

斜面積雪内部の雨水の移動に関する現地試験

国立研究開発法人土木研究所 雪崩・地すべり研究センター ○松下拓樹, 池田慎二, *秋山一弥
*現在所属: 筑波大学生命環境系

1. はじめに

積雪期に降雨が生じた場合、湿雪雪崩の発生や地すべり、洪水などによる被害が懸念される。これらの現象の発生を検討するには、積雪内部の雨水の移動特性を把握することが重要である。しかし、積雪の層構造によってはその内部に雨水が保持されて現象発生までにタイムラグが生じるなど、積雪内部の雨水の移動は複雑であり、積雪期の降雨による雪崩や地すべりの発生を予測することは困難な状況にある。これまでに行われた積雪内部の水の移動に関する観測や実験の多くは、ある特定時期の積雪を対象とした観測や積雪底面からの水の流出に着目したものであり、積雪内部の水の移動そのものを積雪の層構造に関連付けて行ったものではない。また、平地と斜面では積雪内部の水の移動状況が大きく異なると考えられるが、平地積雪と比較しながら斜面積雪の水の移動状況を観測した例はない。

ここでは、厳冬期の乾いた積雪から融雪期の湿った積雪を対象に、積雪内部の雨水の移動について、平地と斜面における違いと積雪層構造による影響を把握することを目的として、自然積雪に水を散布する現地実験を行った。

2. 実験方法

実験は、札幌市南区定山溪(43°1.9'N, 141°7.7'E, 標高 400m)の平地と隣接する斜面(勾配約 30°)で、2013 年 3 月 19 日と 4 月 23 日、2014 年 2 月 24 日と 4 月 9 日の 4 回実施した。実験では、自然積雪の表面に黄色の蛍光染料(フルオレセイン)を混ぜた水を散布し、積雪を掘削して断面を露出させた観測により積雪内の水の浸透および移動状況を記録した。散水範囲は幅 2m×奥行 4m で、雪面から 1m の高さに設置した散水ノズル 2 個(噴角 90°)により、毎分 4l の水を 1 時間散布(散水量 30 mm h⁻¹)した(図 1)。散水量が一定となるように、それぞれのノズルには流量計を取り付け、ポンプには流量を調整するための減圧弁を取り付けた。積雪断面観測は、散水前と散水開始から 4 時間後まで 1 時間間隔で行い、雪質などの層構造(表 1)を観察し、雪温を測定した。



図 1 積雪への散水状況

表 1 積雪層構造の凡例

新雪		粒径	記号
+	こしまり雪	< 0.5mm	a
●	しまり雪	0.5-1mm	b
○	ざらめ雪	1-2mm	c
□	こしもざらめ雪	2-4mm	d
■	i 氷板	4mm <	e
←	滞水した層		

3. 実験結果

3.1 新雪としまり雪からなる積雪(雪温 0℃以下)の場合

実験日(2014 年 2 月 24 日)の天候は晴れ、実験中の気温は-0.4~3.3℃, 散布した水の温度は 9.8℃である。散水前の雪温は、全層 0℃以下であった。積雪構造(図 2)は、平地の 120cm 以下の層でざらめ雪がみられるが、それより上層は平地と斜面で大きな違いはなく、雪面から深さ約 30cm までの層が新雪とこしまり雪からなる。散水した結果、平地(図 3a)では、積雪表面が局部的に大きく沈降し、積雪内では所々滞水する層がみられるものの水みちを形成して地面に到達した。一方、斜面(図 3b)では、積雪表面の沈降が散水範囲全体で均一に起こり、水はこしまり雪としまり雪の境界より下には浸透せず、この境界に平行に斜面下方へ流れた。よって、厳冬期の雪温 0℃以下の斜面積雪では、水は積雪層に沿って斜面下方に流れる傾向が強く、地面に到達する可能性は低いと考えられる。

