

# 膜材の表面粗さが滑雪特性に及ぼす影響について

苫米地 司<sup>1)</sup> 伊東 敏幸<sup>2)</sup>  
高倉 政寛<sup>3)</sup> 山口 英治<sup>4)</sup>

## 梗 概

本研究では、膜構造物における屋根雪処理の滑雪処理による屋根上積雪荷重制御方法を確立することを目的に、膜材の表面性状が滑雪抵抗力に及ぼす固有の影響、雪質が滑雪現象に及ぼす影響について検討した。その結果、屋根雪の滑雪開始条件を支配する凍着強度と材料表面における凹凸の平均間隔を示す $S_m$ との関係は極大値を持つ山形分布となり、 $S_m$ の大きい膜材は他の屋根葺材よりも小さな値となる。膜材における屋根雪の滑走持続を支配する摩擦係数と含水率との関係は極大値を持つ山形分布となり、界面の水分量が多くなると摩擦係数が大きくなる傾向を示す。すなわち、表面粗さの大きい膜材は凍着強度を除去する程度の熱エネルギーを与えるだけで滑雪現象が発生し、持続することを示している。これらの膜材固有の滑雪特性を十分に考慮した屋根雪処理計画を行うことにより屋根上積雪荷重の低減が可能と考える。

## 1. はじめに

大規模構造物を積雪地域に建設する場合、屋根上積雪荷重が設計上の大きな外力となる。そのため、現行の建築基準法施行令（第86条）では、雪止めがない屋根で屋根勾配が30(deg.)を越える場合、その勾配に応じた積雪荷重の低減を認めている。しかしながら、現在建設が進められている100mスパン級の大規模膜構造物の場合、屋根面全体の勾配を30(deg.)以上にすると、建物高が極めて高くなるなどの設計上の問題で30(deg.)以下の勾配を採用する例が多い。従って、現状では屋根勾配による積雪荷重の低減は認められないこととなる。

膜構造物では、透過性を保つために図1のように構造物の内部から熱エネルギーを与えるなど何らかの方法で屋根雪処理を行うのが一般的である<sup>1)</sup>。これまでの屋根雪の滑雪現象に関する研究によれば、滑雪現象は、屋根葺材と屋根雪との着氷性を示す凍着強度などの滑雪抵抗力に支配され<sup>2)</sup>、これらの滑雪抵抗力は屋根葺材の表面粗さやはっ水性を示す接触角に左右され

ることも明らかとなっている<sup>3), 4), 5), 6)</sup>。従って、滑雪現象は、建築基準法施行令に明記されている屋根勾配のみでなく屋根葺材の材種による影響も受けると考えなければならない。

一方、融滑雪による屋根雪処理では、屋根面に熱エネルギーを与えるため、屋根葺材との界面付近の雪が変質しながら滑雪現象が発生する。これまでの研究をみると、変質した雪が滑雪現象に及ぼす影響として、雪粒子の形状的な分類（新雪等）や雪密度を用いて検討が行われている<sup>7)</sup>。しかしながら、これらの指標のみでは、界面付近における雪の変質の大部分を占める水分の発生状況が滑雪現象に及ぼす影響を把握することが難しい。

本研究では、膜構造物における屋根雪の滑雪処理による屋根上積雪荷重制御方法を確立することを目的に、膜材の表面粗さが滑雪抵抗力に及ぼす影響、膜材近傍の雪質が滑雪抵抗力に及ぼす影響について検討した。

1)北海道工業大学教授・工博 2)北海道工業大学助手  
3)北海道工業大学大学院 4)太陽工業(株)・工修

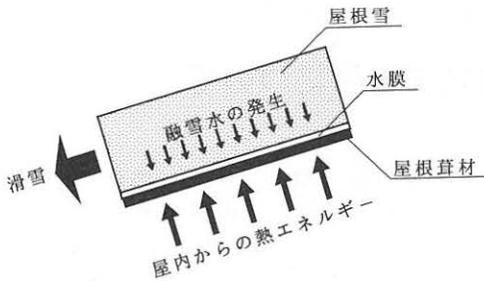


図1 融滑雪による屋根雪処理

## 2. 研究方法

### 2.1 屋根葺材の表面粗さ特性が滑雪抵抗力に及ぼす影響に関する実験

表面粗さが滑雪に及ぼす固有の影響を検討する場合、接触角が同程度の材料を用いる必要がある。本実験では、液滴法による蒸留水の接触角が79~83(deg.)で同程度の値を示した耐水ペーパー(80~2000番)を用いて表面粗さ特性が凍着強度、摩擦抵抗力に及ぼす影響について検討した。表面粗さは、触針式測定法によって中心線平均粗さ(Ra)、10点平均粗さ(Rz)および凹凸の平均間隔(Sm)について測定した。

