

膜材を用いた屋根の滑雪性状について

○山形敏明, 山田利行, 中島肇, 山口英治, 橋本茂樹, 苫米地司 (北海道工業大学)

1. はじめに

後楽園エアドーム完成以後, 図1に示すように北海道をはじめ, 青森県や秋田県などの積雪地域においても, 屋根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(以後「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。このような背景から, 近年, 膜材上の滑雪性状に関する研究が進められている¹⁾。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, 札幌市で実施した滑雪実験結果をもとに, 気象条件・積雪条件・投入エネルギー量などの諸条件が, 滑雪性状におよぼす影響を検討し, 膜構造物の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 実験装置

実験は, 図2に示す試験体を用いて写真1に示すように屋外に設置した。図のように, 試験体は断熱材(50mm)内張りの木製チャンパー(900×1800×450mm)上に膜材を張り付けたものである。この木製チャンパーはチェーンブロックを引き上げることにより角度を自由に変えることができる。なお, チャンパー内部はサーモスタットで制御され, 一定の温度に保つことができる。

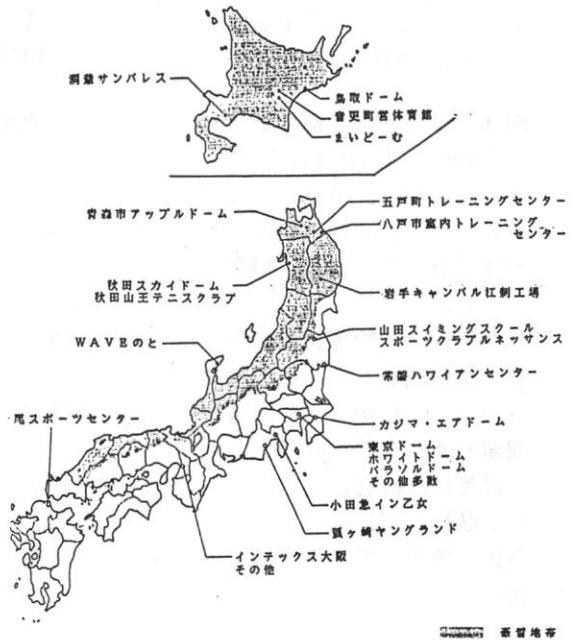


図1 膜構造物の建設地分布図

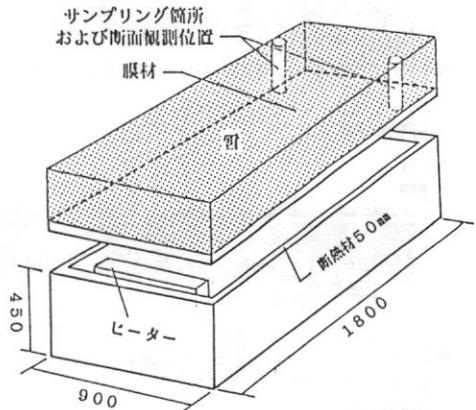


図2 試験体

2-2 実験シリーズ

実験は、札幌市（北海道工業大学構内）において、試験体を用い下記に示す実験を1987年、1988年、1991年の3冬期間実施した。

実験A：自然降雪実験

実験B：融雪降雪実験

2-3 測定方法

試験体を水平な状態にして雪を積もらせ、膜面からはみ出した雪を切り落とし、整形した後にチェーンブロックでゆっくり引き上げ固定した。なお、整形した後に所定の位置で、積雪深、積雪密度および積雪断面を測定した。

実験Aでは、傾斜角を 10° ～ 65° の範囲で任意に設定して滑雪状況を観測した。実験Bでは、傾斜角を 10° ～ 30° の範囲で任意に設定し、滑雪するまでチャンパ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、実験中の外気温および膜面温度を連続的に測定した。

3. 実験結果

3-1 自然降雪実験結果

図3に、実験Aにおける積雪重量と滑雪角度との関係を示す。図のように、積雪重量の増加に伴い滑雪角度が減少する傾向を示す。滑雪後の膜材との付着面をみると、ザラメ雪やクラスト状の多結晶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、 $0.10\text{g}/\text{cm}^3$ ～ $0.19\text{g}/\text{cm}^3$ 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 $0.07\text{g}/\text{cm}^3$ 程度²⁾で、滑雪した積雪密度は、新雪の2倍程度となっている。

