

## 冬期の降雨に伴う雪崩災害の危険度評価に関する研究 (1)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 26

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：野呂 智之、伊藤 陽一

### 【要旨】

降雨によって発生する湿雪雪崩の危険度評価の基礎データ取得のために、室内実験を行った。人工積雪の上に降雨を降らせた後に、せん断破壊強度の指標として硬度などを測定した。降雨後、積雪上部は雨水の浸透により、急速に硬度が減少した。積雪下部では、帯水により含水率が大きくなっても、硬度の減少が小さい部分もあった。これは、含水してからの時間の違いによるものと考えられる。

キーワード：雪崩、湿雪、含水率、せん断破壊強度、硬度

### 1. はじめに

気温の上昇による融雪や、降雨にともなう水の浸透などにより、積雪が水を含み湿り雪になると、雪粒子同士の結合が融けて小さくなり、積雪のせん断強度が減少する<sup>1)</sup>。このような場合に、「湿雪雪崩」あるいは大量の水を含んだ雪が長距離流下する「スラッシュ雪崩」による災害が発生する恐れがある。

しかし、積雪中の融雪水・雨水の浸透やそれともなう強度低下などの観測や実験例は少なく、これらの雪崩の発生条件については不明な点が多い。そこで、冬期の降雨にともなう湿雪雪崩の発生危険度評価手法の構築を目指し、積雪中に雨水が浸透する状況とそれによる含水率増加および雪の破壊強度の変化特性を把握することを目的として実験を行ったので、その結果について報告する。

### 2. 研究方法

実験は、独立行政法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟で実施した。この施設には、室温をプラスからマイナスまで任意に変更できるほか、人工的に降雪および降雨を再現できる装置を有する実験室があり、降雨時の積雪変質の測定に適している。

まず、3 m × 5 m の実験テーブル上に断熱材（厚さ 9.5 cm）を敷いた後、屋外の天然雪を敷きつめて深さ 10～11 cm の積雪層を作成した。さらに、その雪面上に噴霧器で水をまいて凍らせ、薄い氷板を形成させた。その後、この積雪の上に、粒径約 0.025 mm の非常に細かい氷球からなる人工雪を降らせ、深さ約 30～35 cm の均一な積雪を形成させた（図 1）。

つぎに、積雪に降雨が浸透する過程を再現するた

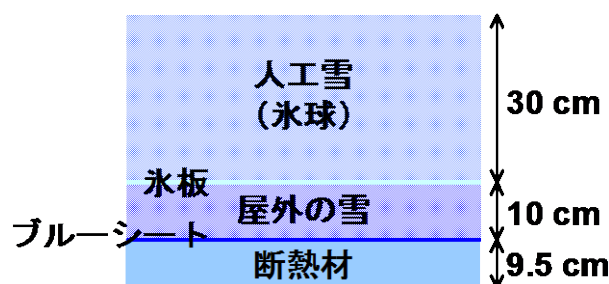


図 1 積雪形成後（降雨前）の模式図（上）および状況写真（下）。

め、積雪形成の 22 時間後から降水強度約 2 mm/h で約 3.5 時間雨を降らせた。また、49 時間後に再び同じ降水強度で約 3 時間雨を降らせた（図 2）。なお、降雨時には、降雪テーブルの約 1/4 程度の面積に仕切り板およびビニルシートの覆いを設置し、比較のために降雨の影響を受けない積雪を保存するようにした。

これら 2 回の降雨の前後に、積雪の温度・密度・硬度・含水率の鉛直分布の測定と、雪粒子の顕微鏡



図 2 人工降雨装置により降雨を再現している様子。

写真撮影を行った。硬度の測定にはプッシュプルゲージ（アタッチメント直径 15.4 mm）を用い、含水率は遠藤式含水率計による重量含水率を求めた<sup>2)</sup>。なお、積雪の破壊強度の指標として通常用いられるシアーフレームによるせん断破壊強度 $\sigma$ <sup>3)</sup>は、積雪が硬くしまっていたため、明瞭な破断面をもった破壊がなかなか起きないことが多く、測定が難しかった。しかし、 $\sigma$ は雪質によらずプッシュプルゲージによる硬度  $H$  から

$$\sigma = 0.0180H^{1.18} \quad (1)$$

と換算できる<sup>3)</sup>ので、本実験では硬度を積雪強度の指標とした。

なお、室内温度は、降雪時は $-5^{\circ}\text{C}$ 、降雨時は $3^{\circ}\text{C}$ 、降雨後は $0^{\circ}\text{C}$ に設定した。

