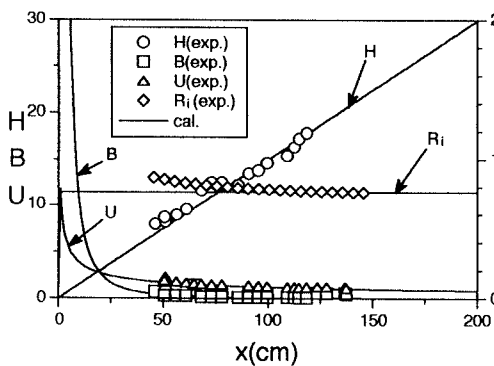


図-4b 実験値と数値計算値との比較【方法2】

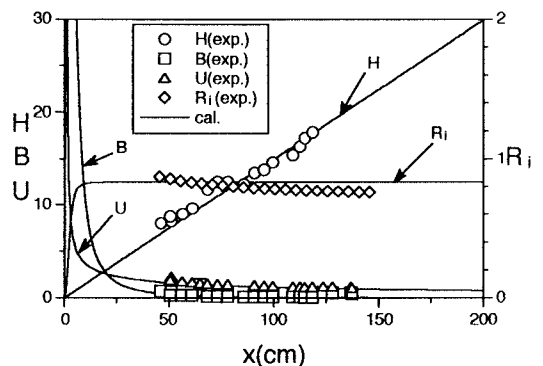


図-4c 実験値と数値計算値との比較【方法3】

参考文献

- (1) Beghin et al. : J. Fluid Mech. 107, 1981 (2) 森田ら: 第49回年講, 第2部, 1994