表1に表面粗さと滑雪性に関する実験シリーズを示す。実験は凍着強度、静摩擦および動摩擦係数について測定した。凍着強度は、表面温度が約0℃の材料上に設置した塩ビ管(内径31mm)に10mmの高さまで水道

水を注いで、低温室を-10℃に設定して材料表面に氷を付着させた。その後、付着した氷を強制的に極めて低速でせん断剥離させ、剥離時の荷重をロードセルによって測定した。静摩擦係数は、あらかじめ作製した氷ブロック(直径120mm、重量320g)を表面温度0℃の材料上に設置した後、平板傾斜法(材料を傾斜させて氷ブロックが動き始める勾配から算出)によって測定した。動摩擦係数は、表面温度0℃の材料上に静摩擦係数の測定と同一の氷ブロックを設置した後、氷ブロックを水平移動させて、屋根葺材との界面に発生する抵抗力をロードセルによって測定した。これまでの研究によれば、動摩擦係数は、滑雪の速度に依存し50mm/min以下で小さくなる傾向を示す。この速度以上では、若干の増加傾向を示すものの大きな変化がみられない<sup>8)</sup>。このことから、動摩擦係数実験における水平移動の速度は60mm/minとした。

### 2.2 屋根葺材と屋根雪との界面付近における雪質が滑雪抵抗力に及ぼす影響に関する実験

前述のように、大規模膜構造物の屋根雪処理では、屋内から熱エネルギーを与えて融滑雪をさせるのが一般的である。従って、屋根雪は、融雪水の影響で含水率が上昇しながら滑雪することとなる。このため、本実験では、雪の水分量を表す含水率を用いて、界面付

表1 表面粗さと滑雪性に関する実験シリーズ

測定項目	耐水 $\text{H}^{\circ}-\text{H}^{\circ}$ の番数											
	80	120	150	180	240	320	400	500	600	800	1000	1500
静摩擦係数	● ————— (平板傾斜法で測定) ————— → ●											
動摩擦係数	● ————— (氷ブロックを水平移動させて測定) ————— → ●											
凍着強度	● ————— (せん断剥離させて測定) ————— → ●											
表面粗さ	● ————— (接触式測定法でRa, Rz, Smを測定) ————— → ●											
接触角	● ————— (液滴法で測定) ————— → ●											

表2 界面付近の雪質と滑雪性に関する実験シリーズ

試料 CODE	屋根葺材の名称	静摩擦および動摩擦係数					
		自然雪への投入水量(g)					
		0	10	30	50	70	90
M	膜材(4フッ化エチレンコーティングガラス繊維布)	●	●	●	●	●	●
FG	フロート板ガラス	●	●	●	●	●	●
P	着色亜鉛鉄板(ホリエステル樹脂光沢)	●	●	●	●	●	●
S	冷間圧延ステンレス鋼板	●	●	●	●	●	●
雪氷体の含水率(カロリーメーター法で測定)		●	●	●	●	●	●

近の雪質が滑雪現象に及ぼす影響について検討した。なお、雪の含水率はカロリメーター法によって測定を行った。

表2に界面付近の雪質と滑雪性に関する実験シリーズを示す。実験には膜材(M材)の他に比較材料としてステンレス材(S材), 着色亜鉛鉄板(P材)およびフロート板ガラス(FG材)を用いて実施した。雪氷体は、屋根葺材上に塩ビ管(内径120mm, 高さ15mm)を設置して屋根葺材表面温度を0℃まで冷却させた後、所定の水量を投入した自然雪を入れて作製した。なお、実験は、静摩擦および動摩擦係数について測定した。静摩擦係数に関する実験は、上述の条件で設置した雪氷体上に30kgf/m<sup>2</sup>(積雪深15cm→ $\rho=0.2\text{g/cm}^3$ , 10cm→ $\rho=0.3\text{g/cm}^3$ を想定)の重りを載せて、平板傾斜法によって測定した。動摩擦係数に関する実験は、静摩擦係数と同様の条件で屋根葺材上に雪氷体および重りを設置し、2.1項の実験と同様に60mm/minの速度で雪氷体を水平移動させ、雪氷体の滑動抵抗力をロードセルによって測定した。

