

屋内人工スキー場の雪質維持に関する研究

—— 人工雪を用いた室内融雪実験 ——

大塚 清敏 宮川 保之

A Study on Snow Quality Control for Indoor Ski Slope

—— Cold Room Experiment on Melting of Artificial Snow Pack ——

Kiyotoshi Otsuka Yasuyuki Miyagawa

Abstract

A cold room experiment on the melting of snow was conducted in connection with snow quality control for indoor ski slopes. In the experiment, the influence of slight but steady bottom melting on the snow pack was investigated. Close examination of the behavior of the melt water within the snow pack indicated that the melt water which is produced at the bottom of the snow will not infiltrate the snow without limit. It was observed that an icy, frozen layer is formed around the upper front of the water movement, which works as an impeding layer for infiltration of the melt water.

概 要

屋内人工スキー場におけるゲレンデの雪質の維持・管理の問題と関連して、低温実験室にて人工雪を用いた融雪実験を行った。人工スキー場では、スノーマシンによってゲレンデ表面に新しい雪を常に供給するが、一方において、雪量を適正に保つためには、底からの融雪によって雪を徐々に除去する必要がある。実験ではゲレンデ模型を制作し、積雪底面における融雪がその上の積雪に与える影響について詳しく調べられた。その結果、融雪によって積雪層の底面から上方に向かって、融雪水を含む層の発達が見られた。しかし、融雪水を含む層はある程度の厚さに達すると、その上端付近において上部の乾燥雪との境界にはっきりとした凍結層が形成され、それが融雪水の浸透を抑えるように働くことが明らかになった。実験期間中、雪の密度はスキーに適した範囲に維持されていた。また、人工芝は、ゲレンデの床材として適切であることがわかった。

1. はじめに

屋内人工スキー場は、年間を通してスキーを楽しむことができる新しいタイプの都市型レジャー施設として、最近注目を集めている。スノーマシンで作った人工雪を利用する屋内スキー場では、天然雪のスキー場に近い感覚でスキーを楽しむことができ、今後、こうした施設は増えるものと思われる。

人工スキー場の運営においては、ゲレンデの雪質を、常にスキーに最適な状態に保つことが重要である。雪は、スキーヤーの滑走により、断続的に荷重を受けており、それによる圧密や、スキー板が通過する際にスキー板とそれに接触する雪粒子との間に生じるわずかな融雪水によって、変質し固化する。このような雪の変質に対応するためには、スノーマシン等によって、新しい雪を定期的にゲレンデ表面に補給する必要がある。しかし、ゲレンデの雪の量を適正に保つためには、降雪と同時に除雪

も行わねばならない。

有効な除雪の方法として、ゲレンデの床からの人為的な融雪が考えられる。しかし、その際には、積雪層の底面で生じる融雪水が毛細管現象で雪中を上昇し、表面付近の雪質を損なう可能性がある。従って、融雪による除雪を採用する場合には、雪の中における融雪水の挙動を十分に把握する必要がある。本報では、そうした融雪水の挙動を調べるために行った、人工雪を用いた室内融雪実験の結果について述べる。

2. 実験概要

実験では、積雪底面で融雪を行う場合を想定し、融雪がその上の積雪層に与える影響を調べた。ゲレンデの模型を作製し、低温室内において模型上の人工雪を底部から加熱融解し、融雪水の挙動と雪質の変化を観察した。人工雪は、低温室内で実際にスノーマシンで造雪されたものを用いた。実験期間中室温は -3°C に保たれた。

2.1 実験装置

実験に用いたゲレンデの模型は、縦 1.2 m×横 0.9 m のベニヤ板の上に厚さ 4 cm のコンクリートを打設し、その上に人工芝を敷いたものである。図-1に模型の長手方向の断面を示す。人工芝と、コンクリート表面の間は、ビニルシートで防水されている。コンクリートの内部には、電熱線が図に示されているように、30 cm 間隔で直線状に配してあり、それによって融雪を行う。ゲレンデ模型には、人工雪をふるい (3#) でふるって 30 cm の厚さに積雪させた。さらに、スキーヤーの活荷重を模擬するため、積雪表面に 50 kgf/m² の荷重を一様にかけた。模型は 3 体製作し、芝のタイプや、供給熱量の違いによる影響を調べた。各模型に用いた人工芝のタイプ、および供給熱量を表-1に示した。表-1において、日融雪量 3.2 kg/m² 日(水量換算値)は、雪質の維持管理上必要とされる日融雪量である。各模型は、融雪水の排水を促すため、水平面に対し約 5 度傾けてある。

