経時的に雪質の変化した屋根上積雪と塗装鋼板との摩擦特性

EFFECT OF TEMPORAL CHANGES IN THE QUALITY OF SNOW ON FRICTION BETWEEN SNOW AND STEEL SHEETS ON THE SLOPED ROOF

高倉 政寛*, 伊東 敏幸**, 苫米地 司***

Masahiro TAKAKURA, Toshiyuki ITO and Tsukasa TOMABECHI

In this study, we investigated the effect that the quality of accumulated snow on the snow's resistance to sliding. First, we observed changes in the quality of snow that had accumulated on the roof of a building. It was found that the particle size of the snow increased to approximately 2mm after one week and that the water content of the snow increased. Next, experiments were conducted to determine the effect that particle size of snow on a sloped roof has on the snow's resistance to sliding. The results showed that the resistance to sliding decreased as the particle size of snow increased (i.e., as the snow became more granular). The effect of particle size on the snow's resistance also depended on the degree of snow melting. From the facts described above, it is possible to utilize the effect of particle size on the snow's resistance for control of snow sliding on a sloped roof.

Keywords : Sloped roof, Snow load, Snow sliding, Snow quality, Roofing material
勾配屋根, 積雪荷重, 滑雪, 雪質, 屋根葺材

1. はじめに

多雪地域における建築物は, 大きな荷重として作用する屋根上積雪によって構造的な制約を受けている。勾配屋根における屋根上積雪をみると, 滑雪現象が頻繁に発生して図-1に示すような荷重状況となる場合も多い¹⁾。現行の建築基準法においても, 屋根勾配が30°以上の場合では勾配による屋根上積雪荷重の低減が認められている。さらに近年, 膜材料を屋根葺材に用いた大型ドームでは実験・調査に基づいた検討によって屋根勾配25°以上の部位における屋根上積雪荷重の低減を行っている例もある²⁾。しかし, 1981年の「56豪雪」による建築物の被害をみると, 勾配屋根を持つ建築物においても顕著な滑雪現象が発生せずに長期間にわたり屋根上に雪が堆積し, 崩壊に至った例も多くみられる³⁾。このように, 勾配屋根を持つ建築物でも滑雪現象の発生状況が大きく異なっている。従って, 勾配による屋根上積雪荷重の低減を行う場合には, 個々の建築物の屋根構法や使用する屋根葺材に対応した滑雪特性を検討することが重要となる。1993年に改訂された日本建築学会建築物荷重指針においても, 実験や調査に基づいた検討によって十分に信頼性のある雪処理手法が可能な場合は, その設計荷重に制御積雪荷重を用いて, 屋根上積雪荷重の低減が出来るように改訂された⁴⁾。屋根上積雪荷重の制約を大きく受ける大空間構造物が多雪地域にも建設されるようになった現状を考えると, 屋根勾配を利用して屋根雪を滑落処理させて屋根上積雪荷重を制御する方法は経済的にも有意と言える。この場合, 滑雪現象を支配する諸抵抗力を適切に評価し, 制御積雪荷重を設定しなければならない。これらの諸抵抗力に関する既往の研

究をみると, 自然雪を用いた屋外実験結果から雪質の違いによって諸抵抗力が変化することが確認されている⁵⁾。筆者らの研究においても, 雪質の評価指標の一つとなる雪の含水率の違いによって摩擦抵抗力が大きく変化することが明らかになっている⁶⁾。このように, 雪質の違いによって諸抵抗力が変化することが確認されているものの, 既往の研究では屋根葺材の表面性状に主眼が置かれていたことから^{7,8,9)}, 雪質と諸抵抗力との関わりを定量的に検討するまでに至っていない。

屋根上に降り積もった雪の滑雪に至るまでの時間的な状況を見ると, 屋根上に降り積もった雪は, その直後に滑雪現象が発生することが稀で, 数時間あるいは数日にわたって屋根上に堆積した後

図-1 勾配屋根における屋根上積雪荷重の荷重状況

* 北海道工業大学大学院 大学院生・修士(工学)
** 北海道工業大学建築工学科 講師・博士(工学)
*** 北海道工業大学建築工学科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Hokkaido Inst. of Tech., M. Eng.
Lecture, Dept. of Architecture, Hokkaido Inst. of Tech., Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Hokkaido Inst. of Tech., Dr. Eng.