### 3. 研究結果

#### 3.1 屋根葺材表面粗さ特性が滑雪抵抗力に及ぼす影響

一般に、屋根葺材の表面粗さと滑雪抵抗力との関係を検討する場合、中心線平均粗さ(Ra)および10点平均粗さ(Rz)を表面粗さの指標に使用する。しかし、これまでの研究によれば、これらの指標のみでは滑雪抵抗力との関係を十分に説明できないことが明らかとなっている<sup>4)</sup>。このことから、本研究では表面粗さの指標としてRa, Rzと同時に凹凸の平均間隔を示すSmを用いて、表面粗さと滑雪抵抗力との関係について検討した。

図2~4に表面粗さと摩擦係数との関係を示す。これらの図をみると、表面粗さRa, Rz, Smと摩擦係数との関係は、Ra=10~20 $\mu\text{m}$ , Rz=50~100 $\mu\text{m}$ , Sm=300~500 $\mu\text{m}$ を分岐点に両者の関係が異なる。これらの分岐点までは、表面粗さを示すそれぞれの値の増加に伴い、摩擦係数は増加傾向を示す。これらの分岐点を越えると、表面粗さを示すそれぞれの値の増加に伴い摩擦係数は減少傾向を示す。これらの摩擦係数に関する実験結果と一般の屋根葺材を用いて同様の実験を行った結果とを対比すると、RaおよびRzを指標とした場合には両者の関係が大きく異なる。これに対して、Smを指標とした場合は、両者の関係はほぼ同一となる。RaおよびRzは、粗さ成分の深度に依存する指標である。これ

