膜構造物の屋根雪処理に関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON SLIDING OF SNOW ON THE ROOF OF MEMBRANE STRUCTURE

苫米地 司*, 山口英治**, 伊東敏幸***, 星野政幸****

Tsukasa TOMABECHI, Hideharu YAMAGUCHI, Toshiyuki ITOU and Masayuki HOSHINO

The purpose of this experimental study is to obtain basic data on snow load and management of snow on the roof of membrane structure. This experiment was done using the indoor model and the outdoor apparatus. We studied properties of the roof snow under various conditions. By experiments of the indoor model we investigated characteristics on the static sliding friction and the kinetic sliding friction. As a result, it became clear that the causes which give great influence on the sliding snow properties were temperature, snow quality and snow load. By the outdoor experiments we investigated these results using factors as the index.

Keywords : *membrane structure, snow load, static sliding friction*

膜構造物, 雪荷重, 静摩擦

1. はじめに

近年, 北海道, 青森県および秋田県などの積雪地域では, 冬期間の明るい空間を求めて屋根葺材に透過性の優れたテフロンコーティングガラス繊維布膜(以下「膜材」という。)を使用した大スパン膜構造物が建設されている。積雪地域に膜材を用いた大スパン構造物を建設する場合, 屋根雪荷重や屋根雪処理方法が大きな問題となる。さらに, 透過性を考慮すると, できるだけ屋根面に雪がないことが望まれる。

これまでの膜構造物の屋根雪に関しては, 雪荷重の軽減や透過性の確保を目的として, 融雪処理に関する研究が中心に進められてきた^{1)~3)}。これらの結果をみると, ランニングコストの問題や膜材との界面に空洞が形成されて断熱作用を起こし, 融雪が進まなくなる現象などが指摘されている。

膜構造物は, ドーム型などのように勾配を持った屋根形状が多い。一般に, 勾配を持った屋根形状では屋根雪の滑雪現象がみられる。このようなことから, 近年, 膜材上の滑雪性状に関する研究が進められている⁴⁾。しかし, 実験例も少なく, 膜材上の滑雪性状に関する資料の蓄積が不十分な現状にある。

本研究では, 恒温室で実施した室内モデル実験と冬期間の屋外実験とを行って, 種々の条件下における膜材上の滑雪性状を検討した。これらの結果をもとに, 膜構造物の雪荷重評価や屋根雪処理に関する基礎資料を得ることを目的としている。

2. 実験方法

2.1 室内モデル実験

(1) 実験装置

冬期間の種々の温度条件を想定するために, 図一1に示す滑雪装置を恒温室に設置した。恒温室は $-30^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ の範囲において 0.5°C 単位で温度調節が可能である。本滑雪装置は, 滑動挙動の観察, 滑雪角度および滑雪速度の測定が容易な傾斜平板法を採用した⁵⁾。本装置は, 図のようにハンディウインチを巻き上げることににより傾斜台の角度を変えることができる。傾斜台には, 図二に示す速度測定用光センサーが5個取り付けられており, 有効滑走距離1750mmである。センサー読み取り精度は1/100秒である。

(2) 滑走モデル

一般に, 屋根葺材に接する旧雪の状態は, 氷粒状のざ

* 北海道工業大学建築工学科 助教授・工博

** 北海道工業大学建築工学科 大学院生

*** 北海道工業大学建築工学科 助手

**** 北海道工業大学建築工学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture, Hokkaido Institute of Technology

Research Assoc., Dept. of Architecture, Hokkaido Institute of Technology

Prof., Dept. of Architecture, Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

図-1 滑雪装置

図-2 氷モデル

写真-1 氷モデルの概要

らめ状、クラスト状および氷板状など多結晶で氷に近い状態にある^{5),6)}。このことを考慮して本研究では、滑走モデルとして氷板（以下「氷モデル」という。）を用いた。なお、膜材については、雪質の差異を検討するために、ざらめ雪を想定したクラッシュ状の氷（以下「ざらめモデル」という。）およびしまり雪（以下「雪モデル」という。）を滑走モデルとした。

