

多層構造をもった積雪に対する人工降雨実験

(独) 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター ○伊東 靖彦、池田 慎二
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 松下 拓樹、坂瀬 修*
(独) 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 山口 悟、上石 勲
(独) 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター 野呂 智之

* 現 北海道開発局札幌開発建設部

1 はじめに

降雨によって積雪に水が供給されると湿雪雪崩の発生が懸念される。しかし、積雪中の雨水の浸透やそれにとまなう積雪の強度低下などを詳細に観測した例は少なく、降雨に伴う雪崩の発生条件については不明な点が多い。

そこで、冬期の降雨にとまなう湿雪雪崩の発生危険度評価手法の構築のため、積雪中へ雨水が浸透し含水率が増加するとともに積雪の破壊強度が変化する状況を把握することを目的として実験を行ったので報告する。

2 研究方法

自然環境下では積雪状態、温湿度、降雪降雨のコントロールが出来ないことから、今回は人工雪を用いて低温室で実験することとし、2012 年 1 月に、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験を行った。



写真-1 雪氷防災実験棟

2.1 雪氷防災実験棟

雪氷防災実験棟では、室温を一定に保つことが出来るほか、人工雪による降雪、降雨が可能となっている。それぞれの設定可能な環境範囲は表-1 に示す通りである。

表-1 雪氷防災実験棟での設定可能な環境範囲

気温	-30℃～+25℃	
降雨	0～2 mm/h	
降雪 A	降雪強度: 0～1 mm/h (水換算)	結晶形: 樹枝状結晶 (径 0.5～5 mm)
降雪 B	降雪強度: 0～5 mm/h (水換算)	結晶形: 球形モデル (径約 0.025 mm)

本実験棟では樹脂状の降雪 A と球形の降雪 B の 2 種類が降雪可能となっている。各々人工雪の諸元を表-1 に示す。

2.2 実験準備(積雪層の形成)

大きさが 3m×5mの降雪テーブル(写真-1 参照)の上に、

室温が底面から積雪に伝導し難いよう厚さ約9.5cmのスタイロフォームを敷き詰め、さらに野外から自然雪(しまり雪)を厚さ10cm程度敷き詰めた。こののち室温を氷点下にして雪面に水を噴霧し、厚さ数 mm の薄い氷盤を形成させた。この後室温を-5℃に保ち、降雪 B を氷盤上に 4 時間かけて約 12cm 堆雪させ、降雪終了後室温を-10℃に保って、20 時間放置した。さらに降雪 A を 24 時間降雪させ、約 50cm 降雪 A を堆積させた(表-2)。降雪 A の堆雪後、体重を加えて圧密させて降雪 A の厚さを 20cm とした。

以上が降雨実験に用いた供試体となる人工積雪層である。この積雪層の構成図を図-1 に示す。

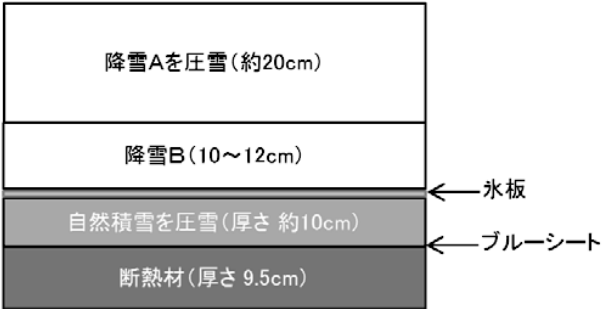


図-1 積雪層の構成(実験前)

2.3 降雨実験

2.2 で作成した積雪層に、積雪層の準備完了約 20 時間経過後から、6 時間降雨させた。降水量は 2mm/hとした。

降雨前と降水開始後から 1 時間経過毎と降水終了直後、および終了 17 時間後の計 8 回、積雪観測を行った。

積雪観測は、積雪層構造の分類、雪温、密度、硬度、重量含水率(以下、単に含水率とする)。などを測定した。測定方法はおおむね「積雪観測ガイドブック」¹⁾に準じ、重量含水率の測定は熱量式(遠藤式)に因った。

表-2 人工積雪層の形成と降雪・降雨の時程

日	時間	作業等
1/16	9:30-12:30	自然雪の搬入整形
	13:00-17:00	降雪 B 降雪
1/17	13:00-14:00(1/18)	降雪 A 降雪
1/19	10:15-16:15	降雨

3 測定結果

実験中の雪温・密度・硬度・含水率の推移を約 2 計測毎に図-2 に示した。図中の計測日時は表-3 に示す。

表－ 3 雪温等の計測日時(図－ 2)

凡例	測定日時	備考
降雨前	1/19 9:30～	
降雨中(2)	1/19 12:15～	降雨開始 2 時間後
降雨中(4)	1/19 14:15～	降雨開始 4 時間後
降雨後	1/19 16:15～	降雨終了直後(降雨開始 6 時間後)
降雨後(2)	1/20 9:15～	降雨終了 18 時間後

3.1 降雨前の積雪

降雨前の積雪は自然雪直上の氷板を 0 として、高さ 28cm であった。0～12cm が降雪 B による層(B 層)、12cm～28cm が降雪 A による層(A 層)で、2 層構造である。

