

膜材を用いた屋根の屋根雪 滑落性状について

○ 山口英治, 苫米地司 (北海道工業大学)

1. はじめに

近年、屋根材にテフロンコーティングガラス繊維布膜を使用した大スパン構造物は、秋田県などの積雪地域にも建設されている。積雪地域に膜材を使用した大スパン構造物を建設する場合、屋根雪荷重やその処理方法が大きな問題となる。さらに、膜構造物の透過性などの利点を考慮するとできるだけ屋根面に雪がないことが望ましい。このような背景から本研究では、膜材を用いた屋根の滑落角度、動摩擦係数、滑落飛距離などの検討を行った。

モデルは、テフロンコーティングガラス繊維布膜のみを用い新雪、ザラメ、シャーベット状、しまり雪と4タイプで36種類の条件について実施した。

2. 実験方法

1) 実験装置

図1に、滑落装置の概要を示す。本実験では、屋根葺材の形状が比較的大きな平板であり滑動挙動の観察や滑落角度、滑落速度・時間の測定が容易なことから傾斜平板法を採用した^{1,2)}。

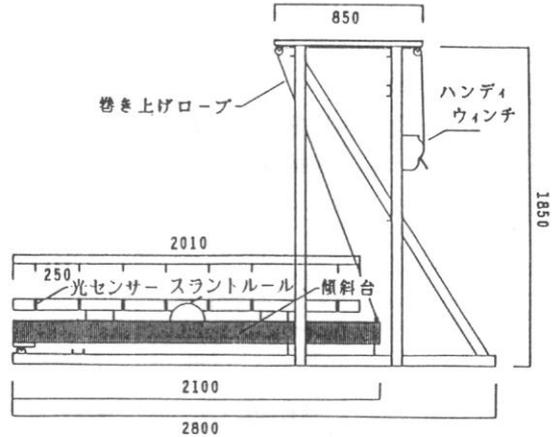


図1 滑落装置

2) 雪氷滑動体モデル

一般に、屋根雪の最下層の旧雪は多結晶で氷に近い状態にある³⁾ことから、雪氷滑動体モデルとして図2に示す氷モデルを用いた。図のように、氷+スタイロフォーム(160×136×40mm)の氷ブロックにおもりを載せ積雪深を想定した。また、雪モデルは、台形状(上底125×135mm, 下底135×140mm, 高さ113mm)に加工した。

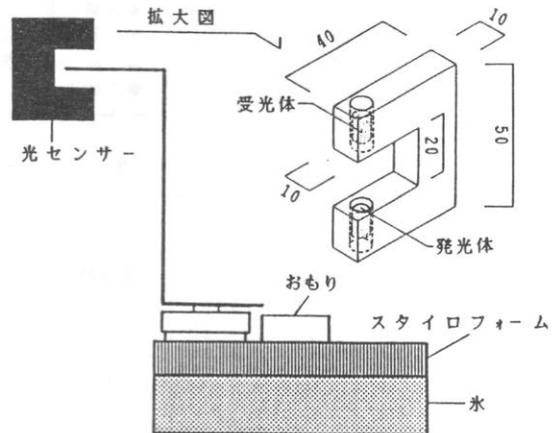


図2 氷モデル

3) 低温室

冬期間の外気温を想定するため、滑落装置を低温室内に設置した。低温室は、 $-30 \sim +60^{\circ}\text{C}$ まで調節可能であり、温度調整幅は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ である。実験では、低温室の温度を $-10 \sim +2.5^{\circ}\text{C}$ まで 2.5°C 刻みで実施した。

4) 実験シリーズ

表1に、実験シリーズを示す。氷モデルは、以下に示す4種類の屋根葺材を用い243種類、雪

5) 実験手順

実験は、外気温、積雪深、凍着時間など実験条件を設定後、ハンディウインチを巻き上げ雪氷滑動体が滑り出した時点で止め、その時の傾斜角をスラントルールで読み取る。滑落と同時にパソコンは、光センサー区間の時間と速度を算出する。

