

膜材を用いた屋根の滑雪飛距離について

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

1. はじめに

近年, 膜構造物の雪処理方法として, 融雪と滑雪とを組み合わせた雪処理システムが取り入れられている。しかし, 滑雪処理を行う場合, 滑雪後の雪の飛距離や飛散などが問題となる。設計の段階では, これらの問題を考慮した堆積帯を設置するなどの防雪対策が必要となる。このようなことから本研究では, 屋外モデル実験を行い実験的に滑雪飛距離を検討し, 屋根雪の滑雪処理についての基礎資料を得ることを目的としている。

2. 実験方法

(1) 実験装置

図1に, 北海道工業大学内の屋上(高さ13m)に設置した滑雪装置の概要を示す。この滑雪装置は, 活動挙動の観察や滑雪角度, 滑雪速度の測定が容易なことから傾斜平板法を採用した¹⁾。この滑雪装置の傾斜台は, 長さ8m, 幅1mあり, 両端に速度測定用光センサー(読み取り精度 1/100秒)が, 4.25m 間隔で2個取り付けてある。なお, 低温時の滑雪を促すために傾斜台の下部にヒータボックス(縦110×横98×深さ65cm)を設置した。ボックス内部には, 700Wのヒータが2個設置しており, 内部温度は, サーモスタットで制御され一定の温度を保つことができる。

(2) 滑走モデル

滑走モデルは, 骨材ふるい分け用の15mmふるいで屋上に積もった新雪をふるいながら, 木製の木枠(内径: 縦87×横82×高さ30cm)を用いて滑走低面87×82cm, 積雪深10, 20, 30cmとブロックに加工して種々の条件下において実験を実施した。

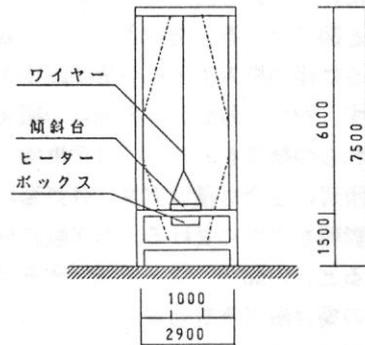
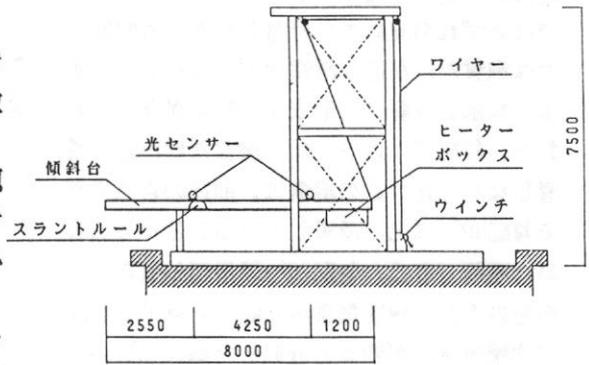


図1 滑雪装置の概要

(3) 実験シリーズ

1) 滑走距離7mにおける雪ブロック実験

滑雪角度 (°)	積雪深 (cm)		
	10	20	30
15	●	●	●
20	●	●	●
25	●	●	●

2) 滑走距離の違いによる雪ブロック実験 (積雪深30cm)

滑雪角度 (°)	滑走離 (m)		
	7.0	5.3	3.3
15	●	●	●
25	●	●	●

3. 実験結果

一般に、屋根雪の滑雪飛距離の算出式は、動摩擦抵抗力を考慮した質点の運動法則に従うと下式となる。

$$D = V \cos \theta \left(\sqrt{(V \sin \theta / g)^2 + 2H/g} - V \sin \theta / g \right)$$

$$V = \sqrt{2gL(\sin \theta - \mu k \cos \theta)}$$

ここに、D：滑雪飛距離 θ ：滑雪角度
V：飛び出し速度 H：軒高
L：滑走距離 μk ：動摩擦係数
g：重力加速度

しかし、上述の式は、質量などが考慮されていないため滑雪飛距離を検討する上で実測値と誤差が生じる。

図2に、滑雪角度と滑雪飛距離との関係を示す。図のように、各勾配において積雪重量に関係なく実測値をプロットした値に1~2mのバラツキが見られる。また、上述の飛距離を算出する式に $\mu k = 0, 0.1, 0.2$ を用いて算出しプロットすると実測値は、 $\mu k = 0 \sim 0.2$ の間におさまるが実測値と計算値に一致する傾向は見られない。

