

減勢工周りの雪崩挙動に対する MPS 法の適用性に関する検討

Refinement of MPS Method for Avalanches around Energy Dissipaters

北海道大学 環境社会学科シビルエンジニアリングコース
 (株) 雪研スノーイーターズ
 (株) 雪研スノーイーターズ
 (株) 雪研スノーイーターズ
 北海道大学 工学院環境フィールド工学部門
 北海道大学大学院工学研究院

○学生員 イエリン賢太郎 (Kentaro Yellin)
 非会員 大槻政哉 (Masaya Otsuki)
 非会員 齋藤佳彦 (Yoshihiko Saito)
 非会員 イセンコエフゲニー (Evgeny Isenko)
 フェロー 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)
 正員 木村一郎 (Ichiro Kimura)

1. はじめに

減勢工は雪崩の勢力を弱めることを目的とした構造物である。雪崩の停止を目的とした阻止工と雪崩の発生を抑える予防柵の中間的立場にある減勢工は雪崩災害防止の観点からみて重要な構造物である。

減勢工に関しては、数多くの模型実験¹⁾が行われているが、減勢効果の評価手法の考え方は確立されていない。

減勢工周りの雪崩の挙動の再現に関しては加藤ら⁴⁾によって、終端部に減勢工を見立てた構造物を設置した斜面に雪を流下させ、構造物の周りの雪の挙動の再現を試みた報告があるものの、十分な検討はなされていない。

そこで本研究では、先の加藤ら⁴⁾の実験結果を良好に再現するためにモデルの改良を行う。モデルの改良にあり、本研究では次の点について検討する。

- ① 減勢工周りの雪の堆積の検討
- ② 減勢工を通過した雪の量と堆積の形状の検討
- ③ 粒子間距離を変化させたモデルの検討
- ④ 雪が斜面を流下している際の速度の検討

最後に、改良されたモデルの妥当性、および減勢工の効果について検討を行う。

2. 実験概要

2.1 実験装置

実験装置は 0.9m×1.8m のコンパネを 6 枚繋ぎ合わせて作成した斜面を、工事用の足場に立てかけるように設置している。斜度は 45 度とし、斜面部と水平部のつなぎ目は、雪を使って均している。斜面から浮かした状態で Starting box を設置する。Starting box から雪を落とし、雪を流動させる。Starting box を浮かして設置するのは、斜面を流下する雪には塊が存在しないほうが望ましく、流下開始時に斜面に落下させる事で雪塊を砕くためである。流下した雪は斜面終端にある障害物に衝突する。

2.2 実験条件

実験は、底面材料に滑面（ビニール素材）、粗面（メッシュ素材）、雪面を用い、それぞれについて障害物の有無、および障害物の形状を変化させて行った。このうち、再現計算は良好な実験結果の得られた粗面（メッシュ素材）の case2～case4 について行った。

3-1. MPS 法

MPS 法²⁾は非圧縮流れをラグランジュ的に解く手法であり、連続体を多数の粒子の運動で近似する方法である。通常の MPS 法では雪質の変化に対応できないため、加藤らは雪崩を非ニュートン流体とし、低せん断ひずみにおいては雪崩をビンガム流体、高せん断ひずみにおいては雪崩をダイラタント流体と仮定した構成則の導入を行った。

上記のモデルを本論部では減勢工周辺の実験雪崩に用いる。計算アルゴリズムについては越塚³⁾と同様な手順を用いている。詳しくはそちらを参照されたい。

3-2. 計算条件

再現計算は、底面材料が粗面の場合について行った。計算に用いた初期粒子配置を図-3.1に、実験パラメータを表-3.1に示す。また、case2（杭幅2cm）、case3（杭幅4cm）、case4（切り欠き）に関して粒子間距離をそれぞれ 0.010m、0.015m、0.020mとして計算を試みた。

表-3.1 実験パラメータ

$\rho(\text{kg/m}^3)$	200
$c(\text{Pa})$	0
$\phi(^{\circ})$	24
$\mu(\text{Pa} \cdot \text{s})$	0.012
$dt(\text{sec})$	0.01