滑雪するのが一般的である¹⁰⁾。この堆積期間中に屋根面に接する雪は、外気温の変動や小屋裏からの伝熱によって生ずる雪の焼結や融解によって、雪質が新雪からしまり雪、ざらめ雪等へと変態してゆく。この状況は屋根雪の断面観測でも確認されている¹¹⁾。このように、屋根面に接する雪質は屋根上に堆積している数日間において不変ではなく、数日間であってもその物性が大きく変化することから、滑雪抵抗力を適切に評価する場合、雪質に関わる要因を無視できない。

これらのことから本研究では、勾配屋根における制御積雪荷重の設定に関する基礎資料を得ることを目的とし、屋根雪の雪質変化が滑雪時に作用する摩擦抵抗力に及ぼす影響を実験的に検討した。始めに、滑雪現象に影響を及ぼす雪物性を整理するとともに、実際の建築物における屋根雪の雪質変化を観測した。この結果から、屋根面に雪が堆積してから数日以内に起こり得る雪質変化をモデル化した実験を行い、屋根雪の経時的な雪質変化（粒径の変化、融雪による水分の発生）に伴う屋根葺材との摩擦抵抗力について評価した。

2. 滑雪現象に関わる抵抗力とその諸要因

屋根雪の滑雪現象を支配する抵抗力は、連続的な屋根雪の破断を阻止する雪塊相互の破断抵抗力と、屋根雪と屋根葺材との間に発生する滑雪界面抵抗力の2つに大別できる。前者の破断抵抗力には積雪の引張およびせん断抵抗力などがあり、これらの抵抗力は屋根形状の工夫、屋根面の温度分布を均一にすること等で低減あるいは解除することが可能である¹²⁾。後者の滑雪界面抵抗力には、滑雪開始への抵抗力として作用する凍着抵抗力および静摩擦抵抗力、滑雪持続への抵抗力として作用する動摩擦抵抗力がある。このうち凍着抵抗力が作用する氷点下の条件では、その抵抗力が極めて大きな値となるため、滑雪現象の発生を期待できない¹³⁾。従って、外気温の変動や小屋裏からの伝熱などで凍着抵抗力が解除された状態に作用する抵抗力は、静・動摩擦抵抗力となる。このように、屋根葺材と屋根雪との静・動摩擦抵抗力は、滑雪現象を定量的に評価する有効な指標と言える。静・動摩擦抵抗力は、屋根雪と屋根葺材との界面に発生する抵抗力であることから、屋根葺材の表面性状および屋根雪の雪質がこれらの2つの抵抗力を大きく支配している。ここで、静・動摩擦抵抗力に影響する屋根葺材および屋根雪の諸要因について整理すると図-2になる。図のように、静・動摩擦抵抗力に影響する屋根葺材の表面性状には、表面粗さおよび撥水性が挙げられ、その中でも表面粗さの影響は大きい。一方、静・動摩擦抵抗力に影響する屋根雪の性状には、雪塊の含水率、密度および硬度、あるいは雪粒の形や粒径が挙げられる。このうち、密度は雪の粒径に依存し、硬度は低温下での温度に依存する。雪粒の形状は雪の焼結過程で球形化し、雪塊の含水率は滑雪界面の水量よりも摩擦に対する影響が小さい。従って、これらの物性の中で滑雪抵抗力に大きく影響する項目は雪の粒径と伝熱による融雪で生じる滑雪界面の水量の2つと言える。これらのことから、滑雪現象を定量的に評価するためには、屋根葺材の表面性状が及ぼす静・動摩擦抵抗力への影響について検討を行うと同時に、雪粒径の変化や融雪による水分の発生が、静・動摩擦抵抗力へ及ぼす影響についても十分に検討しておく必要がある。

3. 屋根雪の経時的な雪質変化

屋根上に堆積した雪は、その雪質が時間の経過に伴って変化し、一般には新雪からざらめ雪へと変態してゆく。このような雪の変態過程を定量的に示す指標の一つに、雪粒の粒径がある¹⁴⁾。ここで、屋根雪が屋根上に堆積した状態で数日間経過する際の変態状況を確認するため、実際の建築物における屋根面温度を測定し、その結果を基に滑雪界面付近の屋根雪における雪粒径が経時的に変化することを検証すると以下ようになる。

