

II-326

粉雪雪崩現象に関する基礎的研究

長野県

大澤和幸

長岡技術科学大学工学部

正員 福嶋祐介

長岡技術科学大学工学部

正員 早川典生

1. はじめに

粉雪雪崩は、乾いた非粘性の雪質の場合に発生し積雪層雪粒子を巻き上げながら斜面を浮遊状態で流下する。Hopfinger, (1983)の解説によると、大規模な粉雪雪崩は、厚さ100m, 流下速度 100m/sにまで成長することが報告されている。本研究では、今日まで未だ十分にその発生機構、流動特性が解明されていない粉雪雪崩に類似の現象としての塩水サーマルについて、実験及び従来の傾斜サーマル解析手法による数値解析を行った。ここで、特に考慮した点は、実験より得た塩水サーマルの三次元形状変化を数値解析に活かそうという点である。

2. 実験

実験装置(図1)は幅 970mm、長さ2785mm、高さ1000mmの亚克力製水槽で、内部に所定の角度で傾斜板を設置し、その上の一辺15cmの塩水槽に塩水を満たし、ゲートを急激に引き上げることで塩水サーマルを発生させた。塩水には色素を混入し、視覚的に識別可能としたサーマルを実験装置側面、上面から同時にビデオ撮影し、モニター画面よりデータを読みとった。図2、3に観察例を示す。実験ケースは、初期濃度約2%、6%の2種類、傾斜角度5°、10°、15°、20°の4種類、合計8種類とした。実験結果として、サーマルの流下速度、最大厚さ、横広がり幅、側方向からみたサーマルの断面積の流下方向変化を得た。実験結果より、流下速度は放流直後に急激な増加をみせ、その後徐々に減少し一定値になった。最大厚さ、横広がり幅、側面からみたサーマルの断面積は、流下距離につれて増加する傾向を見せた。また、横広がり幅変化は最大厚さと傾斜角度の2つによって表すことができ、サーマルの初期濃度には依存せず、傾斜角度に大きく依存することを示した(図4、5、6、7)。

3. 数値解析

福嶋(1986)は粉雪雪崩の解析に乱れエネルギー方程式を用いているが、本実験においては現象も緩やかであるので、とりあえず Beghin&Hopfinger, (1980)がサーマルの解析に用いた三方程式モデルを採用した。用いた連続式、質量保存式、運動量方程式を以下に示す。

$$\frac{d(P_1 A)}{dt} = E_w P_1 P_1 U \quad (1) \quad \frac{d(P_1 C A)}{dt} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d\{(\rho + K \rho_a) P_1 U A\}}{dt} = (\rho - \rho_a) g A \sin \theta P_1 - \rho_a C D_1 P_1 P_1 U^2 - \rho_b C D_b P_b P_1 U^2 \quad (3)$$