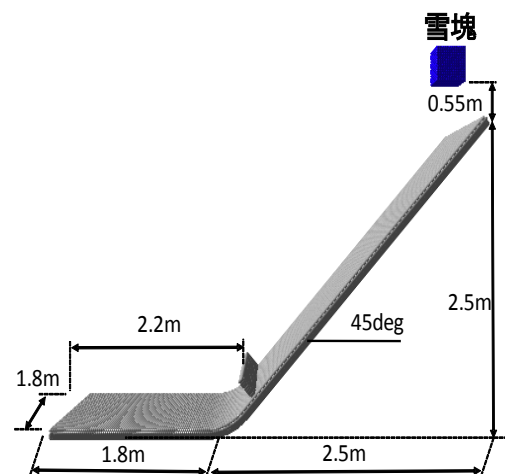


図-3.1 計算格子

3. 数値解析モデル

4. 堆積状況・流下範囲の比較

4. 1 Case2 杭型減勢工(杭幅0.02m)

杭幅0.02mの場合の堆積状況の比較図を図-4.1に示す。このケースでは実験においては、杭の下流部のみでなく杭の上流側に比較的大きな堆積が確認された。これは杭幅が狭かったために、杭に衝突した雪が押し固められて雪質が変化し、杭の上流側に堆積したと考えられる。計算結果においても、この堆積を確認出来た。また、粒子間距離が短いモデルほどより広範囲の堆積が見られ、粒子間距離0.01mのモデルが側方への広がりなどから最も堆積域の再現性が高い。しかしながらMPS法では雪質の変化を考慮出来ないため、減勢工に衝突した際の急激な雪質の変化を良好に再現するには至っておらず、一旦堆積した雪は時間が経過すると徐々に流下が進む。障害物で雪崩が停止するような現象に対しては、さらにモデルの改良が必要と考えられる。

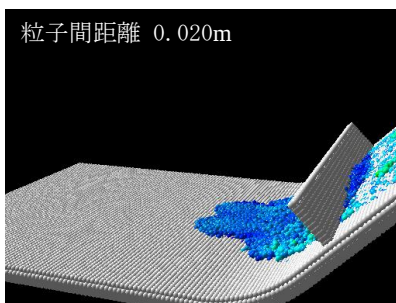
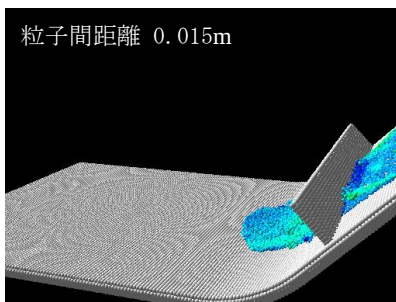
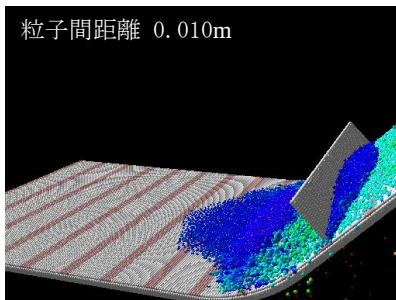


図-4.1 case2 の堆積状況

最も再現性が良好であった粒子間距離0.01mのモデルに対して1秒毎の流下形状の比較を示したものが図-4.2、4.3、4.4、4.5である。流下開始後1秒後の結果を見ると、計算結果が実験よりもフロントの流下が速く、先端部分が尖った形状をしている。しかしながら、2秒後以降は側方の広がりや流下速度が実験と概ね一致しており、流下開始から停止までの一連の現象を良好に再現できているといえる。1秒後の結果が実験値と異なる理由については、MPS法は粉体である雪崩を流体モデルとして計算するため、雪塊が斜面に衝突した際の挙動の再現性が十分でないことが原因と考えられる。