氷モデルの場合、+2.5℃を除き30分以上実験温度環境に置き、表面温度を室温と同程度にし実施した。また、雪モデルの場合、実験ごとに新しい雪を用いた。

3. 実験結果

図3に、温度と滑落角度との関係の一例を示す。図のように、屋根葺材が同一の場合、氷モ

デルと雪モデルとでは、大きく異なる。氷モデルの場合、温度変化による滑落角度の大きな変化がみられない。これに対し、雪モデルの場合、-2.5℃で滑落角度が最も小さくなる。-2.5℃以下では温度の低下ともない、滑落角度がやや大きくなる。温度が-2.5℃を越えると、滑落角度が急激に増加する。

これらの現象は、各屋根葺材の表面粗さが影響していると考えられる。氷の接触面が、平滑であるため表面粗さの大きい材料は、有効接触面積も小さく凍着時間による影響が、少くなると考えられる。雪モデルは、氷モデルに比べ単位面積当りの凍着力が常に大きい。凍着力は、一般に次式で表せれる。凍着力 S 、見かけ上の接触面積 A 、積雪重量 W 、滑落角度 θ とすると、

表1 実験シリーズ

○：ポリカーボ

●：ポリカーボ、テフロンコーティングガラス繊維布膜、スベルーフ、ルーフテック

| 温度 (℃) | 積雪深10cm | | | | | 積雪深20cm | | | | | 積雪深30cm | | | | | 積雪深40cm | | | | |
|-----------|---------|---|---|----|----|---------|---|---|----|----|---------|---|---|----|----|---------|---|---|----|----|
| | 凍着時間(分) | | | | | 凍着時間(分) | | | | | 凍着時間(分) | | | | | 凍着時間(分) | | | | |
| | 0 | 1 | 5 | 20 | 40 | 0 | 1 | 5 | 20 | 40 | 0 | 1 | 5 | 20 | 40 | 0 | 1 | 5 | 20 | 40 |
| -10.0 | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| -7.5 | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| -5.0 | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| -2.5 | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ±0.0 | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| +2.5 | ● | ○ | | | | ● | ● | | | | ● | ○ | | | | ● | ○ | | | |

○：テフロンコーティングガラス繊維布膜

| 温度 (℃) | 新雪 | | | ザラメ | | | シャーベット | | | しまり雪 | | |
|-----------|---------|----|-----|---------|----|-----|---------|----|-----|---------|----|-----|
| | 凍着時間(分) | | | 凍着時間(分) | | | 凍着時間(分) | | | 凍着時間(分) | | |
| | 5 | 40 | 120 | 5 | 40 | 120 | 5 | 40 | 120 | 5 | 40 | 120 |
| -10.0 | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | | | | | |
| -7.5 | | | | | | | | | | | | |
| -5.0 | ○ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | | |
| -2.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | | |
| ±0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| +2.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | | | |

*積雪深は、15cm程度を示す。

以下のようなになる。

$$S = W \sin \theta / A \quad (\text{単位: kg/m}^2)$$

雪が-2.5℃で滑落角度が減少するのは、膜材とモデルとの接着面に適度な融雪現象が起こるためと考えられる。逆に、0℃で急激に増加するのは、融雪現象が促進し吸着力が発生するためと考えられる。

図4に、滑落角度と動摩擦係数との関係を示す。動摩擦係数は、次式で表せれる。重力加速度g、滑落角度 θ 、滑落加速度 α とすると、以下のようなになる。

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

図のように、動摩擦係数の分布は3種類に分かれる。この分布を見るとA群には、氷モデルを用いたテフロンコーティングガラス繊維布膜、

スベルーフ、ルーフテックの3種類、B群には、ポリカーボ、C群には、雪モデルを用いたテフロンコーティングガラス繊維布膜が、屋根葺材別にそれぞれ分布している。動摩擦係数値は、A群では、0.02~0.08、B群では、0.004~0.20、C群では、0.04~0.11の範囲に分布する。さらに、テフロンコーティングガラス繊維布膜に着目すると、氷モデルでは、 $\mu k = 0.05 \sim 0.07$ 、雪モデルでは、 $\mu k = 0.04 \sim 0.11$ の範囲に分布し、ほぼ同様の傾向を示す。

