

II-276

固体粒子の浮遊による傾斜サーマルの流動特性

エイエスシビルコンサルタント 正会員 今田 昌運
長岡科学技術大学 正会員 福嶋 祐介

1. はじめに

傾斜サーマルは重力流の代表例であり、自然界で多く観測される。例えば、厳冬期山岳地帯で発生する煙型雪崩、海底や湖沼で発生する泥水流などである。本研究では、淡水中に塩水及び硫酸バリウム混合水を流下させ、2次元的に保存性及び非保存性サーマルを再現し、流下特性、流動特性がどのように変化するかを調べ、粒度分布を考慮したシミュレーションモデルの比較・検討を行う事を目的とする。

2. 実験装置及び実験方法

実験では傾斜角 10° のものと傾斜角 30° のものを用いた。傾斜角 10° 場合では、長さ 370cm、高さ 40cm、幅 15cm のアクリル製水槽を用いた。また傾斜角 30° 場合では、水路長 200cm、高さ 100cm、水路幅 30cm のアクリル製水槽に幅 15cm のアクリル版を傾斜角 30° に固定したものを用いた。

保存性傾斜サーマルの場合では、淡水を満たした水槽にプラスチック粒子を傾斜面に沈降させる。上流部に設けたボックスに塩水を 1 リットル入れる。ゲートを引き上げ、サーマルを発生させる。その様子をビデオカメラに撮影し画像解析ソフトを用いて流速ベクトルを測定した。

非保存性サーマルの場合では、淡水を満たした水槽上部のボックスに硫酸バリウム混合水を 1 リットル入れる。ゲートを引き上げ、サーマルを発生させる。その様子をビデオカメラに撮影し、最大厚さ、流下速度を測定した。また硫酸バリウム粒子が斜面に十分沈降した後、流下距離 20cm ごとに粒子を採取し沈降量を測定した。粒径は採取した硫酸バリウム粒子を粒径測定装置コールターカウンターを用いて測定した。

2. 実験結果及び考察

流下距離に対する流速ベクトルの変化を図 3 に示す。これは底面に沈降した粒子の動きを流速ベクトルで表したものである。この図から流下された直後のサーマルは、流下方向へのベクトルが大きく、それに比

べ上方向のベクトルは小さくなっている。しかし流下距離が大きくなると上方向のベクトルは大きくなる。これは流下直後のサーマルは流下方向への力が強く作用しているため渦の形成は少なくなっており、また周囲水を連行し流下に伴ってサーマルが発達していくと上方向のベクトルが増え、激しい渦の生成が行われていると考えられる。

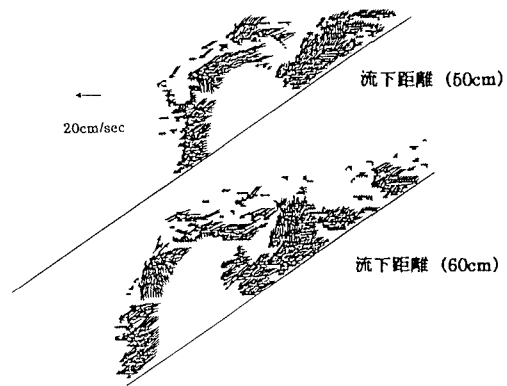


図 1 流速ベクトルの変化

4. 数値解析

数値解析では本実験で得られた非保存性傾斜サーマルの実験結果と数値解とを比較しモデルの妥当性の検討を行った。数値解析にあたって、傾斜サーマルの形状を半楕円形と近似した。傾斜サーマルの模式図を図 4.1 に示す。ここで、 θ は斜面の傾斜角、 ρ_a は周囲流体の密度 (g/cm^3)、 ρ はサーマルの平均密度 (g/cm^3)、

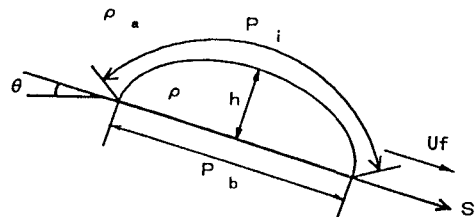


図 2 傾斜サーマルの模式図と記号

キーワード 傾斜サーマル、煙型雪崩、保存性傾斜サーマル、非保存性傾斜サーマル

連絡先 (広島市西区打越町 12-19 朝日プラザ横川駅前 304 号)

h はサーマルの層厚 (cm)、 U_f はサーマルの流下速度 (cm/sec)、 P_b は底面の長さ (cm)、 P_l はサーマルの周囲流体と境界面との長さ (cm)、 S はサーマルの流下距離 (cm) である。