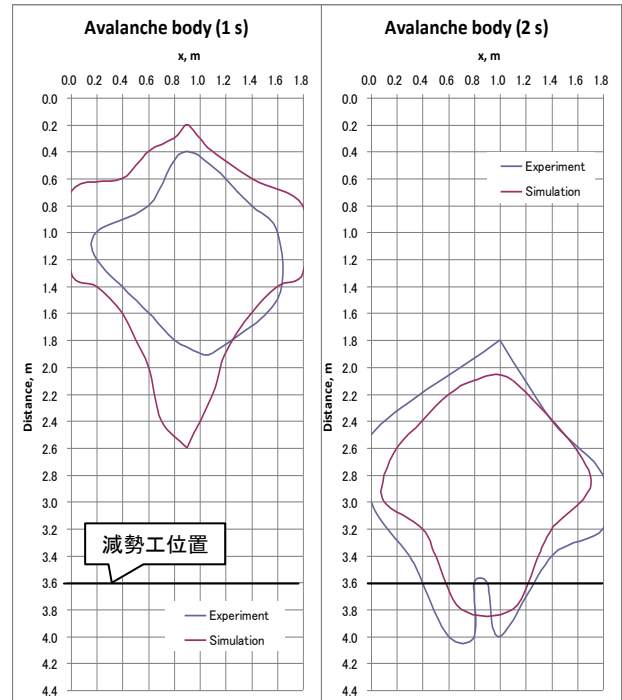


図 4-2. 流下形状の比較 1s

図 4-3. 流下形状の比較 2s

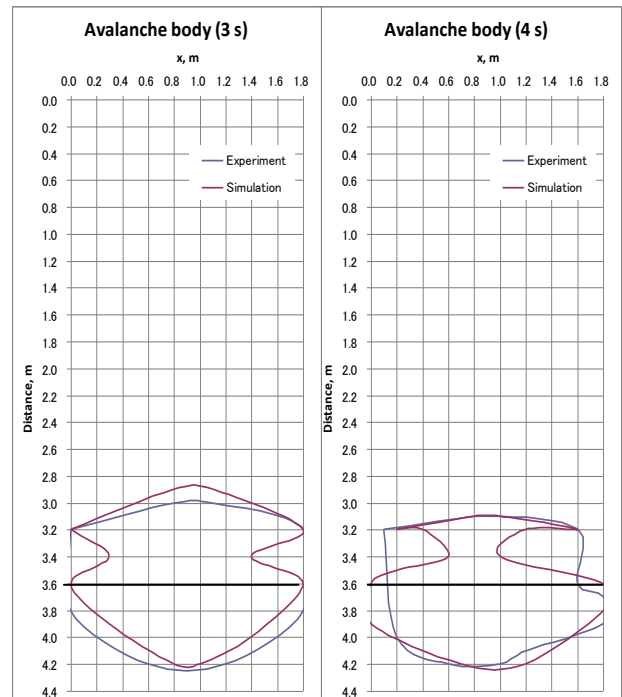


図 4-4. 流下形状の比較 3s

図 4-5. 流下形状の比較 4s

4. 2 Case3 杭型減勢工(杭幅0.04m)

杭幅0.04m の場合の堆積状況に比較を図-4.6 に示す。このケースでは、case2 のような杭上流側における大きな堆積は実験・再現計算共に確認できず、流下域は主に杭の下流側に生じている。また流下範囲も良好に再現できている。本ケースは減勢工周りでの急激な雪質の変化が相対的に小さく、この点が数値解析結果が良好となった一因と考えられる。特に粒子間距離0.01mのモデルは側方への広がりなどから最も再現性が高いことがわかる。