氷モデルは、セメント試験用の三連型枠を用いて図-2および写真-1に示す厚さ20 mmの断熱材に厚さ20 mmの氷板を凍着させて作製した。ざらめモデルは、氷モデルの氷板にクラッシュ状の氷（粒径約1~3 mm程度）を厚さ5 mm程度凍着させて作製した。雪モデルは、自然状態の積雪からサンプリングして130×130×130

表-1 実験シリーズ

●：膜材，ポリカーボネイト，鉄板
○：ポリカーボネイト
▲：膜材

滑走モデル	積雪重量 (kg/m ²)	凍着時間 (分)	実験温度 (°C)					
			-10	-7.5	-5.0	-2.5	0.0	+2.5
氷	20	0	●	●	●	●	●	●
		1	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	
		20	○	○	○	○	○	
		40	○	○	○	○	○	
	40	0	●	●	●	●	●	●
		1	●	●	●	●	●	●
		5	●	●	●	●	●	
		20	●	●	●	●	●	
		40	●	●	●	●	●	
	60	0	●	●	●	●	●	●
		1	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	
		20	○	○	○	○	○	
		40	○	○	○	○	○	
	80	0	●	●	●	●	●	●
		1	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	
		20	○	○	○	○	○	
		40	○	○	○	○	○	
ざらめ	40	5	▲		▲	▲	▲	▲
		40	▲		▲	▲	▲	▲
		120	▲		▲	▲	▲	▲
雪	30	5	▲		▲	▲	▲	▲
		40	▲		▲	▲	▲	▲
		120				▲	▲	▲

mmに加工した。なお、いずれのモデルも重りを載せて種々の積雪重量を想定した。

(3) 実験シリーズ

表-1に、実験シリーズを示す。実験に用いた屋根葺材は、膜材の他に比較材料として表面が平滑なポリカーボネイトとフッ素樹脂コーティング鉄板（近年、積雪地域で屋根雪の滑雪を促進することを目的に多く使われている屋根葺材。以下「鉄板」という。）を用いた。氷モデルの実験は、膜材、ポリカーボネイトおよび鉄板を用いて、温度・積雪重量・凍着時間を変えて198種類の条件で実施した。ざらめモデル、雪モデルの実験は、膜材を用いて、それぞれ15種類、13種類の条件で実施した。

(4) 測定方法

実験は、各滑走モデルを屋根葺材に所定の時間凍着させた後、ハンディウインチを巻き上げて滑走モデルが滑り出した時点で止めた。その傾斜角をスラントルールで読み取った。滑雪と同時に光センサーで滑雪速度を測定した。なお、氷モデルおよびざらめモデルの場合、+2.5°Cを除き30分以上実験温度環境に置いた。雪モデルの場合、採取して直ちに実験を実施した。なお、いずれの実験も同一条件で6回実施した。

2.2 屋外実験

(1) 実験装置

屋外実験は、図-3に示す試験体を用いて写真-2に

図-3 試験体

写真-2 屋外実験の試験体設置状況（札幌市）

示すように屋外に設置した。図のように、試験体は断熱材（50 mm）内張りの木製チャンバー（900×1800×450 mm）の上に膜材を張り付けたものである。この木製チャンバーは、ヒーティングによる投入エネルギー量と積雪重量や外気温などの諸条件との関係を検討するために、チャンバー内部にヒーター（1 kw/h）を設置している。なお、チャンバー内部の温度は、サーモスタットで制御して一定に保つことができる。本実験では+30℃に設定した。

(2) 実験シリーズ

屋外実験は、札幌市（北海道工業大学構内）と長岡市（長岡工業高等専門学校構内）において、それぞれ5つの試験体を用いて「自然滑雪実験」と「融雪滑雪実験」とを実施した。札幌市では1987年、1988年の2冬期間、長岡市では1987年の1冬期間実施した。