図3に、滑走距離と滑雪飛距離との関係を示す。図のように、実測値は滑走距離の増加に伴い緩い増加傾向を示す。しかし、実測から得た加速度を用いて動摩擦係数を求め、得た係数を飛距離の式に代入して求めると図のように、計算値では急激な増加傾向を示す。このように、実測値と計算値では異なる傾向を示し積雪重量の影響を無視することはできない。上述の動摩擦係数 μk は、下式より求

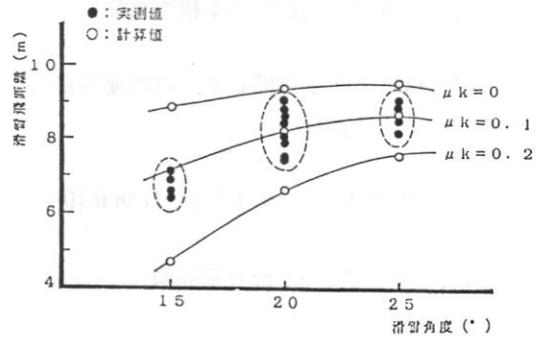


図2 滑雪角度と滑雪飛距離との関係

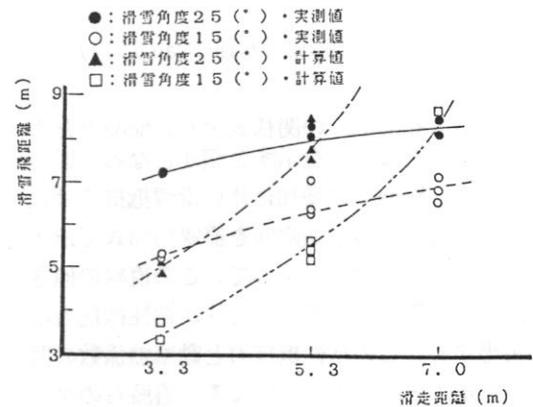


図3 滑走距離と滑雪飛距離との関係

めた。

$$\mu k = (g \sin \theta - \alpha) / g \cos \theta$$

ここに、 α ：加速度

前述の実験結果から判断すると、滑雪飛距離を検討する場合積雪重量が大きく影響していることが明かとなった。さらに、屋根面と雪モデルに作用する力を考慮すると動摩擦抵抗力の他に界面に介在する水の粘性抵抗力が考えられる。この抵抗力を考慮すると、滑雪に対する抵抗力Rは下式となり、以下の手順で求まる。

$$R = C + \mu k M \cos \theta$$

ここに、C：粘性抵抗力，M：積雪重量

この滑雪抵抗力Rを考慮して質点の運動法則を用いると下式となる。

$$H = (M / (4L(M \sin \theta - R) \cos^2 \theta)) D^2 + (\tan \theta) D$$

ここに、H：軒高，D：滑雪飛距離

ゆえに、滑雪抵抗力Rは、下式より求まる。

$$R = M(\sin \theta - (D^2 / (4L \cos^2 \theta (H - D \tan \theta))))$$

R=C+μkMcosθ の関係式より、Mcosθと滑雪抵抗力との関係を示すと図4となる。図のように、Mcosθの増加に伴い滑雪抵抗力は大きくなる。この増加傾向を直線回帰式で示すと図のようになる。よって、この直線の傾きが動摩擦係数に相当し、切片が粘性抵抗力に相当する。この粘性抵抗力と動摩擦係数の関係を示すと表1のようになる。遠藤らのフッ素樹脂塗装網板などを用いた研究報告²⁾によると、平均値で粘性抵抗力2.5~3 (kg/m²)、動摩擦係数0.13~0.15と報告されている。本実験結果から得た膜材の平均値は、粘性抵抗力2.5 (kg/m²)、動摩擦抵抗力0.06と比較的小さな値を示し、滑雪しやすいことを示している。

図5に、滑雪角度と粘性抵抗力および動摩擦係数との関係を示す。粘性抵抗力は、勾配の増加に伴い増加傾向を示す。しかし、動摩擦係数は、逆に減少傾向を示す。この傾向は、動摩擦係数が速度の増加に伴い減少することを示している。また、一般に粘性係数は、速度に正比例することから粘性抵抗力は、図のように、増加傾向を示すと考えられる。