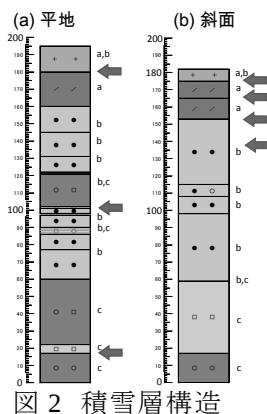


図 2 積雪層構造

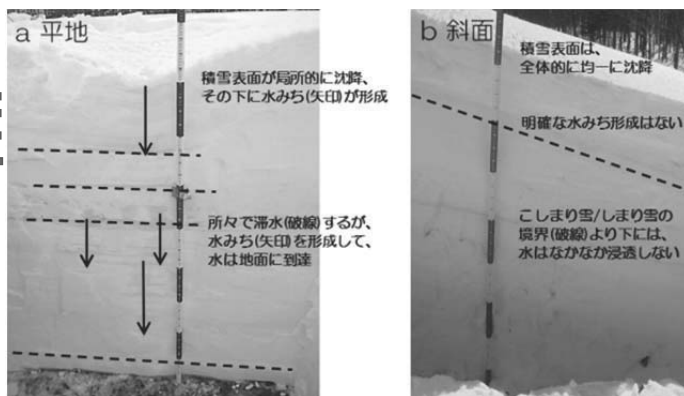


図 3 散水停止後の積雪内の水の浸透状況

3.2 しまり雪主体の積雪(雪温 0℃以下)の場合

実験日(2013年3月19日)の天候は曇り時々晴れ, 実験中の気温は3.2~−2.6℃, 散布した水の温度は5℃である。散水前の雪温は, 雪面から深さ約30cmまで0℃で, それより下は0℃以下であった。平地と斜面の積雪構造(図4)に大きな違いはないが, 散水開始から2時間後の平地(図5a)では, 多くの水を保持している帯水層があり, 水は帯水層の任意箇所から集中的に流下して地面に達した。一方, 斜面(図5b)では, 雪面から約

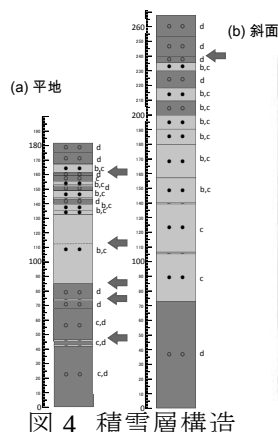


図4 積雪層構造

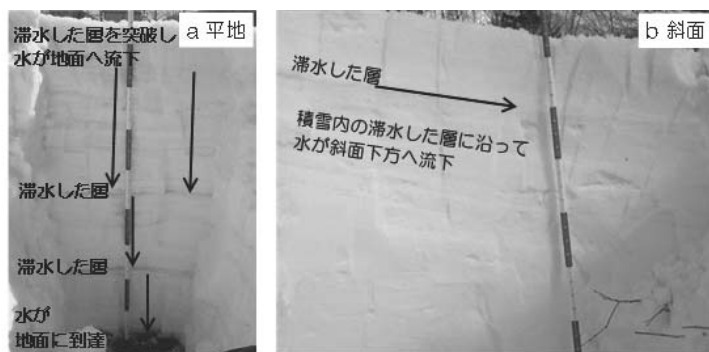


図5 散水停止後の積雪内の水の浸透状況

30cm下の層で滞水し, 水はこの層に沿って斜面下方に流れ地面に到達しなかった。よって, 3.1節の事例と同様, 融雪が本格化する前の雪温0℃以下のしまり雪が残る斜面積雪では, 水は帯水層に沿って斜面下方に流れる傾向が強く, 地面に到達する可能性は低いと考えられる。

3.3 ざらめ雪主体の積雪(雪温 0℃)の場合

実験日(2013年4月23日)の天候は晴れ, 実験中の気温は10.7~9.4℃, 散布した水の温度は9.8℃である。散水前の雪温は, 平地と斜面ともに全層0℃であり, 雪質はざらめ雪が多く所々に氷板としまり雪が存在した(図6)。水の浸透状況は, 平地(図7a)では散水開始から1時間後には水が地面に到達したが, 斜面(図7b)では滞水した層に沿って流れる水と帯水層から鉛直方向に流れる水が確認できた。よって, 融雪が進行した雪温0℃の斜面積雪では, 平地より遅れるものの, 水は階段状に流下して地面に到達すると思われる。