(3) 測定方法

膜面上の積雪は、チャンバーを水平な状態で積もらせた。実験を開始する前に、図-3に示す位置で積雪深、積雪密度および積雪断面を観測した。その後、膜面からはみ出した雪を切り落とし、所定の角度にチェーンブロックで引き上げ固定した。

自然滑雪実験の傾斜角は、10°～65°の範囲で設定して滑雪状況を観察した。融雪滑雪実験の傾斜角は、札幌市

表-2 氷モデル、ざらめモデルおよび雪モデルにおける滑雪の有無

●：滑落した実験 ×：滑落しない実験 -：実験例なし

滑走モデル	屋根葺材	凍着時間(分)	実験温度(℃)					
			-10	-7.5	-5.0	-2.5	0.0	+2.5
氷	膜材	0	●	●	●	●	●	●
		1	●	●	●	●	●	●
		5	●	●	●	●	●	-
		20	●	●	●	●	●	-
		40	●	●	●	●	●	-
		120	-	-	-	-	-	-
	ポリカーボネイト	0	●	●	●	●	●	●
		1	●	●	●	●	●	●
		5	●	●	●	●	●	-
		20	●	●	●	●	●	-
		40	●	●	●	●	●	-
		120	-	-	-	-	-	-
	鉄板	0	●	●	●	●	●	●
		1	●	●	●	●	●	●
		5	●	●	●	●	●	-
		20	●	●	●	●	●	-
		40	●	●	●	●	●	-
		120	-	-	-	-	-	-
ざらめ	膜材	0	-	-	-	-	-	-
		1	-	-	-	-	-	-
		5	●	-	●	●	●	●
		20	-	-	-	-	-	-
		40	●	-	●	●	●	●
		120	●	-	●	●	●	●
雪	膜材	0	-	-	-	-	-	-
		1	-	-	-	-	-	-
		5	●	-	●	●	●	●
		20	-	-	-	-	-	-
		40	×	-	×	●	●	●
		120	-	-	-	×	●	●

の場合10°、20°および30°、長岡市の場合10°および20°～30°の範囲の任意の傾斜角に各々設定した。設定後は、滑雪するまでチャンバー内部をヒーティングして滑雪状況を観測した。なお、両実験とも、外気温、チャンバー内の温度および膜面温度を連続的に測定した。

3. 室内モデル実験結果

一般に、屋根雪には、滑雪開始までは凍着力、静摩擦力および上部連続積雪による引張力が作用し、滑雪開始後には動摩擦力が作用している^{5),6)}。本モデル実験の場合、前述の力の中で滑雪開始までは凍着力と静摩擦力が作用し、滑雪開始後は動摩擦力が作用している。これらの性状をまとめると、以下ようになる。

3.1 凍着力

表-2に、氷モデル、ざらめモデル（積雪重量40 kg/m²を想定したモデル）および雪モデル（積雪重量30 kg/m²）における滑雪の有無を示す。表中の●印は6回の実験中すべて滑雪した場合を示し、×印は6回の実験中4回以上滑雪しない場合を示す。同表のように、-2.5℃以下の場合、氷モデル・ざらめモデルは、膜材、ポリカーボネイトおよび鉄板のいずれの条件においても

滑雪している。しかし、膜材に雪モデルを用いた実験では凍着時間 40 分を超えると滑雪しない場合が多くなる。

一般に、雪の硬度や含水率は、密度の増加に伴い大きくなる⁷⁾。本実験に用いた各モデルの密度 ρ の平均値は、氷モデル $\rho=0.9$ 、ざらめモデル $\rho=0.4$ 、雪モデル $\rho=0.2$ である。これらの値から判断すると、本モデル中で密度の最も小さい雪モデルは硬度が小さく、自重で膜材表面の凹凸に凍着し、凍着力が大きくなる。さらに、低温状態で凍着時間が長くなると、硬度の小さい界面の雪は変態しながら膜面に凍り付いて、凍着力が大きくなり滑雪しにくくなると考えられる。