### 3. 研究結果

図 3 に、積雪形成から 1~2 h 後の積雪構造を示す。雪質はしまり雪で、下層の雪が自重で圧密され密度・硬度が深さとともに徐々に大きくなっている様

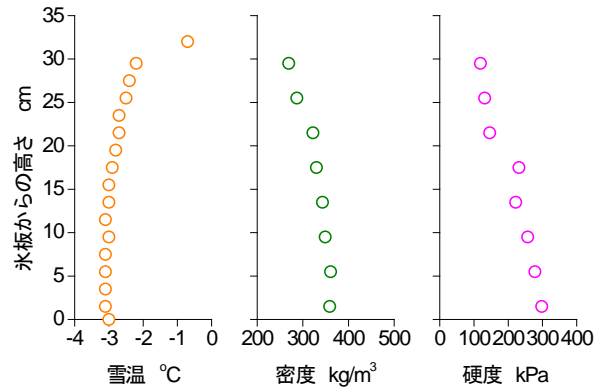


図 3 積雪形成直後の積雪構造（左：雪温、中：密度、右：硬度）。

子がわかる。

つぎに、図 4 に 1 回目の降雨前後の雪温・密度・硬度・含水率の鉛直分布を示す。雨水が浸透した氷板からの高さ 15 cm 以上の積雪層では、雪温が $0^{\circ}\text{C}$ になり、含水率が増加する一方、硬度が減少していることがわかる。ここで、図 5 に示す線は、積雪観測から求められた含水率と硬度の関係の経験式<sup>3)</sup>であるが、一般に、含水率が増加すると積雪の硬度（強度）は減少する。図 4 に示した値を図 5 に示すと、ほぼ関係式にそった値になっており、雨水の浸透による含水率の増加にともない、硬度が急速に減少したことがわかる。

また図 6 は降雨前後の雪結晶の接写写真であるが、降雨前は粒径約 0.1 mm のしまり雪であったものが、降雨後は粒径 0.5~1 mm 程度まで粗大化している。

同様に、図 7 に 2 回目の降雨前後の雪温・密度・硬度・含水率の鉛直分布を示す。1 回目の降雨後もさらに積雪中の水分が下部へと浸透し、積雪上部の

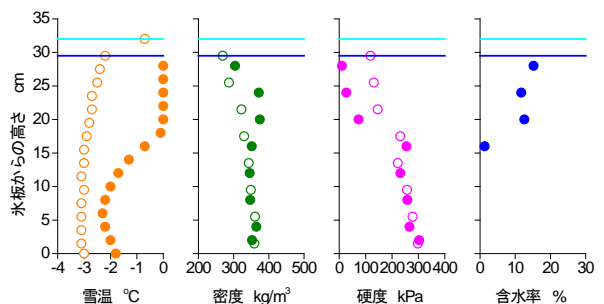


図 4 1 回目の降雨前後の積雪構造。左から：雪温、密度、硬度、含水率。○は降雨前、●は降雨後の値。—は降雨前の雪面、—は降雨後の雪面を示す。

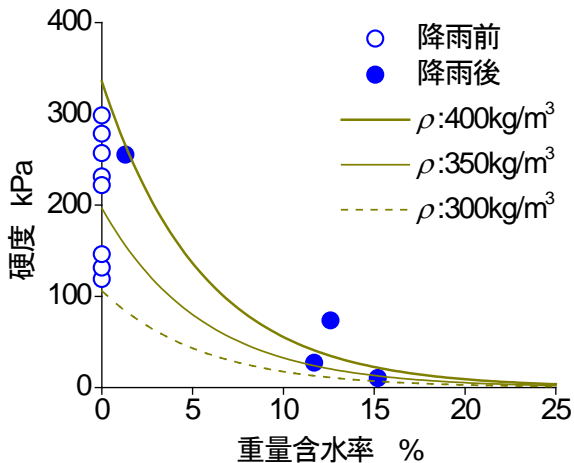


図5 1回目の降雨前後の含水率と硬度の関係。図中の線は、竹内ほか(2007)<sup>3)</sup>による経験式。

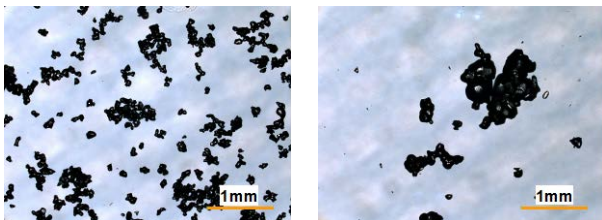


図6 1回目の降雨前後の雪結晶の接写写真(左:降雨前・氷板からの高さ30 cm、右:降雨後・氷板からの高さ28 cm)。

含水率は約13%のほぼ一定の値になったことがわかる。また、氷板からの高さ10 cm以上のざらめ雪の密度と含水率は、降雨(2回目)前後で大きな変化がないものの、高さ0 cmの氷板付近では含水率が22.9%と大きく、浸透した雨水が氷板上に帯水したものと考えられる。よって、今回の実験条件において、濡れたざらめ雪は含水率13%以上の水を保持することなく、水は急速に下方へと移動したと考えられる。一方、硬度と含水率の関係をみると、図8中の経験式から大きくはずれている値があることがわかる。この値は、氷板の直上の含水率が大きくなっている部分である。この部分では、上層の雪粒子(図9左)にくらべ、粒径が1 mm以下の細かいざらめ雪(図9右)であり、硬度まで低下するには、雪粒子が変態して大きくなるための時間を要するためと考えられる。