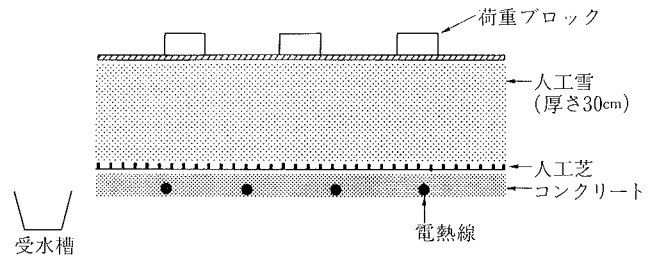


図-1 ゲレンデ模型

2.2 実験条件および調査項目

実験では、融雪を継続的に14日間行い、その間の融雪水量、雪中への融雪水の浸透状況や、雪質の変化を調べた。融雪によって積雪深が減少するため、30 cm 前後の積雪深を維持するように適宜雪を供給した。計測項目と計測間隔を表-2に示す。温度の計測は銅-コンスタンタン熱電対で行った。雪の密度は、日毎に規定された箇所まで深さ方向に5つのレベルで計測した。これらの計測と合わせて雪を切り出し、切り口の断面を目視や手ざわり等で観察し、スケッチと写真撮影を行った。ここで述べた各計測の方法や計測位置を図-2に示した。

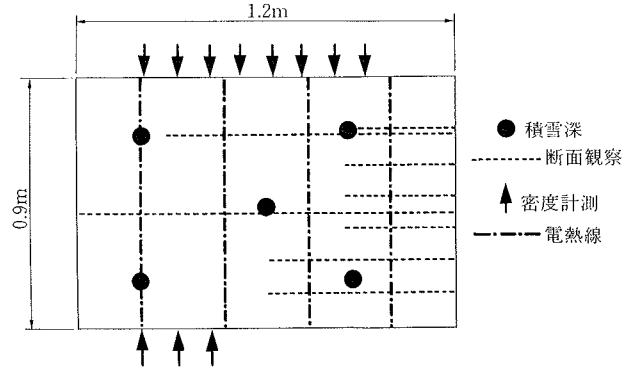


図-2 ゲレンデ模型における電熱線の配置および各計測項目計測位置

3. 実験結果

各模型とも電熱線に通電を開始してから、ほぼ3日経過した後融雪水の流出が始まった。融雪そのものの開始はそれより約2日早く確認されたが、融雪水流出の遅れは、初期の融雪水が雪中に浸透するためである。

3.1 実験の経過

実験期間中の積雪深の時間変化を図-3に示す。グラフは、鋸歯状になっているが、それは、融雪が進行する途中で新たに積雪させたからである。各模型とも、初期の2日間は積雪深の変化はほとんど見られない。3日目以降は、模型2は、電熱線からの供給熱量が他の2者よりも大きいことを反映して積雪深の減少が速く、その速度は15 mm/日である。一方模型1、3は互いに似たような変化をしており、積雪深の変化は6~8 mm/日である。融雪水量の時間変化を図-4に示す。融雪水量は、模型の表面の単位面積あたりの値で示されている。模型1、3は、時間の経過と共に若干融雪水量が減少する傾向にある。模型2では、供給熱量が大きいいため、模型1の約2~2.5倍の融雪量となっている。雪の密度を図-5に示す。図は実験期間中の平均密度と深さとの関係を示している。横棒は、計測された密度の範囲である。密度は、各模型とも積雪の表面から下に向かって増加する傾向にあり、模