3.2 静摩擦係数

図—4 に、実験温度と静摩擦係数との関係の一例を示す。静摩擦係数 μ_s は、滑走モデルの質量 W 、滑雪角度 θ とおくと下式となる。

$$\mu_s = W \sin \theta / W \cos \theta = \tan \theta$$

図のように、氷モデルを用いた膜材の静摩擦係数は、いずれの実験温度においても 0.11 前後の小さな値となる。さらに、温度がマイナスの範囲では、ポリカーボネートの 1/2 程度、鉄板の 2/3 程度の値となり、他の屋根葺材よりも小さい値を示す。

ざらめモデルおよび雪モデルを用いた膜材の静摩擦係数は、前述の氷モデルよりも大きな値を示し、温度によっても大きく異なる。ざらめモデルでは、 0°C 以下で 0.2 前後の値を示し、温度が $+2.5^\circ\text{C}$ になると 0.32 となり、プラス側の温度で大きくなる傾向を示す。雪モデルでは、 -2.5°C で 0.21 となり最も小さな値を示す。 -2.5°C 以下の範囲では、温度が低いほど大きくなる傾向を示し、 -10°C で 0.33 となる。一方、 -2.5°C を超えると、ざらめモデルと同様に温度が高いほど大きくなる傾向を示し、 $+2.5^\circ\text{C}$ で 0.45 となる。温度がプラスの範囲で増加する傾向は、渡辺らの研究結果でも指摘されている⁵⁾。なお、積雪重量を変えた実験結果をみると、積雪重量の増加に伴って静摩擦係数が減少する傾向を示す。

一般に、氷は 0°C から -2.5°C 程度の範囲で圧力融解がおこる⁸⁾。この現象から考えると、雪モデルで

-2.5°C 、ざらめモデルで 0°C の場合、静摩擦係数が最も小さくなるのは微量の融雪水によるものと推察される。一方、 $+2.5^\circ\text{C}$ になると、過剰な融雪水によって膜材との間に吸着力が働き、静摩擦係数が大きくなっている。

3.3 動摩擦係数

図—5 に、動摩擦係数と実験温度との関係の一例を示す。動摩擦係数 μ_k は、重力加速度 g 、加速度 a 、滑雪角度 θ とおくと下式となる。なお、滑雪時の粘着抵抗力は、遠藤らの研究で $2.5 \sim 3.0 \text{ kg/m}^2$ と小さな値を示すことや本実験に用いた滑走モデルが小さく、同一の形状であることなどから考慮していない⁹⁾。

$$\mu_k = (g \sin \theta - a) / g \cos \theta$$

図のように、氷モデルを用いた膜材の動摩擦係数は、いずれの実験温度においても 0.06 前後とほぼ一定の値を示す。これに対し、ざらめモデルおよび雪モデルを用いた実験では、温度が高いほど小さくなる傾向を示す。氷モデルを用いた鉄板では膜材とほぼ同程度の値を示し、ポリカーボネイトでは -10°C で 0.16 となるが温度の増加に伴い減少する傾向を示す。 -2.5°C になると 0.05 となり膜材と同程度の値を示す。

動摩擦係数は、前述の静摩擦係数と同様に温度や雪質によって大きく異なる。この値は、温度が高いほど小さく、界面の雪質が氷板状の場合最も小さくなっている。

4. 屋外実験結果

前述の室内モデル実験で、膜材の滑雪に大きく影響を与える要因は、温度・雪質・積雪重量であることが明らかとなった。これらの要因を指標として、屋外実験結果を検討すると、以下ようになる。

4.1 自然滑雪実験結果

図—6 に、積雪重量と滑雪角度との関係を示す。滑雪した例は、いずれも膜材上の雪が一度に滑雪している。図のように、札幌市と長岡市のいずれの実験においても積雪重量の増加に伴い滑雪角度が減少する傾向を示す。滑雪後の膜材の付着面をみると、札幌市では微量の融雪

図—4 実験温度と静摩擦係数との関係
(凍着時間 5 分の場合)