なお、滑雪しなかった例をみると、実験中の外気温が -5°C の場合や全層平均積雪密度が $0.07\text{g}/\text{cm}^3$ 前後で積雪重量が $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以下の

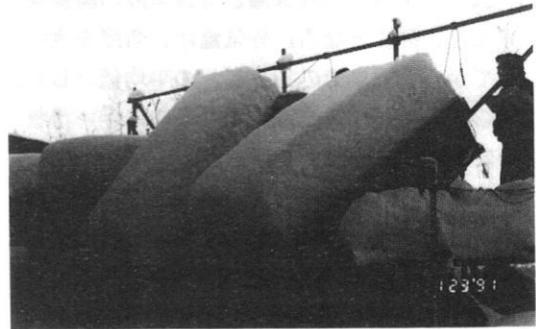


写真1 試験体設置状況

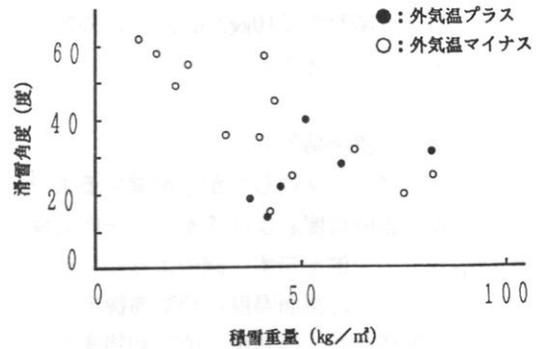


図3 積雪重量と滑雪角度との関係

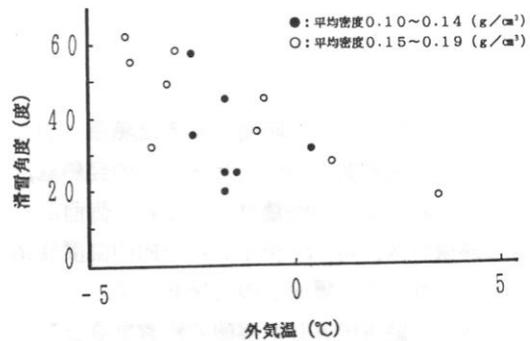


図4 外気温と滑雪角度との関係

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4となる。外気温は、角度を固定してから滑雪までの10分ごとの平均値とした。図のように、外気温が高くなるのに伴い滑雪角度が減少する傾向を示す。

これらの結果をみると、膜材上の自然滑雪性状は、雪質、積雪重量および外気温の影響を大きく受けていることが明らかである。滑雪条件を考えると、膜材と積雪との界面が「固層-液層-固層」となる必要がある。このためには、ある程度水分を含んだ雪質であることが必要となる。本実験結果から判断すると、滑雪するための条件として積雪密度 0.15 g/cm^3 以上、積雪重量 10 kg/m^2 以上、外気温 -5°C 以上が目安と考える。

3-2 融雪滑雪実験結果

図5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、ヒーティング開始後、膜面温度は $+3^\circ\text{C}$ 前後で2時間30分の間推移し、滑雪後 $+10^\circ\text{C}$ 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量 Q_s (kcal/m^2) を下式で求めた。

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

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

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 : チャンパー内の温度変化の蓄熱量、 A : 膜面上の面積を示す。