屋根面温度の測定は、札幌市手稲区に建設された一般的な戸建住宅を対象に1997年2月に行った。対象とした住宅屋根は、艶消し塗装鋼板を葺いた勾配屋根で小屋裏換気が行われており、天井と小屋裏との間にグラスウール200mmの断熱が施されている。室内温度は約18℃で推移するように暖房が行われている。屋根面温度は棟と軒の中央部における屋根葺材の裏面に熱電対を貼り付けて10分毎に測定した。

連続的な降雪があった期間における住宅各部の温度推移をみると図-3となる。なお、図示した期間内に滑雪現象は発生していない。図のように、2月16日の降雪以降は屋根面に積雪があり、それ以前は氷点下であった屋根面温度が約0.5℃まで上昇している。積雪がある期間内の小屋裏温度をみると、外気温の変化に影響を受けて推移している。これに対し、屋根面温度は外気温の影響を殆ど受けないで、常に0.5℃前後の温度を保ったまま推移している。屋根面温度が

図-2 滑雪現象に関わる屋根葺材および屋根雪の要因

図-3 連続的に降雪のあった期間における住宅各部の温度推移

このような温度推移となる要因は、屋根面に積雪した雪の断熱作用が影響しているためである。この温度条件で経過した屋根雪を2月23日にスケール付きの100倍ルーペで観察すると、滑雪界面付近の雪は1～2mmの粒径を持つざらめ雪へと変態していた。このような雪の変態については、温風を直接吹き付ける膜構造物で降雪後24時間以内に約1mmまで粒径変化した事例もあり¹¹⁾、屋内からの伝熱は雪粒径の変化に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

ここで、雪の変態に伴う粒径変化の要因を扱った研究を基に雪粒の粗大化を検討すると次のようになる。対馬は0℃で推移する水に浸った新雪の平均粒径が130時間で0.3mmから1.1mmへ粗大化することを観測し、粒径(mm)の増加が時間(hour)の1/3乗に比例することを明らかにしている¹⁵⁾。さらに福沢らは、昼間の日射によって暖められた新雪層が1.5℃/cm程度の温度勾配で冷やされた場合、98時間で0.199mmから0.779mmへ雪粒径が粗大化することを明らかにしている¹⁶⁾。これらの研究と先に示した観察結果を併せて考察すると、屋根面付近の積雪は屋内からの伝熱によって多くの水を含んだ状態になれば、その雪質の変態が進行することになる。屋根雪の経時に伴う雪粒径の変化は、屋根面への伝熱が大きいほど著しくなると考えられるが、暖房を行っている一般的な住宅では、3～4日程度で1mm程度、1週間以上となれば2mm程度にまで粗大化すると考えられる。このように雪粒径の粗大化は、屋根葺材の劣化などのように年単位で変化する材料特性と異なり、数日間で急速に進行する。従って、屋根雪の滑雪性状を評価する場合は、経時的に変化する雪粒径を考慮した検討が必要と言える。

4. 雪粒径の異なる雪氷体の滑雪特性

屋根面付近の雪は時間の経過に伴って、その粒径が大きく変化することから、この雪質変化に対応した雪氷体の滑雪性状を評価しておく必要がある。そのため、本研究では降雪直後から数日経過に至るまでの粒径を想定した雪を対象に、表面粗さの異なる屋根葺材を用いて摩擦抵抗力を測定した。また、外気温上昇などに伴う摩擦界面の融雪は、滑雪現象に大きな影響を及ぼすと考えられるため、摩擦抵抗力の測定時には、この融雪過程を考慮した温度条件としている。なお、既往の研究から静摩擦抵抗力と動摩擦抵抗力との関係はほぼ比例関係にあることから⁹⁾、本研究では動摩擦抵抗力を滑雪抵抗力の指標とした。

4.1 実験の方法

動摩擦抵抗力の測定に用いる雪氷体は、粒径が経時的に粗大化する過程の雪を用いた。雪質の違いに関して一般に用いられている分類は、表1の左欄の通りであり、同分類中で霜ざらめ雪に関しては屋根面付近の雪質と異なる分類となることから、本研究では同表右欄に示すような雪質の雪氷体を対象とした。表のように、融解水の介在で粗大化したざらめ雪を粒径別に2通り(「ざらめ雪1」と「ざらめ雪2」)設定し、これに「新雪」と「しまり雪」を加えた合計4種類の雪質における動摩擦係数を測定した。測定に用いた雪氷体は、厳寒期の地上積雪層から採取した。また、粒径を持たない氷ブロックについても測定した。なお、採取した雪の主な粒径はスケール付きの100倍ルーペで測定した。