図—5 実験温度と動摩擦係数との関係
(凍着時間 5 分の場合)

図—6 自然滑雪実験における積雪重量と滑雪角度との関係
注) 図中の*は、全層平均積雪密度 0.07 (g/cm³) の場合を示す。

写真—3 膜材に付着した雪の例

水を含んだざらめ状やクラスト状の多結晶、長岡市では水分を含んだしまり雪状になっている場合が多い。

これらの滑雪した実験の全層平均積雪密度をみると、いずれも 0.15 g/cm³ 以上の値である。ここで、一般的な新雪の積雪密度をみると、札幌市で 0.07 g/cm³、長岡市で 0.15 g/cm³ 程度である¹⁰⁾。札幌市の滑雪した積雪密度は、新雪の 2 倍程度となり、湿雪で水分の多い長岡市の積雪密度に近い状態である。

図中の*印の全層平均積雪密度は 0.07 g/cm³ 前後の値で、札幌市の一般的な新雪の積雪密度と同程度の値である。これらの滑雪後の膜面をみると、写真—3 に示すように厚さ 10 mm 程度の雪が付着した状態となっている。すなわち、これらの実験では、滑雪ではなく、凍着力が勾配 50° 前後で発生する雪のせん断力よりも大きいことによる剥がれ落ちであることを示している。滑雪しなかった例をみると、実験中の外気温が -5°C 以下の場合や全層平均積雪密度が 0.07 g/cm³ 前後で積雪重量が 10 kg/m² 以下の条件であった。

次に、実験中の外気温と滑雪角度の関係をみると、図—7 となる。外気温は、角度を設定してから滑雪までの 10 分ごとの平均値を用いた。図のように、外気温が高くなるに伴い滑雪角度が減少する傾向を示す。長岡市の外気温 0°C 前後でバラツキがみられるのは、積雪密度が 0.15~0.35 g/cm³ と広範囲にあるため、雪質の差や

図—7 自然滑雪実験における外気温の滑雪角度との関係
注) 図中の*は、全層平均積雪密度 0.07 (g/cm³) の場合を示す。

図—8 融雪開始から滑雪までの外気温、膜面温度およびチャンパー内温度の推移状況の一例

重量の差の影響を受けているためと考えられる。この結果をみると、膜材上の自然滑雪は、積雪重量、雪質および外気温の影響を大きく受けることが明らかである。

自然滑雪した膜面温度をみると、札幌で -2.5~0°C の範囲、長岡で 0°C 前後の値であり、圧力融解による微量の融雪水が発生する範囲である。さらに、滑雪後の界面をみると微量の融雪水や水分を含んだ雪質が観測されることなどから、滑雪するために界面が湿潤状態であることが必要である。これらの滑雪条件を具体的にみると、勾配 25° 以上、積雪密度 0.15 g/cm³ 以上、積雪重量 10 kg/m² 以上、外気温 -5°C 以上が目安になるであろう。

4.2 融雪滑雪実験結果

図—8 に、融雪を開始してから滑雪するまでの外気温、膜面温度およびチャンパー内温度の推移状況の一例を示す。図のように、ヒータリング開始後、膜面温度は +3°C 前後で 2 時間 30 分の間推移し、滑雪後は +10°C 前後まで上昇する。これらの資料をもとに投入エネルギー Q_s (kcal/m²) を下式で求めることができる。