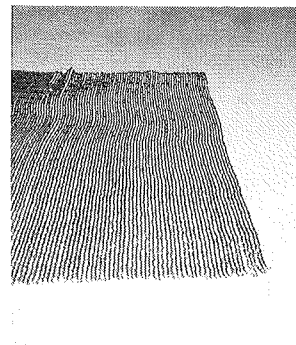


写真-1 タイプAの人工芝

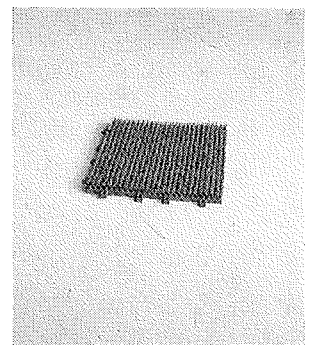


写真-2 タイプBの人工芝

型1、3では表面付近で0.3~0.4 g/cm³、20 cm より深い箇所では、0.4~0.5 g/cm³ となっている。模型2では、模型1、3より密度がやや大きい。積雪層下部の密度が相対的に大きいのは、下方ほど大きな圧力を受けたり、また、融雪水の浸透があるためである。スキーに適する雪の密度は0.5以下といわれているので、実験期間中の雪の密度は、適正に維持されていたといえる。これは、上部において、絶えず新しい雪が供給され、雪が徐々に交換されていたためである。

3.2 融雪水の浸透について

積雪底面における融雪水の浸透状況を調べるために、積雪層の断面観察を行った。そこにおいて、積雪層底部では、2種類の人工芝のいずれについても、人工芝の芝目の中に融雪水の通り道となるべく空隙が確保されてお

り、融雪水の大部分は重力流として人工芝中の間隙中を流下し、模型外へ流出するのが観察された。これから、人工芝は床材として適切であると考えられる。

融雪開始から10日後の積雪の断面を模型1について図-6および写真-3に示す。積雪層の底面付近には、融雪に起因する、層状構造をした雪の変質部が形成されていた。芝の直上では、雪は、粒径が2~3mmのザラメ状の氷の層となっており、その上に、外見上は乾燥雪と同様に白いが融雪水を含む層が重なっていた。融雪水を含む層の上端付近の乾燥雪に遷移する部分では、厚さ約2cmにわたり、含水層が凍結していた。ザラメ状の氷の厚さと含水層の厚さは、各模型ともに、それぞれ約20~25mm、50~60mmであり、密度と同様に模型間の差異が小さかった。

雪の変質部全層の厚さの時間変化を図-7に示す。測定された平均の厚さとばらつきの幅が示されている。各模型とも変質層は時間とともに成長しているが、その速度は次第に鈍化している。変質部の厚さは、実験開始後5日目までは、供給熱量が最大の模型2が最も厚いが、それ以降は各模型間の差は不明瞭になっている。模型間の差が不明瞭になるころには、積雪層下部の雪の状態は互いに非常に類似した状態となっていた。変質層の成長が鈍化するのには、人工芝の高い排水能力によるものと考えられる。

図-8は、実験開始後12日経過時点での、模型の中心における積雪層の温度の鉛直分布である。これらの温度分布は、実験期間中ほとんど変化しなかった。それぞれのグラフの4つの黒丸は、積雪表面から順に、表面、深さ15cm、雪と人工芝の境界、コンクリート表面の温度である。下から加熱を受けている積雪底面付近では、ほぼ0°Cであったが、深さ15cmより上では雪温は氷点下であり、含水部から乾燥雪への遷移帯が凍結していたことと合致する。この凍結部が、融雪水の上方への浸透を抑えるように働いたものと思われる。模型3において、コンクリート表面温度が3つの模型の中で最も高いが、それは、模型3の人工芝Bはその構造上、雪とコンクリート表面との間に、芝Aよりも大きな空隙を持つため、雪とコンクリート表面との間の熱伝達率が小さいからである。この意味で、模型3の芝は多少融雪効率が劣ると考えられる。

表-1 各模型の人工芝のタイプおよび供給熱量

	人工芝	供給熱量(日融雪量換算)	備考
模型1	タイプA	3.2kg/m ² 日	人工芝はタイプAは、ポリプロピレンの芝を化繊糸で編んだもの(写真-1)。タイプBはプラスチック製高床式(写真-2)。
模型2	タイプA	6.4kg/m ² 日	
模型3	タイプB	3.2kg/m ² 日	