測定の対象とした屋根葺材は、滑雪性状に影響が大きい要因である表面粗さの異なるものとした。その試料は、表2に示すような

表面粗さを持つ屋根用塗装鋼板6種類である。なお、屋根葺材の撥水性を示す接触角 θ は、試料の違いによって若干のバラツキを示すものの、いずれも $\theta=90^\circ$ 以下の値を示していることから、これらの試料は、付着した水分がぬれ広がりやすい性質を持つ屋根葺材と言える。

動摩擦係数の測定は低温室内で水平滑雪装置⁷⁾を用いて実施した。この係数は試料上に重量が28.8kgf(雪密度100kg/m³で20cmの降雪があったことを想定)とした12×12cmの雪氷体ブロックを設置し、6mm/secの速度で水平滑動させたときの摩擦抵抗力から算出した。図-4に動摩擦係数の測定手順を示す。図のように、屋根雪の滑雪現象を想定すると、屋根雪と屋根葺材との滑雪界面状態は、氷点下における乾燥状態から融雪過程における湿潤状態まで考えられる。このことから、屋根雪と屋根葺材が共に氷点下で乾燥している

表-1 一般的な雪質分類と本研究で用いた雪氷体

一般的に用いられている雪質の分類 ¹⁴⁾		本研究で用いた雪氷体	
名称	特徴	呼称	主な粒径(μm)
新雪	降って間もない期間の雪で、構成粒子は、多かれ少なかれ結晶形を保存している。	新雪	10～100
しまり雪	降雪後数日経ち、構成粒子が丸みをおびた雪。粒子同士の結合も発達し、全体としてきめ細かくしまった感じを呈する。粒径は、0.3～0.6mm	しまり雪	100～500
霜ざらめ雪	温度勾配のために、内部に霜の結晶が成長した雪。粒子は鮮やかな結晶形を示し、粒径は1～5mmに達することもある。	ざらめ雪1	500～1000
		ざらめ雪2	1000～2000
ざらめ雪	融解水の介在で生じる粗い感じの雪。粒径は普通1～3mmもあり、一粒一をはっきりと見分けることができる。	氷ブロック	—

表-2 本研究で用いた屋根用塗装鋼板の表面性状と試料 CODE

試料CODE	中心線平均粗さ Ra(μm)	10点平均粗さ Rz(μm)	蒸留水との接触角 θ(°)
試料A	0.33	1.40	72.3
試料B	0.52	2.97	75.4
試料C	1.44	12.10	75.4
試料D	2.29	16.20	84.6
試料E	3.20	23.07	62.5
試料F	4.08	26.13	68.9

図-4 動摩擦係数の測定手順と滑雪界面状態

る状態を想定して、低温室および試料表面温度がともに -10°C のD-10、 -5°C のD-5および -2°C のD-2の3通りを測定した。その後、低温室の温度を上昇（試料表面温度は $+0.5^{\circ}\text{C}$ 前後）させて、屋根雪が融雪してゆく融雪初期の過程W1を想定した測定を行った。なお、新雪およびしまり雪におけるW1の状態を観察すると、屋根葺材表面がぬれている状態が確認できなかったため、これらの雪質におけるW1では、融雪水が滑雪界面を湿潤させるにまでは至っていない状態と言える。W1の測定後、融雪によって滑雪界面が湿潤してゆく状態を想定して、その状態を経過時間別にW2~W4の3通り測定した。これら動摩擦係数の測定は、同一条件で3回行い、その平均値で評価した。なお、測定値のバラツキは $\pm 15\%$ 以内であったので、雪質および滑雪界面状態の違いによる評価は可能と考える。