$$Q_{si} = \Delta t \times (Q_h - Q_f - Q_w) - Q_r$$

$$Q_s = \sum_{i=1}^n Q_{si} / A$$

ここで、 Q_{si} : Δt 時間に与えた熱量、 Δt : 計測間隔時間、 Q_h : ヒーターの発熱量、 Q_f : 底面からの熱量ロス、 Q_w

：側面からの熱量ロス， Q_r ：チャンバー内の温度変化の蓄熱量， A ：膜面上の面積を示す。

図—9 に、融雪滑雪した実験の積雪重量と投入エネルギー量との関係を示す。図のように、札幌市での実験では積雪重量の増加に伴い投入エネルギー量が減少する傾向を示す。積雪重量 40 kg/m^2 以下は、勾配 20° の方が勾配 30° よりも投入エネルギー量が大きくなるが、積雪重量 40 kg/m^2 を超えると差がなくなる。勾配 30° ではいずれの実験でも滑雪したが、勾配 20° では融雪だけが進み滑雪せず、写真—4 に示すような氷堤が軒先に形成される場合が多い。勾配 10° ではいずれの場合も融雪だけが進み、滑雪しなかった。この現象は、前述の自然滑雪で勾配 25° 前後以上で滑雪していることから容易に理解できる。勾配 20° で滑雪しなかった例をみると、積雪重量が 15 kg/m^2 以下で積雪密度が新雪と近似した値の場合が多い。

長岡市の場合、自然滑雪実験で勾配 25° 前後で滑雪している。したがって、この傾斜角の範囲では融雪による効果がみられない。しかし、勾配 10° の例をみると、投入エネルギー量が 580 kcal/m^2 （積雪重量： 76 kg/m^2 ）と極めて多いが、滑雪する。同様の札幌市での実験と比較すると、長岡市では低勾配で融雪滑雪の効果がみられた。

図中の*印は、膜材と積雪との界面に薄い氷板を形成

図—9 融雪滑雪実験における積雪重量投入エネルギー量との関係
注) 図中の*は、界面に氷板を形成させた場合を示す。

写真—4 軒先に形成された氷堤

させて実施した実験結果である。この実験は、前述の室内モデル実験で雪モデルよりも氷モデルの方が滑雪角度が小さい現象を利用している。界面の氷板は、水平状態でチャンバー内の温度が一定になってから30分後にヒーターを切り、一昼夜屋外に放置して形成させたものである。滑雪後の界面をみると、いずれの場合も全面に薄い氷板が形成されており、その厚さは2～3 mm程度であった。このような氷板を形成させてから再融雪した場合の滑雪までの投入エネルギー量をみると、連続的にエネルギーを投入した場合の1/2程度の量である。

これらの融雪滑雪後の膜材との付着面をみると、前述の自然滑雪と同様にざらめ状やクラスト状の多結晶となっているが、結晶間に融雪水が多く含まれている。さらに、界面から10 mm程度の範囲が湿潤状態になっている。これに対し、界面に氷板を形成させた場合の滑雪後の膜材との付着面には、微量の融雪水が付着しているに過ぎない。これらの界面状況から判断すると、界面がざらめ状やクラスト状の多結晶で微細な空隙を含む不均一な層の場合、滑雪に必要な湿潤状態になるまでの投入エネルギー量は、空隙などの影響を受けて大きな値となっている。これに対し、界面が比較的均一な氷板の場合、少ない投入エネルギーで滑雪に必要な湿潤状態になっていると考える。しかし、過剰な融雪水が発生すると写真—4に示したような氷堤が形成されて、再融雪しても滑雪しにくくなる。したがって、この滑雪手法を取り入れる場合、氷板形成のためのエネルギー投入方法やその制御方法を十分に検討することが必要である。前述のように、2～3 mm程度の薄い氷板形成で投入エネルギー量の軽減がみられることから、この程度の氷板形成が目安であろう。

次に、外気温と投入エネルギー量との関係を見ると図—10となる。図のように、外気温が高くなるに伴い投入エネルギー量が減少する。特に、札幌の勾配 20° の場合が顕著である。外気温がプラスの範囲では、投入エネルギー量 500 kcal/m^2 以下と比較的小さい値であるが、外気温 -5°C 前後になると投入エネルギー量が前者の2倍以上の

図—10 融雪滑雪実験における外気温と投入エネルギー量との関係

1 000 kcal/m² 以上となることもある。このように、投入エネルギーが多くなると過剰な融雪水が発生し、写真—4に示したような氷堤を形成する危険性を含んでいる。したがって、低温下での融雪滑雪は過剰な融雪水を発生させない制御方法が必要となる。