表-2 実験における調査項目

雪密度	1回/日	融雪水量	日中2時間毎
積雪深	1回/日	断面観察	1回/日
温度	10分間隔		

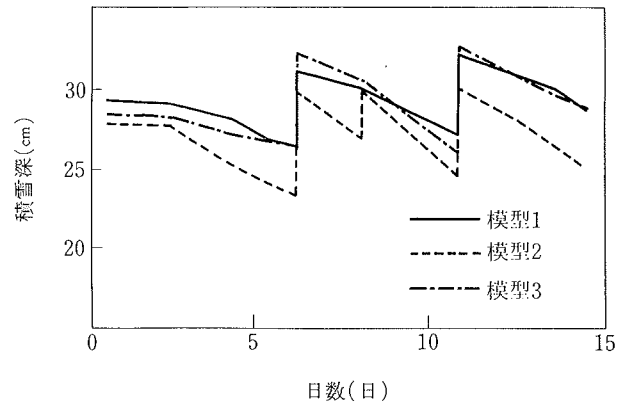


図-3 積雪深の時間変化

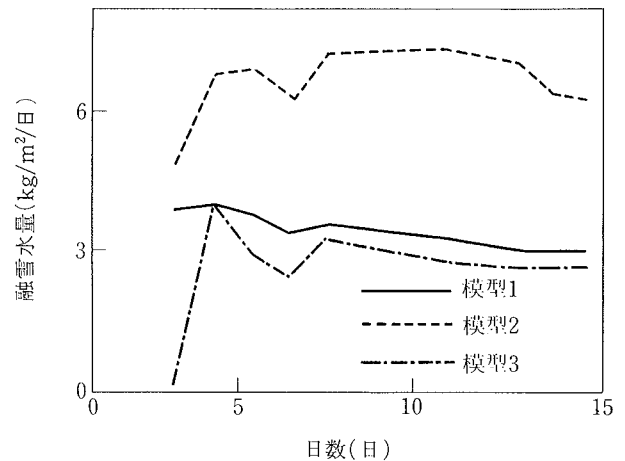


図-4 融雪水量の時間変化

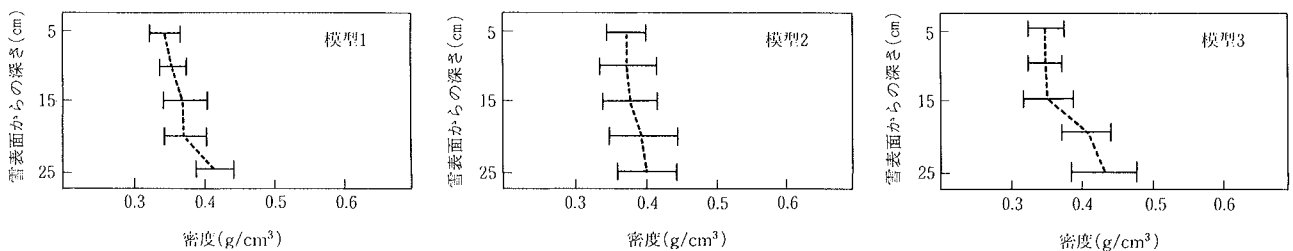


図-5 融の密度の鉛直分布

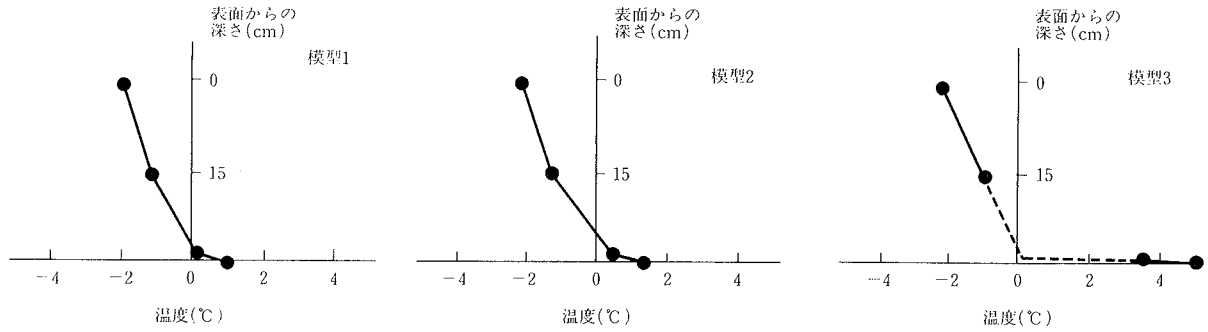


図-8 模型中央部における温度の鉛直分布

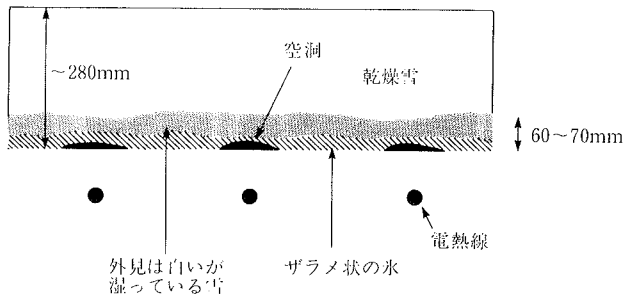


図-6 積雪断面の様子 (融雪開始から10日目)

