

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

積雪内への水浸透速度の評価に基づく湿雪雪崩発生予測手法の検討

研究代表者氏名 西村 浩一¹⁾
研究分担者氏名 辻 滉樹¹⁾ 新屋 啓文²⁾

1) 名古屋大学 2) 災害・復興科学研究所 新潟大学

研究要旨

降雨や日射等による積雪内への水の浸透が誘発する湿雪雪崩の発生メカニズムを解明するため、擬2次元セルを用いた低温実験を実施した。4種類のサイズにふるい分けした雪粒子をセルに充填し、水を上部より滴下して水みちを形成した。先行研究ではガラスビーズや砂では、水みちの幅が粒子直径及び円形度に依存することが示されているが、雪粒子では水みちは網状に分岐し、その幅は粒子直径によらず一定であった。一方、氷球を用いた実験では、形成された水みちは直線状で、ほぼ同じ粒径のガラスビーズと水みち幅及び形態ともに類似した結果が得られた。

また、野外でエオシンや絵の具を溶かした水を散布した実験からは、水みち幅は擬2次元セルを用いた実験結果とほぼ等しいこと、また水みちは雪崩発生を規定する積雪のせん断強度の変化をもたらすことが確認された。

A. 研究目的

湿雪雪崩は主に冬の終わりから春先にかけて発生し、鉄道や道路、人家等に被害をもたらす。積雪内への水の浸透は、積雪の物理的特性に大きな影響を与える現象の1つであり、湿雪雪崩の発生原因の1つであると考えられている。しかし、この「水みち」と呼ばれる不均一な水浸透経路に関してこれまでに実施された研究例は少ない。本研究では、低温実験室内で水浸透実験を行い、形成される水みちの幅と形態に着目して理解を深めることを目標とした。

B. 研究方法

本研究では、擬2次元のセルに粉粒体を充填し、その粉粒体層に水を滴下することで、水みちを形成する実験を行った。実験セルは厚さ5mmの亚克力板を強固に接着したもので、内寸は高さ300mm、幅200mm、厚さ5mmで、上部及び下部のみが開口されている。ベースには粒子が落下することなく排水されるように、直径2mmの穴が10mm間隔で空けられた。このセル内に4種類のサイズにふるい分けした雪粒子を充填し、水を上部より滴下して水みちを形成した。水みちはセル

の後方に設置されたスクリーン光源によって可視化され、CMOSカメラで連続的に記録された。雪粒子の形状は一般に複雑な形状であるが、また粒子の形が水みちの形成に与える影響を評価する目的で、直径約3mmの氷球を用いた実験も行った。

C. 研究結果

4種類の粒径の雪粒子を充填した実験セルに対して、水浸透実験を行い、形成される水みちを観察するとともにその幅を測定した。形成された水みちの様子を 図1 (左) に示す。

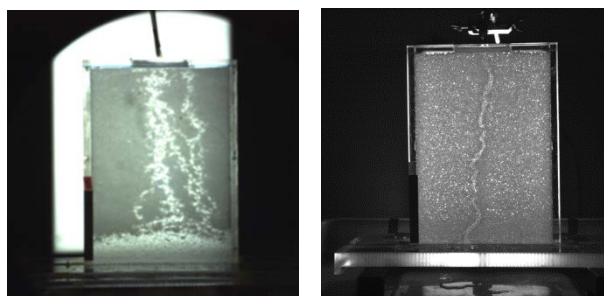


図1. 水みちの形成状況 (40分経過後).
左: 雪粒子、右: 氷球

同じ擬2次元セルを用いたガラスビーズや砂を対象に実施した辻ら (2017) による実験では、水みちの幅は粒子の直径や円形度に依存することが示されたが、雪粒子ではいずれの粒径でも形成された水みちは網状に分岐し、その幅は図2に示すように粒子直径によらず一定であった。また、いずれの場合でも水みちは実験開始から約40分経過後にはセルの底面に到達し、粒形による浸透速度の顕著な相違は見られなかった。

一方、氷球を用いた実験では、形成された水みちは直線状で、ほぼ同じ粒径のガラスビーズと水みち幅及び形態ともに類似した結果が得られた(図2参照)。

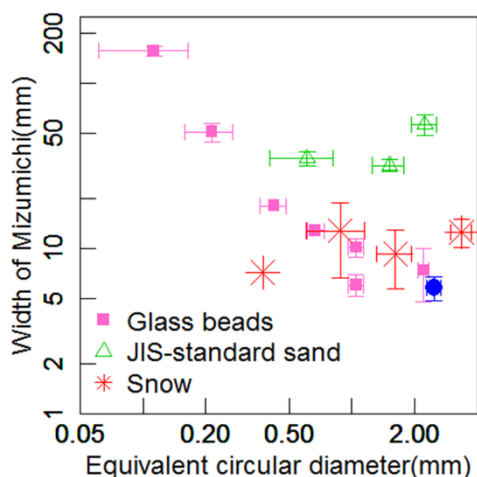


図2. 円相当直径と水みち幅の関係。

* : 雪粒子、青四角 : 氷球、赤四角 : ガラスビーズ、△ : JIS 標準砂、それぞれのプロットは平均値を、エラーバーは標準偏差を示す。

D. 考察

積雪内部の水の全ポテンシャルは、重力ポテンシャル、マトリックポテンシャル、静水圧ポテンシャル、空気圧ポテンシャル、浸透ポテンシャルの和として表されるが、水みちの形成はこのうち重力ポテンシャルと、マトリックポテンシャルに規定されると考えられる。毛管力に起因するマトリックポテンシャルの大きさは内部の空隙の大きさと接触角に依存するが、水みちの幅と形状がガラスビーズと氷球ではほぼ同一であったことから、後者の影響は小さいと考えられる。つまり、粉粒体の充填状態とりわけ粉粒体層の空隙の大きさがマトリックポテンシャルに大きく寄与すると推察される。そこで非常に微細かつ膨大に存