5. まとめ

本研究は、室内モデル実験と屋外実験とで、膜材上の滑雪性状について検討した。これらの結果をまとめると、以下ようになる。

(1) 膜材と雪氷との凍着力は、界面の雪質、温度および凍着時間の影響を大きく受けている。特に、界面の硬度が小さい雪モデルでは、低温状態で凍着時間が長くなると、界面の雪が変態しながら膜面に凍り付いて、凍着力が大きくなり滑雪しにくくなると考えられる。

(2) 膜材と雪氷との静摩擦係数は、雪質、積雪重量および温度によって大きく異なる。雪質による差異をみると、界面が氷板状の場合に静摩擦係数が最も小さく、滑雪しやすい条件となる。この傾向は、積雪重量が大きくなるほど顕著である。温度による差異は、界面が氷板の場合には比較的小さいが、ざらめ状や雪になると-2.5°C~0°Cの範囲で静摩擦係数は小さくなる傾向を示す。また、界面が氷板状の場合、膜材の静摩擦係数は他の屋根葺材よりも小さな値を示す。

(3) 動摩擦係数は、静摩擦係数と同様に温度や雪質によって大きく異なる。この値は、温度が高いほど小さく、界面の雪質が氷板状の場合最も小さくなる。

(4) 自然滑雪するための条件は、勾配 25° 以上で積雪密度 0.15 g/cm³ 以上、積雪重量 10 kg/m² 以上、外気温 -5°C 以上が目安であろう。これに対し、融雪滑雪するための条件は、勾配 20° 以上で積雪重量 15 kg/m² 以上が目安であろう。さらに、いずれの滑雪方法においても滑雪するためには、界面が湿潤状態であることが必要である。

(5) 融雪滑雪をする場合、界面の雪質によって投入エネルギーが大きく異なる。界面がざらめ状やクラスト状の多結晶で微細な空隙を含む不均一な層の場合に投入エネルギーが多く、界面が比較的均一な氷板の場合には投

入エネルギーが少ない。しかし、低温時に過剰な融雪水が発生すると氷堤が形成されて滑雪しにくくなるため、エネルギー投入方法やその制御方法を十分に検討することが必要である。

これらの結果から判断すると、膜材は滑雪性状の優れた屋根葺材である。この特性を有効に生かした屋根雪処理方法、例えば、融雪滑雪の考え方を取り入れた屋根雪処理システムなどで積雪荷重の軽減は可能と考えられる。

なお、本研究の屋外実験を実施するにあたり、鹿島建設(株)技術研究所の本郷 剛氏、長岡工業高等専門学校の佐藤 和秀氏のご協力を得ました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川島 実ほか3名：空気膜構造（エアーサポートドーム）融雪実験第1報、第2報、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.787~800、昭和59年10月
- 2) 宮川保之ほか1名：空気膜構造棟に関する実験・研究その8 大型模型による融雪実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.629~630、昭和60年10月
- 3) 西 安信ほか2名：空気膜構造における融雪実験、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.895~896、昭和61年8月
- 4) (社)日本膜構造協会：富山県膜構造屋根融雪・落雪実験報告書Ⅱ、1990.7
- 5) 渡辺正朋ほか1名：屋根葺材と雪氷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の静摩擦、日本雪工学会誌、No.3、pp.1~11、昭和62年6月
- 6) 前田博司：金属板屋根における積雪の滑落、日本雪水学会誌、雪氷、41巻、3号、pp.199~204、1979.9
- 7) 木下誠一：積雪の硬度Ⅰ、低温科学、物理編19、pp.119~134、1960
- 8) 前野紀一ほか1名編：雪氷の構造と物理、古今書院、1986
- 9) 遠藤八十一ほか6名：屋根雪の滑落条件と飛距離、寒地技術シンポジウム'88講演論文集、pp.220~225、1988.11
- 10) 気象庁編：日本気候表（その2）、1982

（1990年12月6日原稿受理、1991年6月14日採用決定）