図6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、積雪重量の増加に伴い投入エネルギー量が減少す

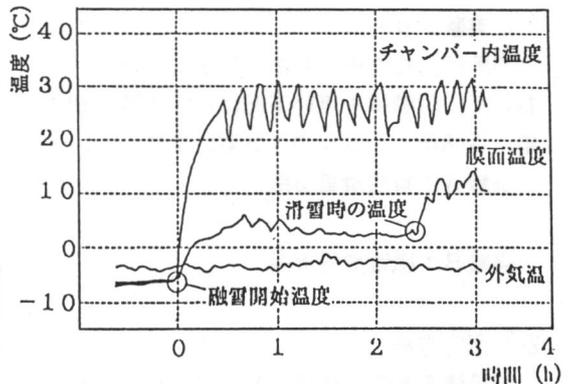


図5 融雪開始から滑雪までの外気温、膜面温度およびチャンパー内温度の推移状況の一例

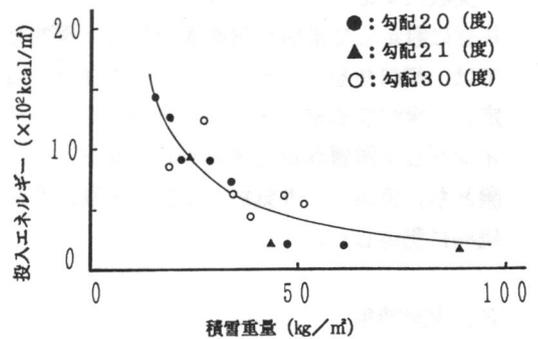


図6 積雪重量と投入エネルギー量との関係

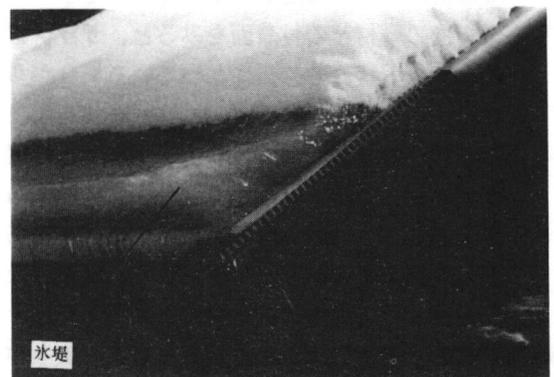


写真2 軒先に形成された氷堤の状況

る傾向にある。積雪重量 $40\text{kg}/\text{m}^2$ 以下では、勾配 20° 前後の方が勾配 30° よりも投入エネルギー量が大きくなる傾向にあり、積雪重量 $40\text{kg}/\text{m}^2$ を越えると差が少なくなる。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2に示すような氷堤を軒先に形成する場合が多くみられた。勾配 10° 以下では、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 30° 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 $15\text{kg}/\text{m}^2$ 以下で全層平均積雪密度が新雪と近似した値の場合が多い。

次に、外気温と投入エネルギー量との関係を見ると図7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傾向を示す。特に、勾配 20° の場合が顕著である。

これらの結果をみると、自然滑雪と同様に融雪滑雪の場合も積雪重量、外気温および雪質の影響を大きく受ける。本実験結果から判断すると、勾配 20° 以下で積雪重量 $15\text{kg}/\text{m}^2$ 以下の場合融雪滑雪効果がみられない。

3-3 滑雪時の膜面温度

図8に、滑雪時の膜面温度と滑雪角度との関係を示す。図のように、自然滑雪実験では、膜面温度は -2°C 前後に、融雪滑雪実験では $+3^\circ\text{C}$ 前後に集中している。

4. まとめ

本研究結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 膜材上の滑雪性状は、雪質、積雪重量および外気温の影響を大きく受けている。
- (2) 自然滑雪するための条件は、勾配 25° 以上で積雪密度 $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ 以上、積雪重量 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上、外気温 -5°C 以上が目安となる。
- (3) 融雪滑雪は勾配 20° 以上で積雪重量 15

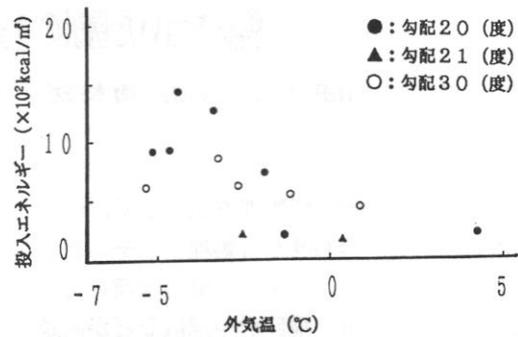


図7 外気温と投入エネルギー量との関係

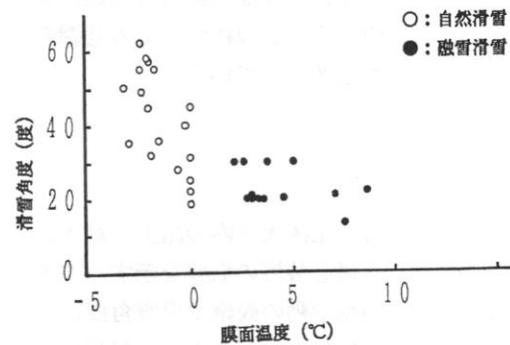


図8 膜面温度と滑雪角度との関係

kg/m^2 以上が目安となる。

なお、本研究を実施するにあたり、鹿島建設株式会社技術研究所の本郷剛氏、長岡工業高等専門学校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) (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
- 2) 気象庁編：日本気候表(その2), 1982.