4.2 結果および考察

(1) 動摩擦係数の測定結果

滑雪界面の状態と動摩擦係数との基本的な関係を図-5に示す。

図-5 滑雪界面状態と動摩擦係数との関係

図-6 雪粒径と動摩擦係数との関係

図のように、滑雪界面が乾燥した状態の場合における動摩擦係数は、D-10からD-2へと温度が上昇しても、若干小さくなる程度で顕著な変化はみられない。また、試料に用いた屋根葺材の表面粗さの違いによる動摩擦係数の変化が小さい。これに対し、融雪初期を経て滑雪界面が湿潤した状態になると、動摩擦係数は急激な増加傾向を示した後、十分な湿潤状態であるW4になると減少する傾向を示す。湿潤状態では、表面粗さが及ぼす動摩擦係数の差が顕著であり、表面粗さ（10点平均粗さ R_z ）が $12.0\mu\text{m}$ 以上となる試料CとEは、試料Aのような表面粗さの小さな屋根葺材に比べて大きな動摩擦係数を示す傾向がみられた。動摩擦係数の変化を雪質の違いからみると、湿潤した状態における動摩擦係数の最大値はしまり雪が最も大きく、次に新雪、ざらめ雪1、ざらめ雪2、氷ブロックの順となる。このように、屋根雪と屋根葺材との動摩擦係数は、屋根葺材の表面粗さのみではなく、滑雪界面の湿潤状態および雪質の違いによって顕著な差を示す。

雪質の影響が顕著にみられた融雪初期の状態 W1, 滑雪界面が湿潤状態である W2から W4における雪粒径と動摩擦係数との関係を見ると図-6 となる。なお、この図は表面粗度の異なる2 試料について示してある。図のように、平滑表面の試料 A および粗い表面を持つ試料 E の両試料において、その動摩擦係数は雪粒径が100~500 μm で最も大きくなり、その粒径以上になると減少する傾向を示す。滑雪界面状態別にみると、W1から W3へと滑雪界面が湿潤化するに伴って雪粒径が動摩擦係数へ及ぼす影響が顕著になり、それ以上の湿潤状態である W4になると雪粒径による違いが小さくなる。この傾向は、しまり雪からざらめ雪 2 への粒径変化において顕著であった。

試料に用いた屋根葺材の表面粗さ R_z と動摩擦係数との関係を、最も大きな動摩擦係数を示した雪質であるしまり雪についてみると図-7 となる。なお、この図は動摩擦係数が急激な増加傾向を示した W1から W3の状態について示してある。図のように、融雪初期の状態である W1では R_z が12 μm の試料 C において最も大きな動摩擦係数を示すものの、屋根葺材の表面粗さが摩擦係数に及ぼす影響が小さい。その後 W2の状態になると、 R_z が15~23 μm で動摩擦係数が最大となる傾向を示す。さらに、融雪が進んだ界面状態 W3では、 R_z が23 μm の試料 E において最も大きな動摩擦係数となる。このように、滑雪界面の湿潤化が進行するに伴って動摩擦係数へ及ぼす表面粗さの影響が顕著になると同時に、動摩擦係数が最大となる表面粗さが大きくなる傾向がみられた。

(2) 動摩擦抵抗力に影響する諸要因の考察

降雪によって屋根面に堆積した雪は、その直後に滑雪することが稀であり、数時間あるいは数日後に滑雪現象が発生する。すなわち、滑雪現象が発生した場合における屋根雪は、しまり雪やざらめ雪のように変態した雪質であり、新雪での滑雪現象の発生は考えにくい。ここで、前述の図-6 で示した粒径100~500 μm (しまり雪) 以上の雪質で動摩擦係数が減少する傾向、および動摩擦係数が最大となる表面粗さが湿潤状態に影響されることの要因について考えると次のようになる。

屋根雪と屋根葺材との湿潤状態における摩擦現象には、雪粒と屋根葺材との直接接触による境界摩擦、雪粒と屋根著材とが接触していない空隙部に融雪水が介在するために生ずる潤滑摩擦の2つの摩擦現象が関与している。湿潤化が進行する過程における摩擦抵抗力をこの2つの摩擦現象の混合摩擦として、その抵抗力を模式的に示すと図-8 となる。図のように、乾燥状態の摩擦抵抗力は境界摩擦による抵抗力 a のみが作用する。滑雪界面が湿潤した状態になると、雪粒間あるいは雪粒と屋根著材との接触摩擦部の空隙内に融雪水が介在することによって、その水の粘着抵抗力 b が付加作用する。その空隙部全てが水で飽和した状態になるときに最大の摩擦抵抗力となり、それ以上の融雪水が発生すると水は直接接触による境界摩擦を減少させる作用をする。雪粒と屋根著材との直接接触部がなくなると、融雪水が滑雪界面を満たす状態となり、その水量増加に伴って摩擦抵抗力はさらに減少する。