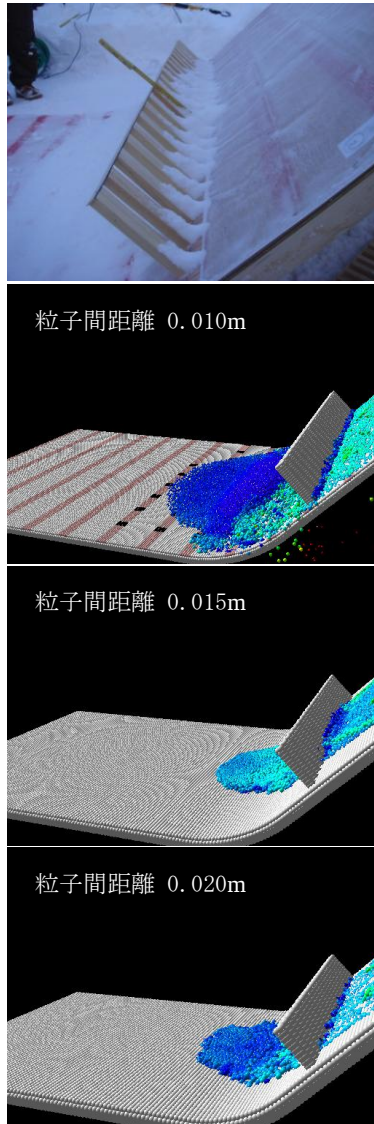


図-4.6 case3 の堆積状況

粒子間距離0.01mのモデルに対して1秒毎の流下形状の比較を示したものが図-4.7、4.8、4.9、4.10である。Case2と同様に流下開始後1秒後の結果を見ると、計算結果が実験よりもフロント形状が下流側に尖っている。3秒後、4秒後の結果を見ると実験よりも計算結果の方が流下速度が速い。3秒後では最大で60cmのズレが生じている。このことから計算結果の杭上流部における堆積が実験結果の堆積に比べ小さく再現されている。このような雪崩の運動過程の再現性向上については、構成則の見直しなど、さらにモデルの改良が必要と考えられる。