図6に、滑雪角度と粘性抵抗力および動摩擦抵抗力との関係を示す。勾配15°で積雪重量25 (kg/m²)では、粘性抵抗力と動摩擦抵

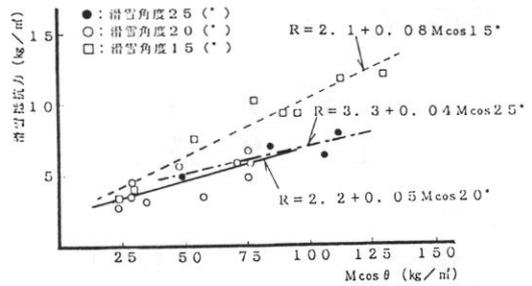


図4 Mcosθと滑雪抵抗力との関係

表1 粘性抵抗力と動摩擦係数との関係

滑雪角度(°)	15	20	25
粘性抵抗力(kg/m ²)	2.1	2.2	3.3
動摩擦係数 μk	0.08	0.05	0.04

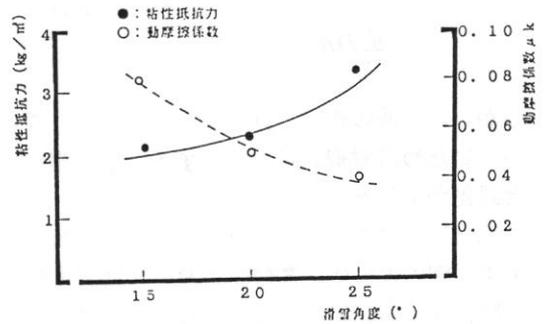


図5 滑雪角度と粘性抵抗力および動摩擦係数との関係

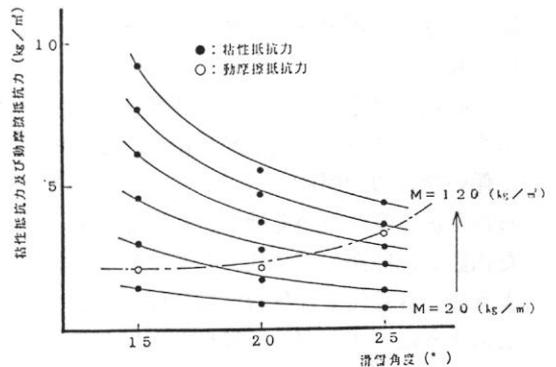


図6 滑雪角度と粘性抵抗力および動摩擦抵抗力との関係

抗力は同程度の値を示すが、積雪重量の増加に伴い勾配15°では、動摩擦抵抗抗力が大きな影響を与えている。しかし、勾配が20°、25°になると逆に粘性抵抗抗力が影響する。

図7に、滑雪角度と滑雪抵抗抗力との関係を示す。図のように、積雪重量60 (kg/m²)を越えると勾配20°、25°に比べ勾配15°では、滑雪抵抗抗力が大きくなる。また、勾配20°～25°で積雪重量が増加しても滑雪抵抗抗力が同程度の値を示すことから、この範囲が滑雪飛距離の増減の分岐角になると考えられる。

4. まとめ

本研究結果をまとめると、以下のようになる。

- 1) 滑雪飛距離は、積雪重量に大きく影響を受けている。
- 2) 屋根面の滑雪抵抗抗力として、動摩擦抵抗抗力だけでなく粘性抵抗抗力も考慮する必要がある。低勾配では、動摩擦抵抗抗力の影響をおもに受けているが、勾配の増加とともに小さくなり逆に、粘性抵抗抗力の影響を受ける。

- 3) 滑雪飛距離の増減の分岐角は、勾配20°～25°の範囲となり最も飛距離が大きくなる。

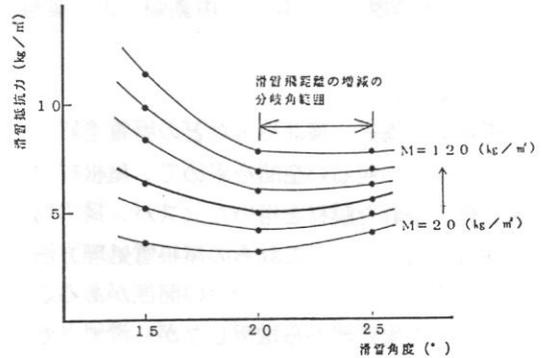


図7 滑雪角度と滑雪抵抗抗力との関係

参考文献

- 1) 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
- 2) 遠藤 八十一他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.