

II-250 非保存性傾斜壁面サーマルの流動特性に関する研究

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○金子幸弘
長岡技術科学大学 正会員 福岡祐介
長岡技術科学大学 正会員 早川典生

1. はじめに

傾斜壁面サーマルが流下に伴って、どのような混合を生じ均質な状態に至るかを、淡水中に硫酸バリウム混合液を流入させ実験的研究を行った。

また、フロントを対象として流動の数値計算を行い、実験値と比較した。

2. 実験的検討

本実験では、周囲流体を淡水とし、流入流体を濃度 1.3, 5% の硫酸バリウム混合液として、二次元の密度フロント部について実験を行った。傾斜角 5° 、 10° の実験装置は図-1 に示すように、水路長 370 cm、高さ 40 cm、水路幅 15 cm の矩形アクリル製水槽を用いた。傾斜角 30° の実験装置は図-2 に示すように、水路長 200 cm、高さ 100 cm、水路幅 15 cm の矩形アクリル製水槽を用いた。サーマルの流入方法は、水路上端に設けた引き上げゲート式のボックスに 1 リットルの硫酸バリウム混合液を用意し、ゲートを引き上げることで発生させた。

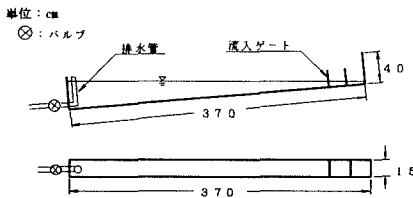


図-1 傾斜角 $5, 10^\circ$ の実験装置

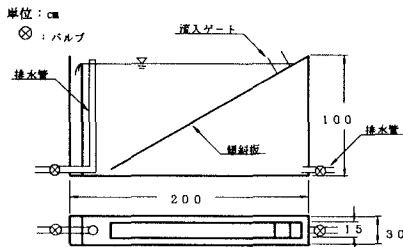


図-2 傾斜角 30° の実験装置

以上のように傾斜壁面サーマルを形成させ、これを VTR で撮影することにより、フロント部の流動特性として最大厚さおよび移動速度を測定した。また、内部特性として超小型プロペラ流速計によって

流速分布の測定を、多点同時採水可能サイフォン採水器によって濃度分布の測定を行った。

3. 理論的検討

サーマルについての基礎方程式は、次に示す連続式(1)、質量保存式(2)、運動量方程式(3)の三式である。

$$\frac{d}{dt} \rho_0 A = \rho_a E_w U P_i \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} CA = V_S (E_S - C_b \cos \theta) P_b \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (\rho_0 + k_v \rho_a) UA = & \rho_a R g \sin \theta CA \\ & - \rho_a C_D U^2 h - \frac{1}{2} f_i \rho_a U^2 P_i - \frac{1}{2} f_b \rho_b U^2 P_b \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 ρ_0 はサーマルの密度、 A はサーマルの断面積、 C はサーマルの体積濃度、 U はサーマルの移動速度、 ρ_a は周囲流体の密度、 k_v は仮想質量係数、 g は重力加速度、 θ は傾斜角、 C_D は形状抵抗係数、 f_i 、 f_b は界面と底面の摩擦抵抗係数、 P_i 、 P_b は界面と底面の潤辺長 (cm)、 E_w は連行係数、 V_S はバリウム粒子の沈降速度 (cm/sec) である。

この計算においては、以下に示す連行係数 E_w の式の中の α と硫酸バリウム粒子の沈降速度 V_S をパラメータとする。

連行係数

$$E_w = \alpha \frac{\theta}{90^\circ} \quad (4)$$

沈降速度

$$V_S = \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) g \frac{d^2}{18\nu}} \quad (5)$$

ここで、 ρ_s は硫酸バリウムの密度、 ν は動粘性係数、 d はバリウム粒子の直径 (cm) である。

4. 計算結果と実験値の比較

3. の基礎方程式を用い、フロント部の数値計算を行った。図-2 は傾斜角 5° 、初期濃度 1% での計算値と実験値を比較したもので、図-3 は傾斜角 10° 、初期濃度 1% での計算値と実験値を比較したものである。