在する粉粒体層内の空隙の分布とサイズを求める目的で、X線CTを用いて粉粒体層の断面画像を作成し解析を行った。その結果、実験に使用したいずれの粉粒体においても、空隙が小さくなるほどその数が指数関数的に増大したが、ガラスビーズ、氷球、砂では、ある特定のサイズに極大値が見られ、特徴的な大きさが存在することが明らかになった。

そこで、マトリックポテンシャルと重力ポテンシャルのつり合いを考慮した水みちモデルを構築し、これに上記の断面画像から得られた粉粒体層内の空隙サイズの平均値を入力することで、水みち幅を算出した。図3に示すように求められた水みち幅は、実験結果とほぼ一致したほか、ガラスビーズで得られた粒径依存性も再現され、第一次近似としてのモデルの有意性が示された。しかし、粒径の小さい雪の場合は、水みちの幅に一桁近い相違が見られた。今回は空隙サイズの平均値を代入することで計算を行ったが、空隙サイズの分布、特に水みち幅を規定すると考えられる小さい空隙の分布は粉粒体によって大きな相違が見られる。今後は、これらの分布を正確にモデルに導入することで水みち幅の推定精度が向上すると期待される。

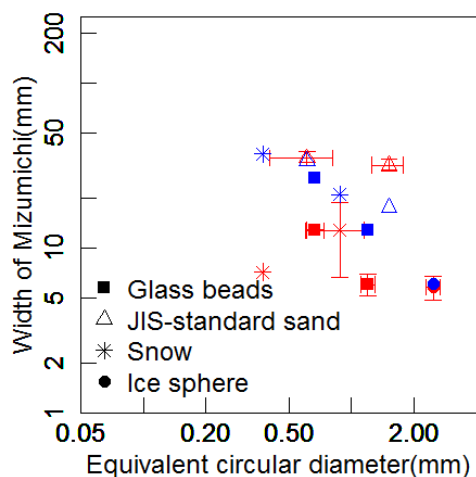


図3. 円相当直径と水みち幅の関係。

* : 雪粒子、青四角 : 氷球、赤四角 : ガラスビーズ、△ : JIS 標準砂、それぞれのプロットは平均値を、エラーバーは標準偏差を示す。

E. 屋外での水みち形成実験

上記の実験結果を、野外での現象と比較する目的で、2019年2月6日に新潟県魚沼市大白川の雪

原において以下に述べる2つの方法で実験を行った。

①赤色の粉末染料であるエオシンを積雪表面に散布する。エオシンは水によく溶けるため、積雪の融解で赤く染まった水は時間とともに積雪層内部に浸透する(図4参照)。数時間後に積雪の断面観測を行い、粒径、雪質、密度、体積含水率、プッシュプルゲージによる硬度、そして形成された水みち幅を測定した。

②絵の具を溶かした水を約50cm四方の領域に一定のフラックスで散布し、約1時間後に断面観測を実施した。観測項目はエオシンの場合と同一である。



図4. 新潟県魚沼市大白川で行われた野外実験
雪面にエオシンを散布した場合。

上記の実験から求められた水みちの幅は5~10mmで、擬2次元セルを用いた室内実験の結果とほぼ一致した。また断面観測で得られた⑦硬度の値から(山野井ほか、2004)、④密度と体積含水率から(山野井ほか、2002)、それぞれ積雪のせん断強度を算出したところ、水みちの部分は周辺部に比べて強度が10%程度減少することが確認された。しかし、⑦に比べて④で求められた値が2~10倍程度大きく、推定手法の精度の改良が必要であることが改めて示唆された

謝辞

新潟県魚沼市大白川で実施された野外実験では、新潟大学災害・復興科学研究所の河島克久教授、ならびに渡部俊氏には大変お世話になりました。

ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

- 辻澁樹・西村浩一・桂木洋光・山口悟・平島寛行(2017): 粉体層中に形成される水みちの粒子直径・形状依存性. 雪氷研究大会要項集、p243
- 山野井克己、遠藤八十一: 積雪におけるせん断強度の密度および含水率依存性. 雪氷 64-4、443-451、2002.
- 山野井克己、竹内由香里、村上茂樹: プッシュプルゲージを用いた斜面安定度の推定. 雪氷 66-6、669-676、2004.

F. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

辻澁樹: 積雪中に形成される水浸透経路(水みち)に関する実験的研究、研究集会「大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送」、2018年10月、名古屋大学

辻澁樹、西村浩一、山口悟、平島寛行: 積雪中に形成される水みちに関する実験的研究、雪氷研究大会(2018年9月・札幌)(北海道胆振東部地震発生のため誌上開催)

Tsuji, H.: Experimental study on water infiltration into snowpack, International symposium on snow and avalanche in Niseko, December, 2018.

G. 知的財産権の出願・登録状況

無し。