4. 屋根雪の滑落飛距離の検討

屋根雪の滑落飛距離は、様々な抵抗力および屋根形態により変化する。滑落飛距離の解析式は、質点の運動法則を用い次式で表せれる。滑

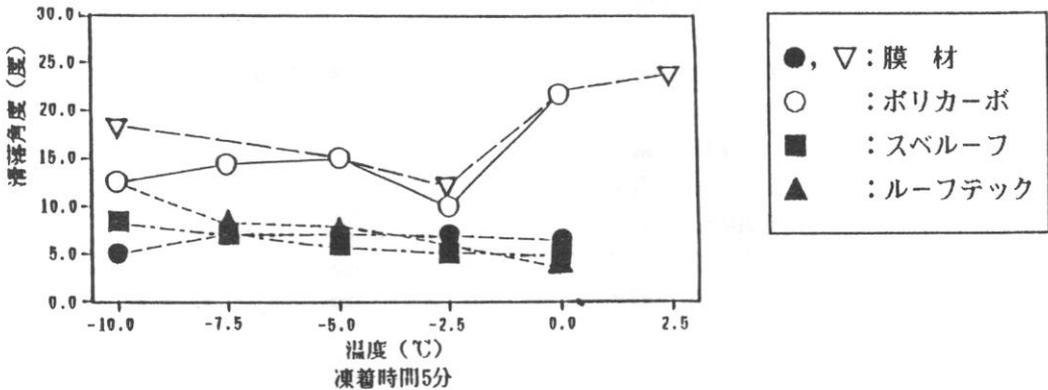


図3 温度と滑落角度の関係

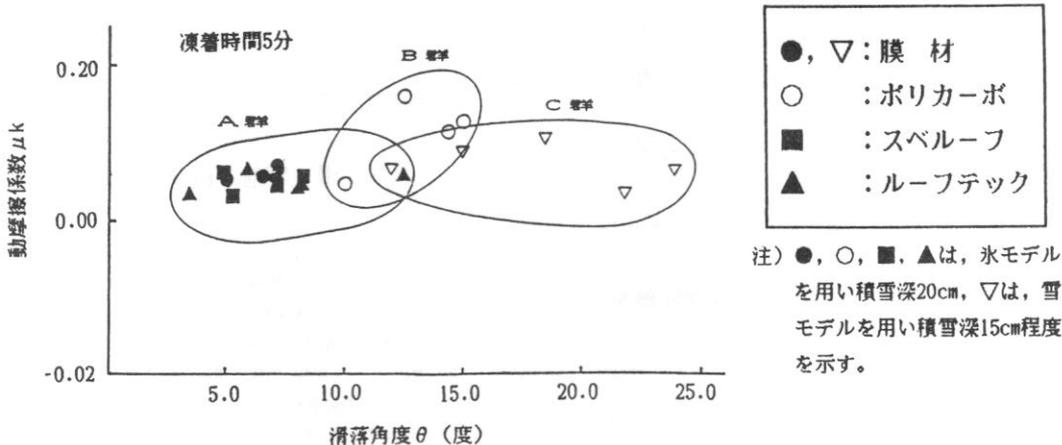


図4 滑落角度と動摩擦係数の関係

注) ●, ○, ■, ▲は、氷モデルを用い積雪深20cm, ▽は、雪モデルを用い積雪深15cm程度を示す。

滑落距離D, 飛び出し初速度V, 軒の高さH, 滑走距離Lとすると, 以下のようなになる。

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

(単位: m)

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

(単位: m/s)