傾斜サーマルのモデルは福嶋⁴⁾によって提案されている。このモデルは連続式、濃度の保存式、運動量保存式の三式で表される。

$$\frac{d}{dt} \rho A = \rho_a E_w U P_l E_w = \alpha \frac{\theta}{90^\circ} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} C_i A = V_{si} (E_{si} - C_{bi} \cos \theta) P_b \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (\rho + k_v \rho_a) U A = & \rho_a R g \sin \theta C A - \frac{1}{2} \rho_a c_D U^2 h \\ & - \frac{1}{2} f_i \rho_a U^2 P_l - \frac{1}{2} f_b \rho_b U^2 P_b \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 A は横から見たサーマルの面積、 C_i は各粒径におけるサーマルの体積濃度、 V_{si} は各粒径における静止流体中の硫酸バリウム粒子の落下速度、 C_{bi} は各粒径におけるサーマルの底面付近の体積濃度、 E_{si} は各粒径における底面の硫酸バリウムをサーマル内に取り込む連行係数である。 k_v は付加質量係数、 g は重力加速度、 c_D は形状抵抗係数、 f_i は境界面の摩擦

抵抗係数、 f_b は底面の摩擦抵抗係数である。また、サーマル内の硫酸バリウム粒子の沈降速度 V_s はストークスの抵抗係数の公式を用いた。

5. 計算結果

数値計算にあたっては、坂本²⁾の研究から、連行係数の無次元量である α を 0.5、抗力係数 c_D を 0~0.5 とすると良く適合することが分かっている、この範囲に固定した。また今回行った数値解析では3つの粒径を考慮し、実験データで得られた粒径分布を基に統一的に変化させた。数値計算は最大厚さ・流下速度・サーマル量・体積濃度の計算結果を実験結果と比較し検討を行った。その結果、粒径を 0.13mm、0.17mm、0.21mm と設定した場合に実験値を良く再現できることが分かった。それらの粒径を用いた場合における結果を図5に示す。これらの図から、分かるようにわずかな相違は見られるが統一的に非保存性サーマルの流下特性を表すことができ、粒径の数を増やすことで、より実験値に近い値を再現することが可能であると思われる。また今回用いた粒径は実験値より大きくなった。これは硫酸バリウムの粒子が塊となって流下していることが考えられる。

参考文献

- 1) 福嶋祐介・萩原達司：浮遊傾斜サーマルの減速域の流動特性、水工学論文集、42、517-522、1998。
- 2) 福嶋祐介・萩原達司・坂本充男：粒子浮遊サーマルの実験による煙型雪崩流動シミュレーションモデルの適用性、雪氷、60-6、453-462、1998
- 3) 福岡捷二・水村和正・加納敏行：密度流先端部の流動機構に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第274号、pp.41-55、1978。
- 4) 福嶋祐介：固体粒子浮遊による2次元下層密度流先端部の解析、土木学会論文集、No.461/II-22.21-30、1993。

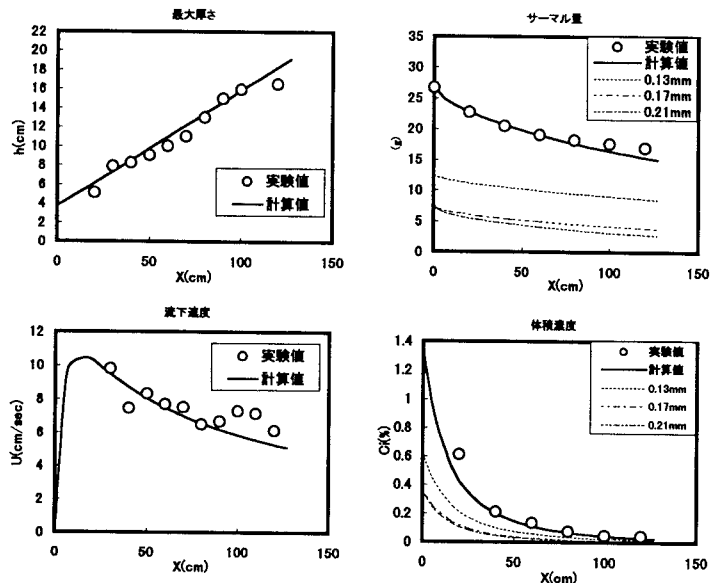


図3 計算結果と実験結果との比較
(初期濃度 20%、傾斜角 30°、 $\alpha=0.5$ 、 $c_D=0.5$)