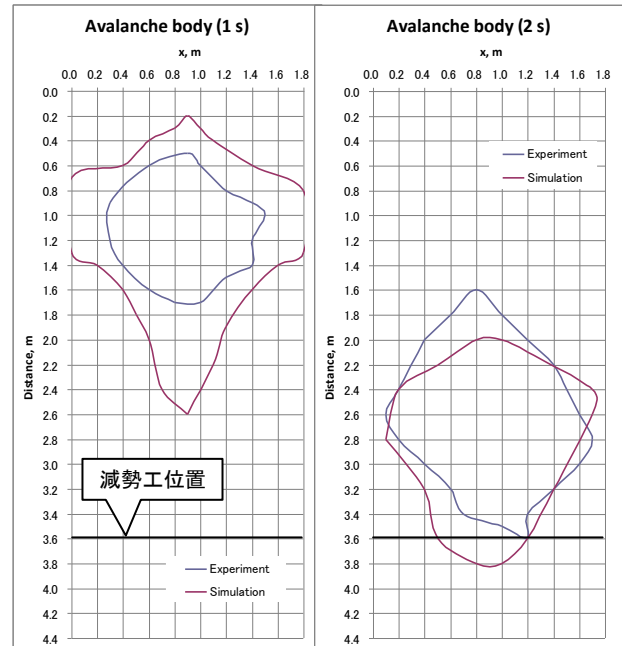


図 4-7. 流下形状の比較 1s

図 4-8. 流下形状の比較 2s

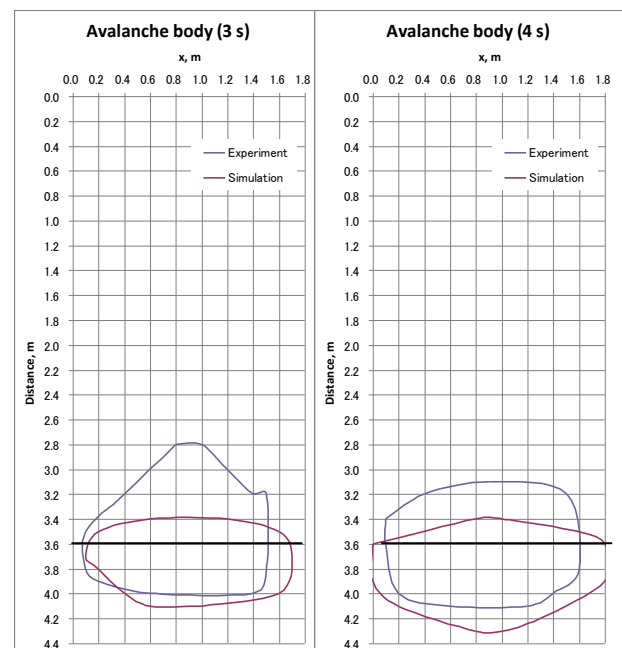


図 4-9. 流下形状の比較 3s

図 4-10. 流下形状の比較 4s

4. 3 Case4 切り欠きを設けた減勢工

切り欠きを設けた減勢工の場合の堆積状況の比較を図-4.11に示す。切り欠きの上流側の堆積形状、流下範囲ともに実験結果を良好に再現することが出来た。しかしながら、このケースについても、再現計算においては時間の経過とともに切り欠きに堆積した雪が側方に流れ落ちてしまう現象が確認され、雪崩の完全な停止の再現には課題が残る。粒子間距離については最も大きい0.02mのモデルに高い再現性が見られ、前述のケースと異なる結果となった。現象を再現する粒子間距離の同定については、さらに検討が必要である。

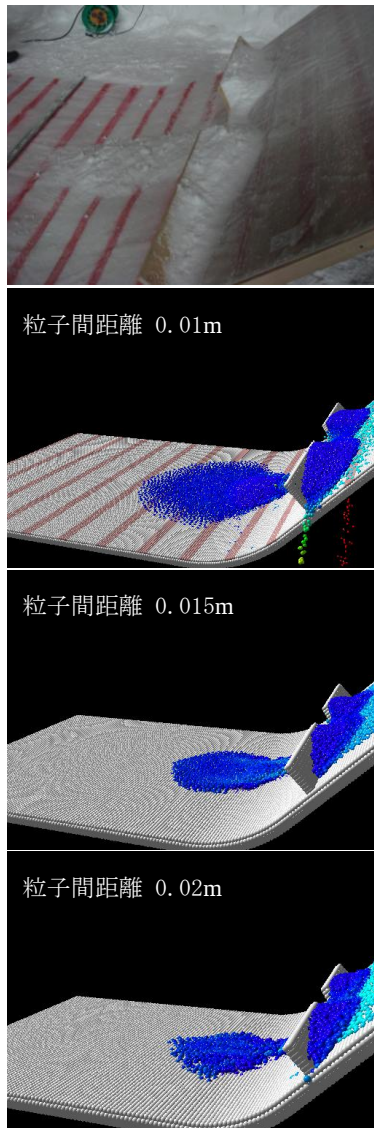


図-4.11 case4 の堆積状況

集、Vol. 1998、 pp. 346-347、 1998.

- 2) 前野紀一、福田正己：基礎雪氷学講座Ⅲ、古今書院、2000.
- 3) 越塚誠一：計算レクチャーシリーズ 5 粒子法、日本計算学会編、丸善株式会社、2005.
- 4) 加藤宏隆、大槻政哉、齋藤佳彦、清水康行、木村一郎：MPS 法を用いた雪崩シミュレーションモデルの構築、第26回寒地技術シンポジウム、pp. 78-83、2010.

6. まとめ

加藤ら⁴⁾によって開発された改良型MPS法により、減勢工周りの雪崩の挙動の再現性について検討を行ったものである。実験結果の再現性は概ね良好で、MPS法が減勢工設計のための実用的ツールと成り得ることが示された。しかしながら、計算結果が粒子間距離に依存すること、雪質変化を考慮していないため雪崩の完全な停止の再現には至っていないこと、雪崩運動過程の再現精度向上に向けて構成側の見直しが必要なことなどの問題点も指摘された。これらは今後の課題として取り組んでいきたい。

謝辞

支部論を提出するにあたって添削をしていただいた北海道大学、小館亮太先輩へ感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 石田孝司、加藤信夫、上石勲：雪崩減勢工の速度低減効果に関する模型実験、砂防学会研究発表会概要