に対し、Smは凹凸の間隔に依存する指標である。これらのことから、摩擦係数は表面粗さの凹凸の間隔に大きく影響を受けていると考える。

図5~7に表面粗さと凍着強度との関係を示す。これらの図をみると、表面粗さRa, Rz, Smと凍着強度との関係は、先に示した摩擦係数の場合の分岐点とほぼ

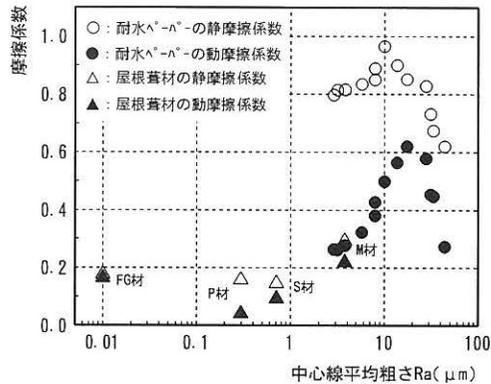


図2 Raと摩擦係数との関係

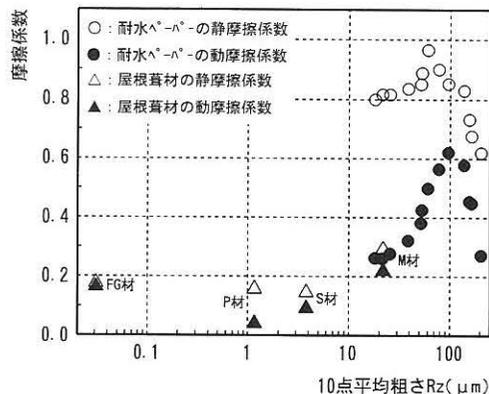


図3 Rzと摩擦係数との関係

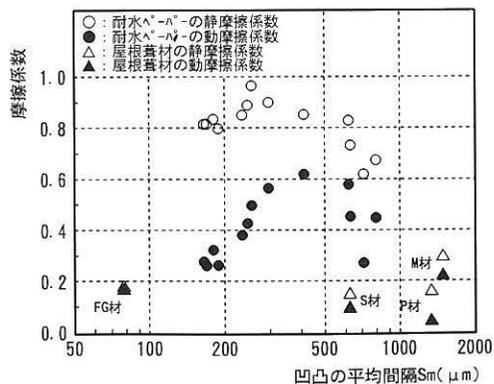


図4 Smと摩擦係数との関係

同一の分岐点を持つ分布となる。これらの凍着強度に関する実験結果と屋根葺材を用いて同様の実験を行った結果とを対比すると、RaおよびRzを指標とした場合には、両者の関係が大きく異なる。ここで、材料表面のはっ水性を示す接触角は、耐水ペーパー：78~83(deg.)、M材：66.3、S材：65.5、P材：58.3となり、これらの最小値は最大値の約7/10である。これに対し、FG材は14.4(deg.)で、先に示した材料に比べて約1/6~1/4と非常に小さい。従って、FG材で得られた凍着強度は接触角の影響を大きく受けているため、表面粗さの影響のみでは論じられない。凹凸の平均間隔Smの場合をみると、FG材以外は両者の関係がほぼ同一となる。このことから、表面粗さが凍着強度に及ぼす影響を検討する場合、Smを用いる必要があると考える。

### 3.2 屋根葺材と屋根雪との界面付近における雪質が滑雪抵抗力に及ぼす影響

写真1に実験に用いた雪氷体の含水状況を示す。なお、写真に示す雪氷体は含水状況が把握しやすいように着色してある。写真を見ると投入した水量が増加するに伴い、雪氷体の含水率が上昇している様子がわかる。含水率37%、53%の場合における屋根葺材と雪氷体との界面を観察すると余剰水がしみ出している状態であった。

図8に雪氷体の含水率と摩擦係数との関係を示す。図のように、M材の場合は、含水率が増加するに伴い摩擦係数が増加する傾向を示し、含水率が約37%すなわち換算密度が0.66g/cm<sup>3</sup>以上になると減少する傾向を示す。同様に、P材の場合は含水率が12~20%すなわち換算密度が0.30~0.42g/cm<sup>3</sup>までは摩擦係数が増加する傾向を示すが、含水率が約20%以上になると減少する傾向を示す。これに対し、FG材の場合は、雪氷

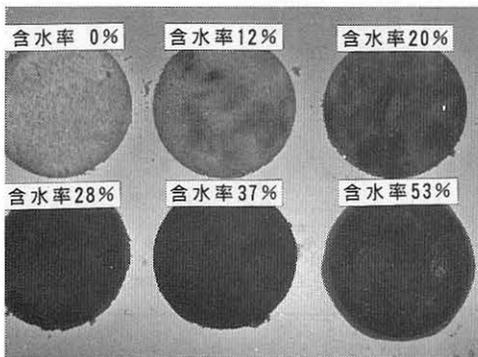


写真1 雪氷体の含水状況

体の含水率が増加すると摩擦係数が減少する傾向を示す。なお、S材の場合はP材に類似した傾向を示す。従って、屋根葺材と屋根雪との界面付近における雪質(含水率)は、摩擦係数に大きな影響を与えている。さらに屋根葺材の違いによる固有の特性を持っていると考えられる。