以上のような摩擦特性を基に前述した図-5, 6の結果を説明すると次のようになる。滑雪界面付近の雪は、湿潤化することによって雪粒間あるいは雪粒と屋根著材との粘着力が増加する。すなわち融雪初期の W1から滑雪界面が湿潤化した W3までの状態では、雪

が徐々に融雪することで滑雪界面付近の雪の含水量が上昇して、滑雪に対する粘着抵抗力が増加するために動摩擦係数が増加している。また、W4の状態では十分な融雪水によって、雪水体の飽和する含水量を越える湿潤状態になるために、その水は雪粒と屋根著材との直接接触の面積を減少させる作用をして、雪粒径の変化による動摩擦係数への影響が小さくなっていると考えられる。粒径が1~2mm程度のざらめ雪 2 がしまり雪などの粒径が小さな雪質に比べて動摩擦係数の増減が小さいことの要因として、ざらめ雪 2 の場合、雪粒径が大きく毛管現象が発生し難いために、雪の中に捕水できる水分量が小さくなり滑雪界面が融雪水で満たされやすいことが挙げられる。さらに、粒径が大きい場合において湿潤化に伴う雪粒間の粘着力が小さくなることも、この要因と考えられる。図-7 でみられた湿潤の程度に応じて動摩擦係数が最大となる屋根著材の表面粗さが異なることの要因は、境界摩擦の抵抗力となる材料表面の凹凸部の雪が融雪水で飽和するときに摩擦抵抗力が最大となることが考えられる。すなわち、平滑な屋根著材ではその状態となるのに必要な水量が少なく、粗い材料では水量が多く必要となる。これらのことから、経時的に雪粒が粗大化する現象および滑雪界面が十分に湿潤す

図-7 屋根著材の表面粗さと動摩擦係数との関係

図-8 滑雪界面の湿潤化に伴う動摩擦抵抗力の変化

図-9 氷ブロックとそれぞれの雪質との動摩擦係数の違い

ることは、動摩擦抵抗力を減少させる効果を持っている。従って、屋根雪の経時的な雪質変化は、滑雪の促進に有効な作用を及ぼすと言える。

(3) 氷ブロックを用いた滑雪抵抗力の評価

屋根葺材の滑雪性能を評価する手法として、氷ブロックを用いて動摩擦係数を評価することは、雪氷体の製作が比較的簡便であり、その物性が安定していること、さらには自然積雪のように採取期間に左右されないことなどの利点がある。ここで、屋根雪と屋根葺材との界面が湿潤化してゆく過程における氷ブロックと各雪質との動摩擦係数の違いを整理すると図-9になる。なお、図中の縦軸に示す動摩擦係数比は、氷ブロックを基準とした場合の各雪質の場合の比である。図のように、試料表面が平滑な場合における W3の状態をみると、しまり雪で氷ブロックの5.0程度を示し、ざらめ雪2では1.5程度となる。このように、動摩擦係数は雪粒子の粗大化に伴って氷ブロックで得られる値に近づく傾向を示す。試料表面の粗度が大きい場合についてみると、その動摩擦係数は小さくなるものの、平滑な試料と同様の傾向となる。ここで、融雪初期の状態である W1では、試料表面の粗度に関わらず、しまり雪の動摩擦係数が氷ブロックに比べて大きくなる傾向がみられる。この要因としては、しまり雪は比較的小さな雪粒子が密に配置されているので、融雪水の捕水性が高く、滑雪界面が湿潤となるために要する融雪量が他の雪質よりも多くなることが考えられる。また、捕水している雪ブロックの下面では、その雪粒子間の付着力が大きくなることも動摩擦係数が大きくなる要因と考える。以上のように、氷ブロックから得られる動摩擦係数と経時的に変化する雪質の動摩擦係数とを比較すると、しまり雪のように雪粒子が小さく密に配置された雪質や融雪初期の状態における動摩擦係数は、氷ブロックの場合と比べてその差が大きくなる。しかし、雪粒子が粗大化したざらめ雪2では動摩擦抵抗に及ぼす融雪水の影響が小さく、この雪質での動摩擦係数は氷ブロックで得られる値に近くなることから、雪粒子が粗大化した状態においては、氷ブロックを用いた滑雪性の評価が可能と考える。