#### 4. まとめ

降雨による湿雪雪崩の発生過程の基礎データ収集

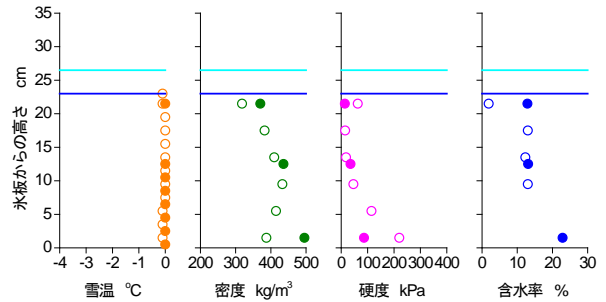


図7 2回目の降雨前後の積雪構造。左から:雪温、密度、硬度、含水率。○は降雨前、●は降雨後の値。—は降雨前の雪面、—は降雨後の雪面を示す。

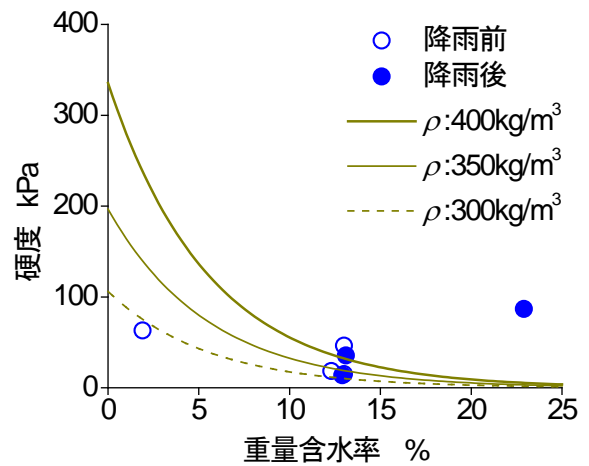


図8 2回目の降雨前後の含水率と硬度の関係。図中の線は、竹内ほか(2007)<sup>3)</sup>による経験式。

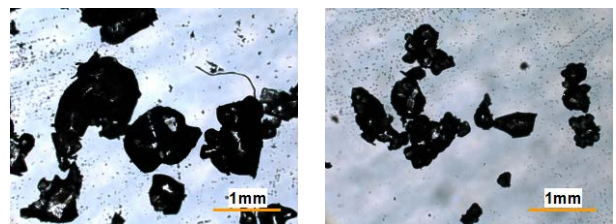


図9 2回目の降雨後の雪結晶の接写写真(左:氷板からの高さ21.5 cm、右:氷板からの高さ1.5 cm)。

のため、人工的な降雨による積雪の強度変化の実験を行った。その結果、雨水の浸透により含水率が増加するとともに、せん断破壊強度の指標となる硬度が減少する様子が確認された。しかし、含水率が増加しても硬度の減少が小さい箇所もみられ、積雪が含水してからの時間などの影響を考慮する必要があることも示唆された。

今後は、降雨後の経過時間や粒子の変態等を含めた積雪の破壊強度特性に関する詳細な解析を進め、降雨時に発生する雪崩の危険度評価手法の基礎データとして活用する予定である。

#### 参考文献

- 1) 山野井克己・遠藤八十一（2002）：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, 443-451.
- 2) 竹内由香里・山口悟（2010）：積雪断面観測. 積雪観測ガイドブック（社団法人日本雪氷学会編）, 朝倉書店, 31-53.
- 3) 山野井克己・竹内由香里・村上茂樹（2004）：プッシュゲージを用いた斜面積雪安定度の推定. 雪氷, 66, 669-676.
- 4) 竹内由香里・遠藤八十一・村上茂樹・庭野昭二（2007）：2005/06年冬期の十日町における積雪の硬度特性. 雪氷, 69, 61-69.

## Research on risk evaluation of snow avalanche hazard induced by winter rain event

**ABSTRACT:** Laboratory experiments were carried out in order to investigate the change of snow strength caused by rain. In the experiment, rainfall (2 mm/h) was released on artificially formed snowpack containing an ice layer at the bottom. After the rainfall, upper half of the snowpack became moist and rapid decrease was observed in the snow hardness according to empirical relationship between the hardness and water content. The rainwater further penetrated and high water content ( $\gg 23\%$ ) was observed above the ice layer, however, the hardness was relatively larger than that expected from its high water content. This is possibly due to the delay of grain coarsening induced by the rainwater.

keywords: avalanche, wet snow, water content, shear fracture strength