B 層は密度:約 300kg/m³、硬度:約 100kN/m²でしまり雪に相当し、A 層は密度:約 100kg/m³、硬度:約 100kN/m²で、新雪に相当する。雪温は、B 層は－8℃でほぼ一定、A 層は底面から雪面にかけて－7℃から－1℃に変化した状況であった。

3.2 水の浸透

水が積雪層内に浸透すると雪温は 0℃となるため、ここでは、浸潤の先端を雪温から判断した。水の浸透は、降雨開始 2 時間後では雪面付近のみであるが、同 4 時間後に高さ 12cm に達した。降雨終了時は底面を除いてほぼ全層に水が浸透した。また降雨終了 18 時間後には底面までの浸透が確認された。

3.3 重量含水率

含水率は A 層で雪面付近において最大で 45%となったが、A 層内では最大で 30%前後であった。一方、B 層においては最大で 20%前後であった。水の浸透過程において雪面付近、A 層と B 層の境界付近、B 層と氷板の境界付近に一時的に高い個所がみられ、層境界における帯水が発生したと考えられる。A 層、B 層共に降雨終了 18 時間後の時点で含水率は 10%前後でほぼ全層均一になった。

3.4 密度・硬度

水の浸透前後において、密度は A 層で 100kg/m³から 200kg/m³へ、B 層で 300kg/m³から 400kg/m³へ変化している。

硬度は B 層内で 100kN/m²から 30kN/m²に 1/3 程度に減少しているのに対し、A 層では 10 kN/m²から 30kN/m²逆に増加している。

4 考察

降雨によって雪崩が発生する原因としては、駆動力の増加(含水による積雪重量の増加)と支持力の低下(水の浸透による積雪強度の低下)の 2 つが考えられている。今回の実験では、こ

れらに対する水の作用が雪質によって異なることが確認された。すなわち、低密度の新雪層においては、重量の増加が顕著であるのに対し強度は増加し、高密度のしまり雪層においては、重量の増加は顕著ではないものの、強度低下が大きい。このことは、降雨による湿雪雪崩の発生危険度を評価するには、降雨量や降雨強度など気象データ以外に、その時々

の積雪の状態を考慮することが重要であることを示している。特に雪質が多様で積雪層構造が複雑な厳冬期においては、気象データから雪質や積雪層構造を再現する積雪多層モデルの活用等、積雪状態の把握が重要な要素となるであろう。

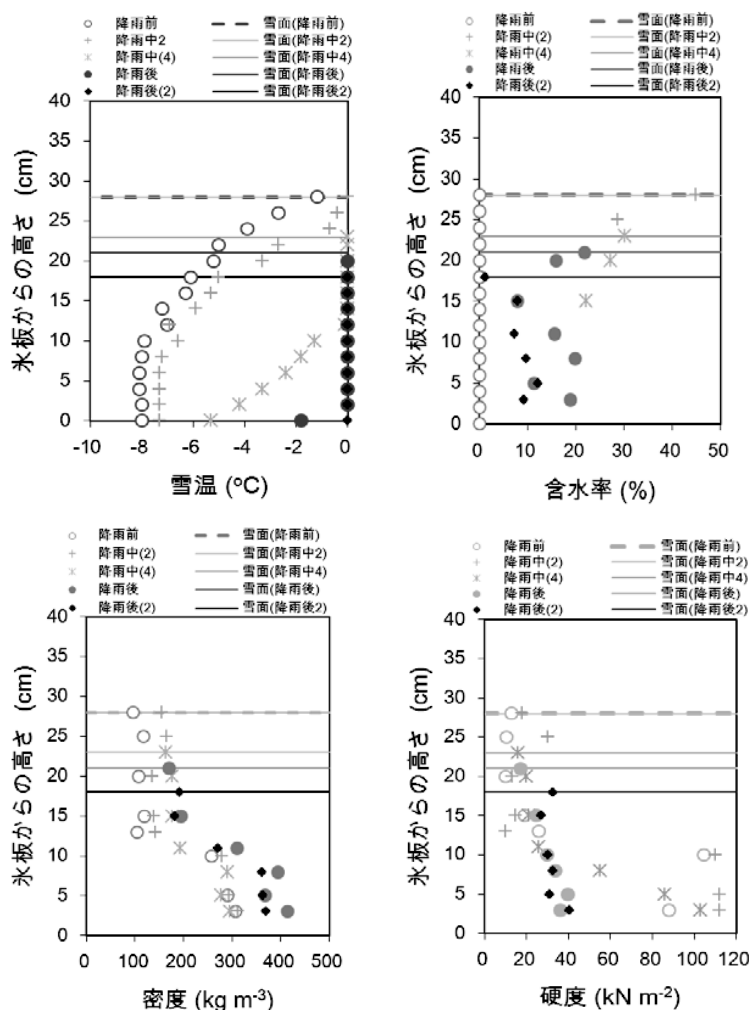
5 おわりに

今回の実験は 2 種類の雪質による 2 層の積雪に対する降雨実験であったが、今後より多様な雪質や複雑な層構造をもった積雪層に対しても実験を行う必要があると考えている。

また、水平面と斜面では水の挙動が異なることが予想される。このため危険度評価手法の構築には、斜面での計測も必須であり、今後の課題として考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 社) 日本雪氷学会(編): 積雪観測ガイドブック, 朝倉書店, 2010



図－ 2 実験中の雪温、密度、硬度、重量含水率の変化