5. まとめ

屋根上積雪荷重を制御する場合、屋根上に堆積した雪を一定期間内で規則的に排除する必要がある。本研究では、滑雪現象を利用した方法で荷重制御する場合の基礎資料を提示することを目的に、屋根上に積雪した後の一定期間における雪質変化が滑雪抵抗に及ぼす影響について検討した。その結果、屋根雪下層の雪粒は経時的に粗大化し、その雪質は1週間程度で粒径1~2mm程度のざらめ雪となることが観測できた。この現象による滑雪特性について評価した結果、雪質変化に伴う滑雪抵抗はしまり雪で最大となり、その雪質では、滑雪界面の湿潤化の影響を大きく受ける。さらに、雪粒が粗大化したざらめ雪になると、動摩擦抵抗は減少し、滑雪界面の湿潤化の影響が小さい。このように、しまり雪以上の雪粒径となれば、その雪粒が粗大化するに伴って滑雪抵抗が減少することを考えると、屋根雪の経時的な雪質変化は滑落雪の促進に有効な現象と考える。

今後は、滑雪現象を規則的に制御する手法として、屋根雪下層の雪粒の粗大化を促進するために有効な小屋裏温度環境あるいは屋根葺材の表面特性などを明らかにする必要がある。

なお、本研究の一部は、1997年度文部省科学研究費基盤研究C(代表者：苔米地 司)で実施したものである。

参考文献

- 1) 豊田裕道：園芸施設の積雪荷重見直しと新構造ハウスの傾向, 第12回農業施設研究会, pp.25-40, 1997.7
- 2) 倉橋 勲, 他5名：(仮称)但馬ドームの積雪荷重の検討, 日本建築学会学術講演梗概集 B-1, pp.119-120, 1997.9
- 3) 日本建築学会編：昭和56年豪雪被害調査報告, pp.276-278, 1981.12
- 4) 日本建築学会編：建築物荷重指針・同解説, pp.197-200, 1993.6
- 5) 前田博司, 他3名：平板上の自然積雪の滑雪性状について, 第11回日本雪工学会大会論文報告集, pp.35-38, 1994.11
- 6) 苔米地 司, 高倉政寛, 伊東敏幸：屋根葺材の表面粗さが滑雪現象に及ぼす影響, 日本雪工学会誌, Vol.12, No.3, pp.3-9, 1996.7
- 7) 伊東敏幸, 苔米地 司, 星野政幸：劣化した塗装鋼板の表面性状と滑雪性について, 日本雪工学会誌, Vol.10, No.2, pp.2-10, 1994.4
- 8) 渡辺正朋, 平井和喜：屋根葺材と屋根雪の摩擦に関する研究, (その1) 主要な屋根葺材と氷ブロックとの静摩擦, 日本雪工学会誌, 第3号, pp.1-11, 1987.6
- 9) 渡辺正朋, 平井和喜：屋根葺材と屋根雪の摩擦に関する研究, (その2) 屋根葺材に対する雪氷の滑走速度および動摩擦, 日本雪工学会誌, 第9号, pp.4-15, 1988.12
- 10) 山形敏明, 苔米地 司：屋根雪落雪事故の発生要因について, 第12回日本雪工学会大会論文報告集, pp.35-38, 1996.1
- 11) 竹中隆一, 他3名：積雪寒冷地域における膜ドームの膜上積雪処理に関する研究その2, 自然落雪と温風融雪の効果に関する解析, 第9回寒地技術シンポジウム講演論文集, pp.7-12, 1993.12
- 12) 苔米地 司, 他3名：屋根雪の滑雪現象に関する基礎的研究, 日本雪工学会誌, Vol.11, No.2, pp.2-9, 1995.4
- 13) 伊東敏幸, 苔米地 司, 三橋博三：屋根葺材と屋根雪の凍着性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第470号, pp.43-51, 1995.4
- 14) 前野紀一, 福田正巳編：基礎雪氷学講座 I, 雪氷の構造と物性, 古今書院, pp.132-142
- 15) 対馬勝年：水に浸った雪の粗大化, 日本雪氷学会誌, 第40巻4号, pp.1-11, 1978.12
- 16) 福沢卓也, 秋田谷英治：しもざらめ雪層の急速形成過程の観測, 低温科学, 物理編, 第50輯, 1991.11

(1997年9月10日原稿受理, 1998年3月9日採用決定)