

# MPS法を用いた雪崩シミュレーションモデルの実用化に向けた検討

## REFINEMENT OF MPS METHOD FOR PRACTICAL APPLICATION ON LARGE SCALE SNOW AVALANCHES

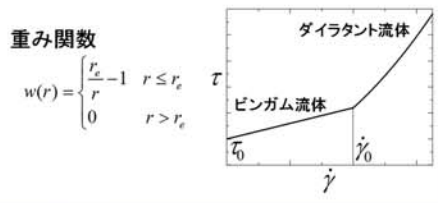
水工・水文学研究室 加藤宏隆

### はじめに

**背景**  
 減勢工の設計 — 経験的  
 物理的根拠に基づく設計  
 安全性 経済性  
 数値計算モデルの構築

**モデル**  
 雪崩を『流体』と仮定  
**MPS(Moving Particle Semi-implicit)法**  
 ◆ 流体モデル  
 ◆ Lagrange的な離散化  
 ◆ 流体表面の激しい挙動を再現

**これまで**  
 ◆ 簡易的な空気抵抗の導入  
 ◆ ビンガム流体としての構成則  
 大塚らによる  
**検討事項**  
 ◆ 連続体としての空気抵抗  
 ◆ 実地形への適用



### 空気抵抗の構成則に関する検討

#### 支配方程式

**連続式**  
 $\frac{D\rho}{Dt} = 0$

**運動方程式**  
 $\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \rho \nu \nabla^2 u_i - \rho \delta_{iz} g - F_a$

**空気抵抗**  
 $F_a = \frac{1}{2} \rho_a C_D S u |u|$

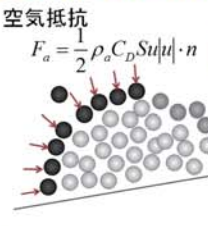
**抗力係数**  
 $C_D = \begin{cases} \frac{24}{Re} (1 + 0.15 Re^{0.687}) & Re \leq 1000 \\ 0.4 & Re > 1000 \end{cases}$

Re: レイノルズ数

- $\rho$ : 密度
- $t$ : 時間
- $u$ : 速度
- $p$ : 圧力
- $\nu$ : 動粘性係数
- $g$ : 重力
- $\rho_a$ : 空気密度
- $S$ : 投影面積

#### 計算条件

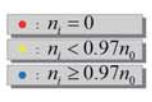
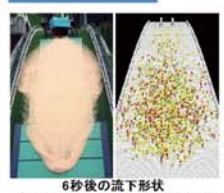
低温技術研究所によるピンポン玉雪崩実験の再現計算



$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	87.7
D(m)	0.2
dt(s)	1.0*10 <sup>-2</sup>
$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	2.3*10 <sup>-6</sup>
$\nu_b$ (m <sup>2</sup> /s)	1.15*10 <sup>-5</sup>

Run	法線ベクトルの有無	投影面の形状
Run5	無	立方体
Run6	無	球体
Run7	有	立方体
Run8	有	球体
Run9	空気抵抗無し	

#### 結果と考察



- まどまりがみられない
  - 大部分が自由表面として計算
  - 十分な粒子数密度のもとで検討する必要有り
  - 球体を仮定する事で速度を抑制
  - 法線ベクトルの効果は検討が不十分
- ➡ **大規模計算の必要性**

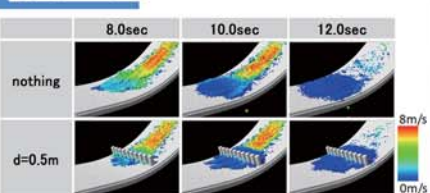
### 減勢工への適用

杭を立てたような簡易的な減勢工への適用を試みる

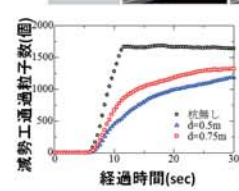
#### 計算条件



#### 結果と考察



$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	320
c(Pa)	100
$\phi$ (°)	24
D(m)	0.25
dt(s)	1.0*10 <sup>-2</sup>
間隙率	0.5



- ◆ 減勢工上流側に雪崩の堆積を確認
- ◆ 雪崩の減勢により、減勢工通過粒子数の軽減、流下距離の抑制を確認

### 流体モデル、侵食堆積モデルの検討

#### 支配方程式

**連続式**  
 $\frac{D\rho}{Dt} = 0$

**運動方程式**  
 $\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \mu' \nabla^2 u + \rho g$

ビンガム流体の粘性係数  
 $\mu' = \mu + \frac{c + p \tan \phi}{|\dot{\gamma}|} (1 - e^{-m\dot{\gamma}})$

ダイラタント流体の粘性係数  
 $\mu' = k|\dot{\gamma}|$

$\rho$ : 密度  
 $t$ : 時間  
 $u$ : 速度  
 $p$ : 圧力  
 $g$ : 重力  
 $\mu$ : 塑性粘度  
 $\tau_0$ : 降伏値  
 $m$ : 応力成長指数  
 $\dot{\gamma}$ : ひずみ速度

#### 侵食堆積モデル

**運動方程式**  
 $\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \mu' \nabla^2 u + \rho g$

粒子間の圧力  
 ⇨ 粒子に作用する力とみなす

粒子の種類の入れ替えを行う。

**条件式**

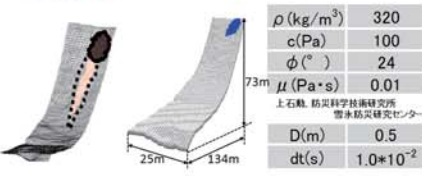
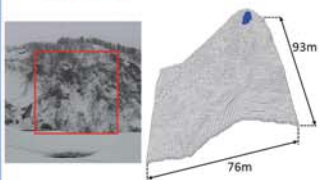
- $\tau_0 < p$  : 侵食
- $\tau_0 > p$  &  $v < 0.5m/s$  : 堆積

降伏値:  $\tau_0 = c + p \tan \phi$

#### 計算条件

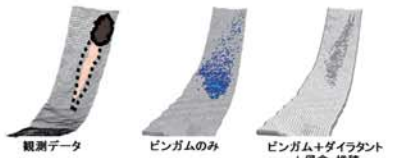
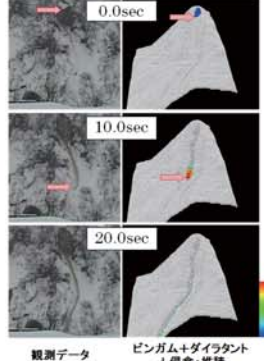
防災科学技術研究所雪水防災研究センターによる雪崩実験データの再現計算

1. 流下状況: 山古志トンネル付近
2. 堆積状況: 新潟県長岡市

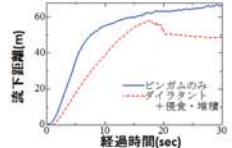


#### 結果と考察

1. 流下状況: 山古志トンネル付近
2. 堆積状況: 新潟県長岡市



◆ 水平方向の拡がりを抑制



- ◆ 流下経路・流下速度の一致を定性的に確認
- ◆ 雪崩の堆積・停止を再現

### まとめ

- ◆ 煙り型雪崩: 今後大規模計算を可能にする事で、連続体として挙動する粒子数密度を確保した上で検討を行う必要がある。
- ◆ 流型雪崩: 流下経路・速度の点で実測データの良好な再現性が定性的に確認できた。