次に、滑雪の持続に影響を及ぼす動摩擦係数が最大

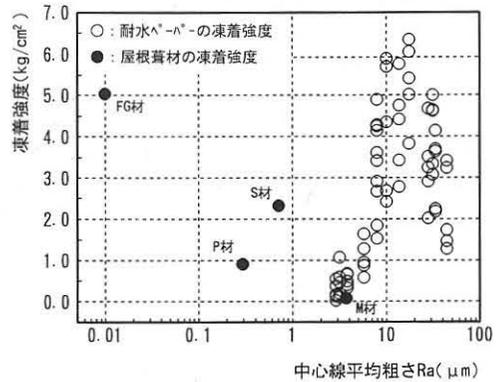


図5 Raと凍着強度との関係

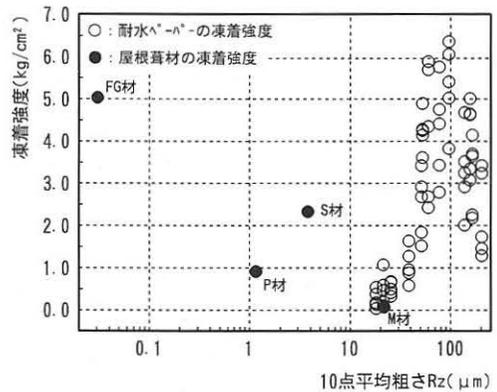


図6 Rzと凍着強度との関係

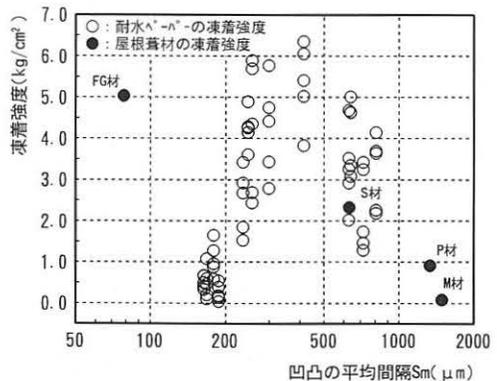


図7 Smと凍着強度との関係

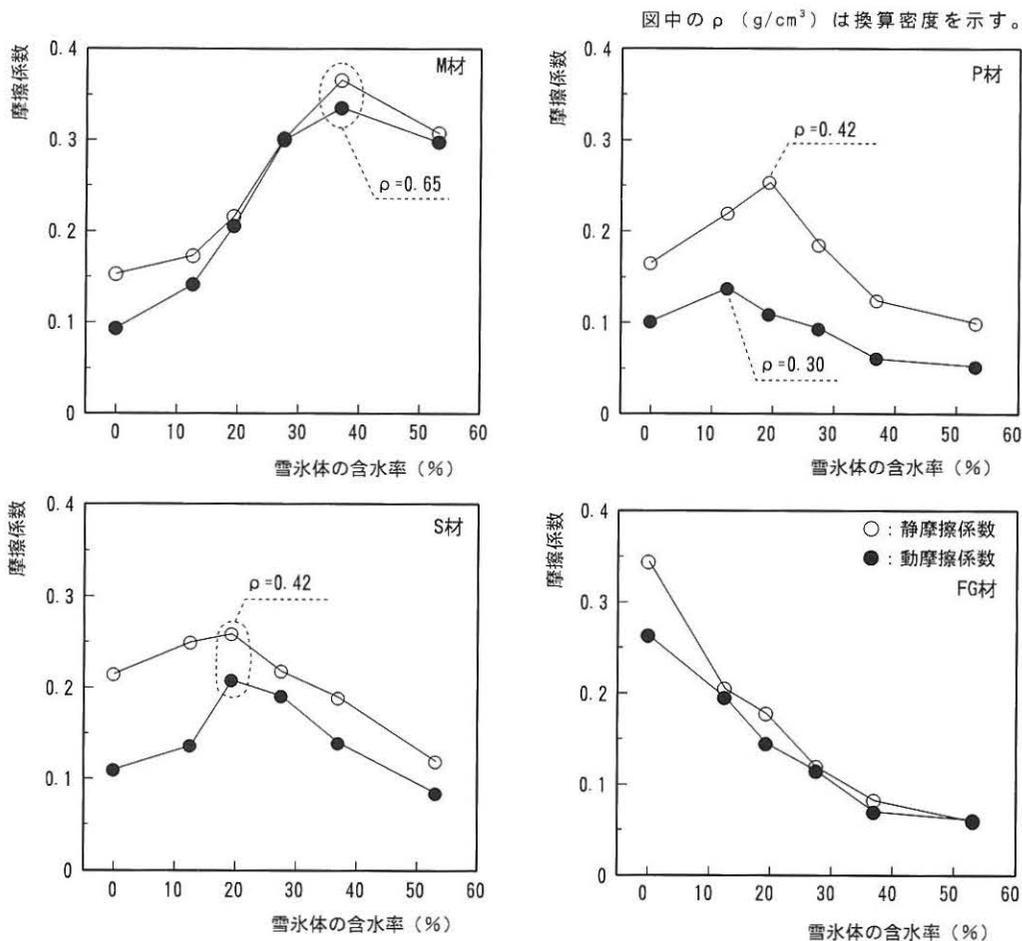


図8 雪氷体の含水率と摩擦係数との関係

となる含水率と表面粗さとの関係を図9に示す。なお、この図は、図8において含水率と動摩擦係数との関係が山形の分布を示したM材、P材およびS材について示してある。図のように、動摩擦係数が最大となる含水率が大きいほどRa、Rzが大きくなる。Smについては、明らかな相関関係がみられない。この傾向は、滑雪の開始に影響を及ぼす静摩擦係数についても同様であった。3.1項で示した通り、氷ブロックを用いた摩擦係数はSmの影響を大きく受けている。これらのことから、屋根雪と屋根葺材の界面状態によって、摩擦係数に影響を及ぼす表面粗さの成分が異なると考える。

図10に屋根葺材と屋根雪との界面付近の模式図を示す。粘性に関する法則によれば、2つの平板間に水膜が介在する場合、水膜の厚さが大きくなるほど、平板を接線移動させるために必要な力は小さくなる<sup>9)</sup>。従

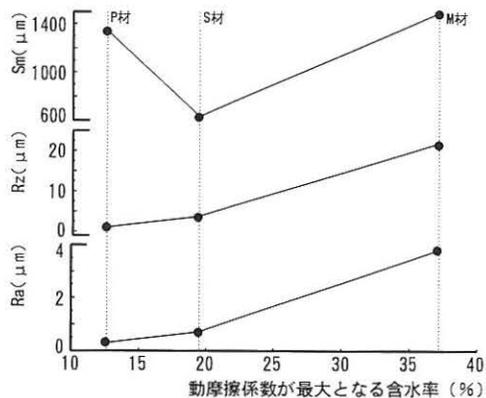


図9 動摩擦係数が最大となる含水率と表面粗さとの関係

って、図のように屋根葺材と雪との界面に一樣な水膜が介在する状態（粗さ層に満水する状態）になれば、