図5に, 真駒内アイスアリーナ程度の大スパン構造物を想定し, 滑落角度と滑落飛距離との関係を示す。動摩擦係数は, 本実験結果より $\mu k = 0.00, 0.10, 0.20$ を用いた。図のように, 滑落飛距離は滑落角度により大きく変化する。さらに, 動摩擦係数により滑落飛距離の最大値を与える角度が, $\mu k = 0.00$ で約20度, $\mu k = 0.10$ で約22.5度, $\mu k = 0.20$ で約25度と変化する。

図6に, 前述の大スパン構造物を想定し, 滑走距離と滑落飛距離との関係を示す。本実験結果より膜材の動摩擦係数を $\mu k = 0.10$ とし, 軒の高さ $H = 15\text{m}$, 屋根の勾配を $\theta = 10, 20, 25, 30, 40$ 度にとった。図のように, 滑走距離と滑落飛距離との関係を見ると, いずれの場合も滑走距離の増加にともない滑落飛距離は, 長くなる。屋根勾配別の滑落飛距離を見ると, 25度までは, 勾配の増加につれ長くなり, 25度を過ぎると逆に短くなる傾向を示す。

5. まとめ

本研究結果をまとめると, 以下のようなになる。

- (1) 屋根雪の滑落は, 屋根材料と雪氷との接触面状態(凍着力や融雪現象)の影響を大きく受ける。
 - (2) 動摩擦係数は, 氷モデルと雪モデルで同様の傾向を示す。
 - (3) -2.5°C 程度で最も凍着力が小さく滑落しやすい。
 - (4) 動摩擦係数により最大滑落飛距離を与える角度が変化する。
 - (5) 動摩擦係数 $\mu k = 0.10$ において, 屋根勾配25度付近が滑落飛距離の増減の分岐角になる。
- 今回の実験では, 氷モデルを中心に進め, 膜材を用いた屋根の屋根雪の滑落角度や滑落飛距

離などを実験的に検討した。今後, 雪モデルを用いた実験や屋外実験などを行い詳細な検討を加える予定である。

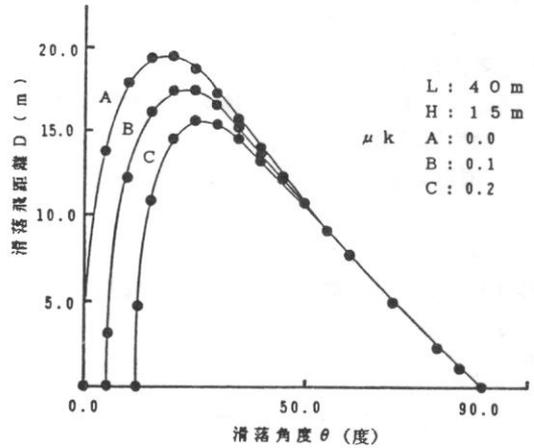


図5 滑落角度と滑落飛距離の関係

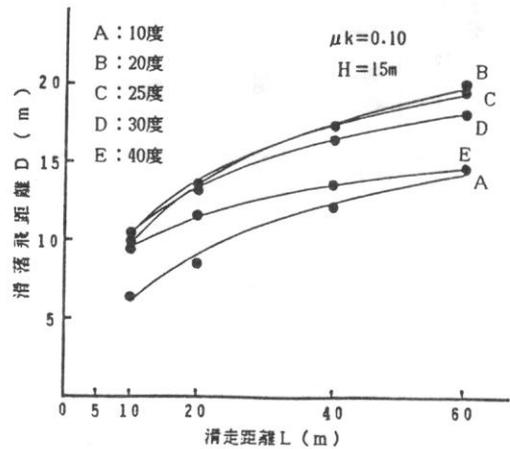


図6 滑走距離と滑落飛距離の関係

【参考文献】

- 1) 渡辺 正朋・平井 和喜: 屋根葺材と雪氷の摩擦に関する研究(1)-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, 1987
- 2) 渡辺 正朋・平井 和喜: 屋根葺材と雪氷の摩擦に関する研究(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, NO.9, pp.1-12, 1988
- 3) 前田 博司: 金属板屋根における積雪の滑落, 日本雪工学会誌, 雪氷41巻, NO.3, pp.199-204, 1979