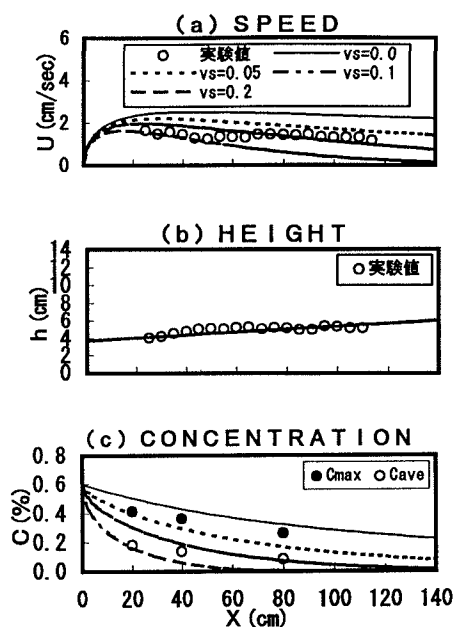


図-3 計算結果と実験値の比較 ($\theta=5^\circ$, $C=1\%$)

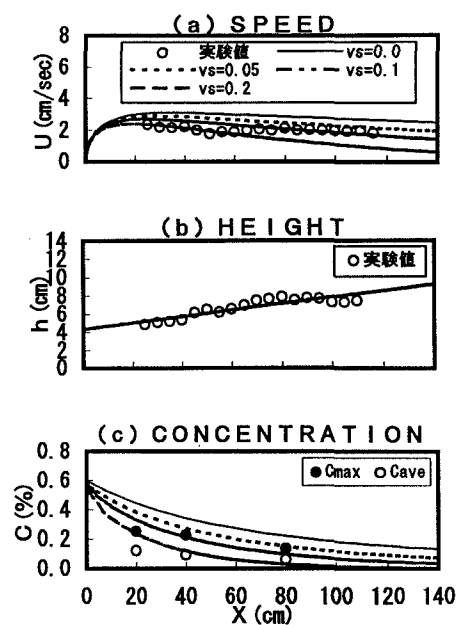


図-4 計算結果と実験値の比較 ($\theta=10^\circ$, $C=1\%$)

これらの図は、数値計算による結果、連行係数の式の中の α は0.4で実験値と一致することが分かったため、バリウム粒子の沈降速度について比較したものである。また、ここでの計算結果の比較はサーマルが完全に形成されてからの適合を検討するもので、サーマルが形成されていない初期については考えないものとする。(a)はフロントの移動速度、(b)はフロントの最大厚さ、(c)はフロントの濃度を表している。図中の線は式(5)の沈降速度 V_s をパラメータとした計算値を、○印は実験値を示す。理論式(1)~(3)は、サーマルが完全に形成されていると仮定している。

(a)のフロント移動速度は、流下初期に急激に増加した後、最大値をとり、その後緩やかに減少してゆく。図-3、図-4のどちらの場合も、 $V_s=0.1$ (cm/sec)とすると計算値は実験値とほぼ一致する。沈降を考慮した場合と考慮しない場合を比較すると、流下距離140 cmにおいて図-3ではバリウム粒子の沈降速度が0.1(cm/sec)の時と0.0(cm/sec)では移動速度が半分以上に減少し、図-4では6割ぐらいに減少していることが分かる。(b)のフロントの最大厚さは、ともに流下に伴い直線的に増加し、 $V_s=0.1$ (cm/sec)と

すると計算値は実験値とほぼ一致している。(c)のフロント濃度については、実験値が3点のみで、かつ測定器具の都合により、精度の良い測定がなされなかつたので実験値との比較は行っていない。従って、計算値の傾向だけを見ると、沈降速度が0.0(cm/sec)の時、流下距離140 cmの位置で、初期濃度の約3割から4割に、沈降速度が0.1(cm/sec)の時は約1割に減少していることが分かる。

5. 結論

傾斜壁面サーマルについて、様々な傾斜角、初期硫酸バリウム濃度の実験条件について計算値と実験値の比較を行った結果、連行係数の係数 α を0.4、硫酸バリウム粒子の沈降速度を0.1(cm/sec)とすることで統一的にフロント部の最大厚さ、フロント部の移動速度を説明できることを示した。

1) 福嶋祐介、早川典生、近藤敏：保存性および非保存性の傾斜サーマルについて、第11回土木学会新潟会、pp. 64-69, 1993.

2) 福嶋祐介：固体粒子浮遊による二次元下層密度流先端部の解析、土木学会論文集、第461号、II-22, pp. 21-30, 1993. 2