摩擦係数は、表面粗さの粗さ成分を越える水膜の厚さに支配されることとなる。図8に示した摩擦係数の減少領域（M材の場合は含水率約37%以上）は、この法則で説明できる。屋根葺材と雪との界面に一樣な水膜が介在する以前は、図9に示したように表面粗さRa、Rzが小さな材料の場合、摩擦係数が最大となる含水率が小さい。これは、一樣な水膜の形成に必要な水量すなわち、粗さ成分を埋没させるための水量が少ないことが要因と考える。これに対し、表面粗さが大きな材料は、一樣な水膜の形成に必要な水量が大きいため、摩擦係数が最大となる含水率が大きくなる。そのため、摩擦係数の減少領域に至るまでの水量が大きくなることを考える。

これらのことから、構造物の内部から熱エネルギーを与えて屋根葺材と雪との界面に水膜を発生させ、滑雪を促進させる方法で屋根雪処理を行う場合、屋根葺材固有の表面性状に対応した熱エネルギーを与えることが重要となる。表面粗さの大きなM材の場合、凍着強度がなくなる程度の熱エネルギーを与えて雪が水分を含まない段階で滑雪処理を行うことが必要である。これに対して、表面粗さの小さなFG材の場合は水膜が増加するに伴い、徐々に摩擦係数が小さくなる。そのため、M材に比べて持続的に熱エネルギーを与えて滑雪処理することが必要と考える。

#### 4. まとめ

本研究では、膜構造物における屋根雪処理の滑雪処理による屋根上積雪荷重制御方法を確立することを目的に、膜材の表面性状が滑雪抵抗力に及ぼす固有の影響、雪質が滑雪現象に及ぼす影響について検討した。

その結果、屋根雪の滑雪開始条件を支配する凍着強度は表面における凹凸の平均間隔を示す $S_m$ の影響が最も大きいことが明らかとなった。屋根葺材の表面粗さと凍着強度との関係は極大値を持つ山形分布となり、 $S_m$ の大きい膜材は他の屋根葺材よりも小さな値となる。すなわち、他の屋根葺材よりも滑雪しやすい材料であることを示している。