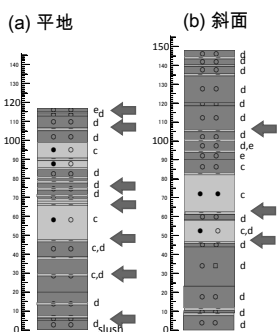


図6 積雪層構造

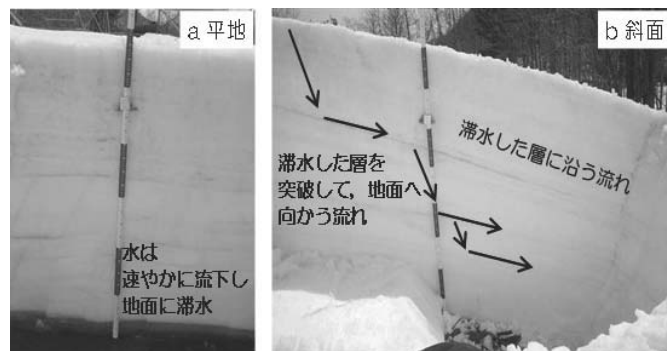


図7 散水停止後の積雪内の水の浸透状況

3.4 ざらめ雪からなる積雪(雪温 0℃)の場合

実験日(2014年4月9日)の天候は晴れ, 実験中の気温は10.4~11.7℃, 散布した水の温度は11℃である。散水前の雪温は, 平地と斜面ともに全層でほぼ0℃に近く, 3.3節の事例よりも融雪が進行して, 雪質はほぼ全層がざらめ雪である(図8)。水の浸透状況(図9)は, 平地と斜面ともに散水範囲からほぼ鉛直に地面まで浸透した。特に, 斜面において, 層に沿って斜面下方に流れる水がほとんどなく, 水がほぼ鉛直に均一に浸透して

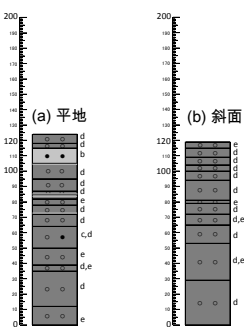


図8 積雪層構造

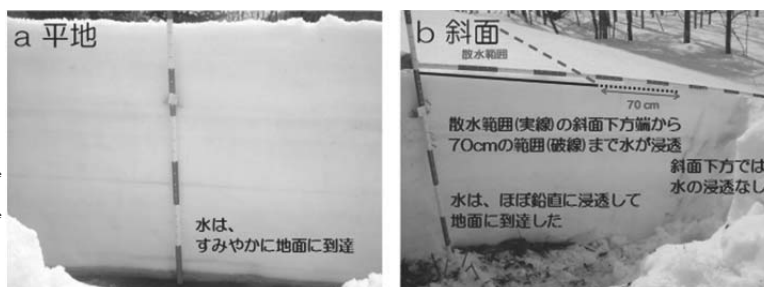


図9 散水停止後の積雪内の水の浸透状況

地面に到達したことが特徴である。斜面において水が浸透した範囲は, 散水範囲の斜面下端より70cmまでの範囲であった。以上より, 融雪が十分に進行して全層ざらめ雪の積雪では, 斜面でも水は容易に地面に到達すると思われる。

4. まとめ

以上, 積雪内部の雨水の移動は, 斜面と平地で大きく異なり, 積雪の層構造や雪質に強く依存することが示された。特に, 融雪前の斜面積雪では, 雨水は積雪層に沿って流れる傾向が強く, 積雪底面を通して土壌へ浸透する量は限られると考えられる。一方, 融雪が進行してざらめ雪主体の単純な積雪層構造になると, 斜面でも雨水は速やかに積雪底面(地面)に到達すると思われる。このような斜面積雪内部の雨水移動における積雪層構造の依存性は, 積雪期の降雨による湿雪雪崩や地すべり, 融雪洪水の発生機構を検討するときに考慮する必要があると考えられる。