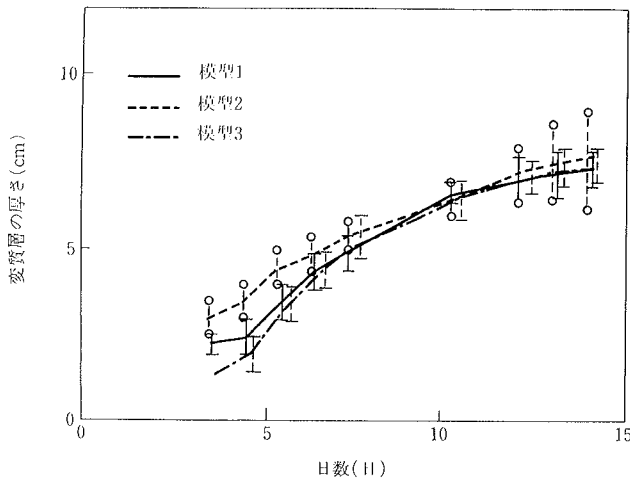


図-7 積雪下部の変質層の厚さの時間変化

変質層の形成とは別に、融雪によって、電熱線直上の積雪層と芝の間に空洞の形成が全ての模型について確認された。空洞の形成は、底面における雪への熱供給の不均一性に起因すると考えられる。空洞は、最終的には模型1および3では、底部の幅が約10cm、高さ5cmの大きさに発達した。供給熱量の多い模型2では、空洞も大きく、底部の幅が約15cm、高さは10cmであった。しかし、いずれも融雪開始から10日目以降は、ほぼ一定の大きさが保たれた。空洞は、下からの不均一な加熱によって生じ、成長すると考えられるが、一方において、空洞以外の、雪が人工芝に接している部分における融雪によって、空洞の天井は常に下降することになる。実験においては、空洞の高さは次第に一定となる傾向が見られたが、これは、空洞の成長による天井の上昇と、空洞以

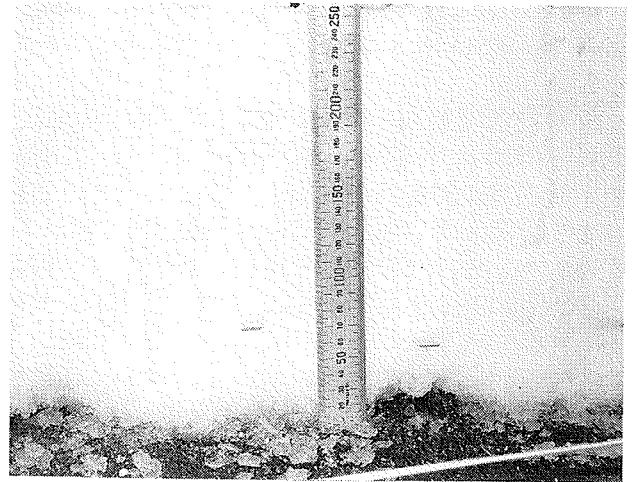


写真-3 積雪断面の様子、雪中の横棒は、含水部の上端の位置を表わしている

外の部分での融雪による天井の下降とが次第に釣り合ってくるためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、人工スキー場における雪質管理の問題と関連して、人工雪の融雪実験を行い、積雪層底面における融雪がその上の雪に与える影響を調べた。融雪により、積雪層の下部で含水部の成長が見られたが、その厚さは、次第に一定になる傾向を示した。これは、含水部とその上の乾燥雪との間に形成される凍結層が融雪水の浸透を抑えるように働いたためであると考えられる。また、含水層の成長を抑えるためには、融雪水が迅速に排水されるような床材を使用する必要があることが判明した。人工芝は、そうした床材として適切であると考えられる。実験期間中、雪の密度は、スキーを行うのに適切な大きさに保たれていた。以上から、積雪底面での融雪は、ゲレンデの雪質を維持する上で、ほとんど問題がないと思われる。

謝辞

本研究においては、三菱重工長崎研究所の氷海水槽の皆様には、大変お世話になりました。ここに、感謝の意を表します。