屋根雪の滑走持続を支配する摩擦係数は、界面の雪質によって大きく異なることが明らかとなった。界面が乾燥している状態では $S_m$ の影響が最も大きく、湿润状態ではRaやRzの影響が大きくなる。膜材における含水率と摩擦係数との関係は極大値を持つ山形分布となり、界面の水分量が多くなると摩擦係数が大きくなる

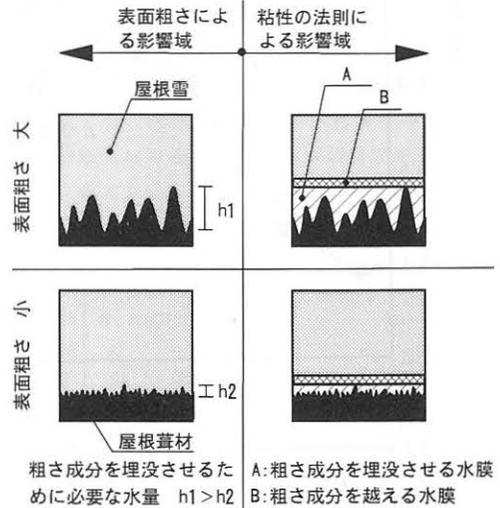


図10 屋根葺材と屋根雪との界面付近の模式図

傾向を示す。すなわち、表面粗さの大きい膜材は凍着強度を除去する程度の熱エネルギーを与えるだけで滑雪現象が発生し、持続することを示している。

これらの膜材固有の滑雪特性を十分に考慮した屋根雪処理計画を行うことにより屋根上積雪荷重の低減が可能と考える。

#### 参考文献

- 1) 三橋 博三他：雪荷重を考える，鉄鋼技術Vol.5, No.45, pp.23-33, 1992
- 2) 渡辺 正朋：屋根葺材の滑雪特性に関する基礎的研究，東北大学学位論文，pp.14-21, 1990.6
- 3) 渡辺 正朋他：屋根葺材と屋根雪の摩擦に関する研究—その2，日本雪工学会誌No.9, pp.4-15, 1988.12
- 4) 苫米地 司他：屋根上積雪荷重の制御に関する基礎的研究，日本雪氷学会誌「雪氷」第56巻3号，pp.215-222, 1994.9
- 5) 井上 力太他：固体面と積雪の付着力の実験，日本雪氷学会誌「雪氷」第17巻1号，pp.18-20, 1955
- 6) 水野 悠紀子他：湿雪の付着強度，低温科学・物理編第35巻，pp.135-145.
- 7) 苫米地 司他：膜構造物の屋根雪処理に関する基礎的研究，日本建築学会構造系論文報告集，pp.99-105, 1991.8
- 8) 伊東 敏幸他：劣化した屋根用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.76-84, 1994.4
- 9) 生井 武文：流れの力学，コロナ社，pp.3-7, 1976.10

---

INFLUENCE OF SURFACE ROUGHNESS OF MEMBRANE MATERIALS  
ON SNOW-SLIDING

Tsukasa Tomabechi <sup>1)</sup>  
Toshiyuki Ito <sup>2)</sup>  
Masahiro Takakura <sup>3)</sup>  
Hideharu Yamaguchi <sup>4)</sup>

SYNOPSIS

The purpose of this paper is to propose a reduction method of snow load on a roof by sliding snow with a heater. According to recent papers, snow-sliding is known to be much influenced by the adfreezing force and friction between the snow and membrane the roofing materials. We examined the influence of the surface property and the condition of snow on the force.

The results may be summarized as follows:

- 1) The friction was influenced both by the surface roughness of roofing materials and by the snow-water content.
- 2) The adfreezing force was influenced by the contact angle between the water/materials and the surface roughness.

Therefore, necessary heat capacity should be different with each roofing material to keep snow-sliding smooth with a heater. If these are taken into consideration, the reduction of snow load on a roof is possible.

---

1)Prof.,Hokkaido Institute of Technology, Dr.Eng.

2)Research Assoc.,Hokkaido Institute of Technology

3)Graduate Student, Faculty of Eng.,Hokkaido Institute of Technology

4)Taiyo Kogyo Corporation,M.Eng.