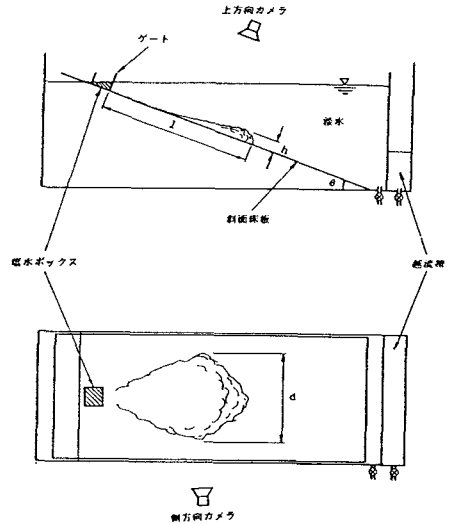


図1 実験装置

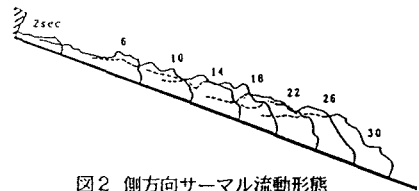


図2 側方向サーマル流動形態

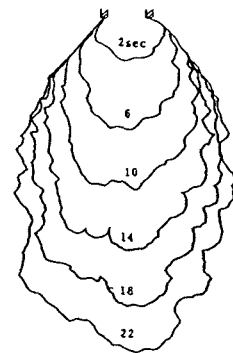


図3 上方向サーマル流動形態

ここで、 A はサーマル断面積、 P_i はサーマルの最大横広がり幅、 P_b はサーマルと淡水との境界面の長さ、 P_b はサーマル底面の長さであり、 $A = \xi a h^2$ 、 $P_i = \xi_1 i h^2$ 、 $P_i = \xi_2 i h$ 、 $P_b = \xi_3 b h$ と表される。 h はサーマルの最大厚さであり、 ξ, ξ_1, ξ_2, ξ_3 は斜面角に対して一定値をとる形状係数である。また、 E_w は連行係数、 U はサーマルの移動速度、 K_v は付加質量係数、 ρ はサーマル密度、 ρ_a は淡水密度、 g は重力加速度、 C はサーマルの塩水濃度、 C_{Di} は淡水とサーマルの境界面におけるせん断力係数、 C_{Db} はサーマル底面におけるせん断力係数である。

η については図4より求めた。初期条件として、本実験に於ける塩水傾斜サーマルの初期厚さ、初期濃度、初期流下速度、また、実験ケースに関する定数を与え、実験値と数値解析値との比較を行った（図5、6、7）。ここで、流下するサーマルが周囲の淡水を取り込む連行係数について、Beghin et al. (1981)が傾斜サーマル実験により得た連行係数と、福島が粉雪雪崩のシミュレーションに用いた連行係数の2つのケースを採用した。数値解析結果によると、サーマルの流下速度変化、最大厚さ変化において、いずれの実験ケースにおいても実験値と同様な特性が得られたが、図5、6より Beghin et al. (1981)が用いた連行係数の方が、福島の用いた連行係数に比べて実験値に合う結果を得た。

4. まとめ

以上の結果から、塩水傾斜サーマルについて以下のような結論を得た。

- (1) 塩水傾斜サーマルの横広がり幅は、傾斜角に強く依存し、最大厚さと傾斜角によって示される。
- (2) 塩水サーマルの流動解析は三方程式モデルで記述することができる。

以上のように本研究では粉雪雪崩現象に類似した塩水サーマルの運動をサーマルの方程式モデルで表しうることを示した。

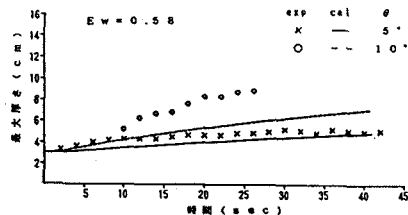


図7 比較 時間-最大厚さ

参考文献

- 1) Hopfinger, E. J., 1983 Ann. Rev. Fluid Mech., 15, 47-76.
- 2) Hopfinger, A. J. and Beghin, P., 1980 2nd Int'l Symp. on Stratified Flows, Norway, 1, 49-506.
- 3) Beghin, P., 1981, J. Fluid Mech., 107, 407-422.
- 4) Fukushima, Y., 1985, Marine Geol., 67, 55-81.
- 5) 福島祐介, 1986: 粉雪雪崩の流動解析, 雪氷48(4), 189-194.

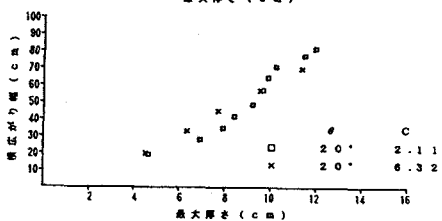
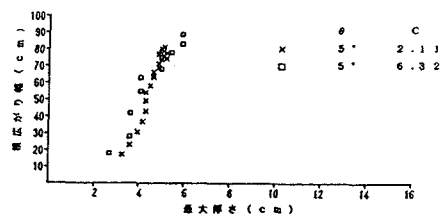


図4 実験結果 最大厚さ-横広がり幅

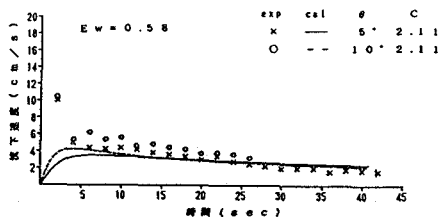


図5 比較 時間-流下速度（連行係数0.58）

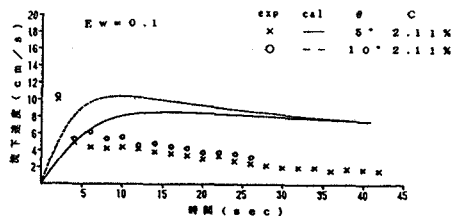


図6 比較 時間-流下速度（連行係数0.1）