

膜材を用いた屋根における滑雪後の堆積形状について

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

1. はじめに

近年, 北海道, 東北地方などの積雪地域では, 冬期間の明るい空間を求めて, 屋根材に透過性の優れた膜材を用いた大スパン構造物が建設されている。これらの屋根雪処理方法は, 経済性の他にもいくつかの問題があることから, 融雪処理から融雪しながら滑雪させる方法に変わってきている。この場合, 滑雪した雪は防災的, 建物の壁面への側圧などの面で大きな問題となる。しかし, これらに関する資料が不足しているのが現状である。このようなことから, 滑雪した屋根雪の堆積形状を検討するために屋外モデル実験を実施した。

2. 研究方法

2-1 実験装置

滑雪実験に用いた装置は, 図1のように膜材を張り付けた傾斜台を任意の傾斜角に設定することができる。なお, 膜材はテフロンコーティングガラス繊維布膜を使用した。

2-2 実験方法

実験は, 傾斜台の角度を 10° , 20° , 25° , 28° , 35° , 55° の6種類として滑雪実験を実施した。膜上の積雪深は, 20cmになるように骨材ふるい試験用15mmふるいで新雪をふるいながら人工的に堆積させた。その後, それぞれの傾斜角で滑雪させ, 飛距離と堆積形状を測定した。傾斜角 10° では自然滑雪しにくいので, 滑雪速度に影響を与えない程度に人工的に力を加えた。他の傾斜角については, 軒先にストッパーを取り付けて所定の角度になるまで滑雪

しないようにした。堆積形状の推移や累積の堆積形状を検討するために, 同様の滑雪を重ね合わせるように6~7回繰り返した。なお, 堆積形状の推移を明かにするため, 1回の滑雪ごとに表面に希薄したインク溶液を噴霧した。実験中の外気温は -0.4°C ~ -4.6°C , 膜上の積雪密度は $0.07\sim 0.15\text{g}/\text{cm}^3$ であった。

3. 実験結果

写真1に, 堆積断面の1例を示す。この堆積形状の滑雪角度は 28° , 滑雪回数は6回である。写真のように, 滑雪回数を重ねるごとに堆積断面の頂部が軒に近づく傾向や堆積幅が広がる傾向がみられることが分かる。

滑雪角度 θ ごとの堆積形状の概要をみると, 図2となる。図のように, いずれの傾斜角に

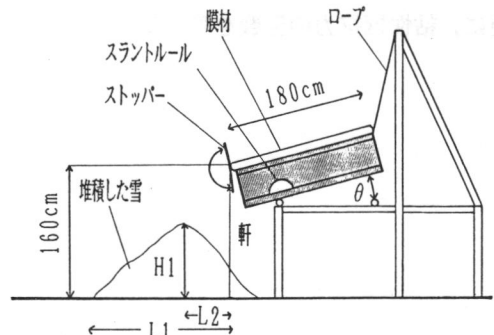


図1 実験装置

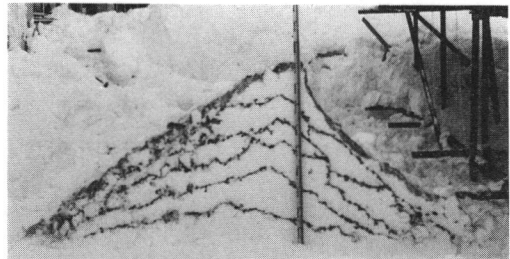


写真1 堆積断面の1例

においても近似した堆積形状を示す。しかし、頂部の位置や軒の内側への広がり度合が傾斜角によって大きく異なる。軒の内側への広がり度合をみると、滑雪飛距離が小さい傾斜角 10° 、 55° で80cm程度軒の内側へ広がっている。これに対し、滑雪飛距離が最も長くなる傾斜角 25° 、 28° になると、前者の1/2程度までに減少し、滑雪飛距離の差異によって堆積幅とその位置が大きく異なることが明かである。本実験では、図中の軒の位置に壁を設置しなかったが、一般の建物では壁の影響を受けて堆積形状が実験結果とやや異なってくる^{1,2)}。この位置に壁があることを想定した場合、図中のS2領域の雪はS1の領域に堆積することになり、 $S2 > S1$ になると、堆積高 $H1$ が大きくなる。この $H1$ の増加にともない壁面に加わる雪による側圧も増加することが考えられる³⁾。

図3に、滑雪角度 θ と軒からの堆積幅 $L1$ との関係を示す。図中には、滑雪させた雪の深さ SD が20cmと120cmにおける実測値および質点の運動法則に従って求めた滑雪飛距離の計算値を示してある。この計算に用いた数値は軒高160cm、滑走距離180cm、膜面の動摩擦係数 μk を0と0.1としている。 $L1$ の推移をみると、 $SD120\text{cm}$ 、 20cm のいずれの場合においても、概ね滑雪角度 25° 程度までは傾斜角の増加にともない $L1$ が増加し、この角度を過ぎると減少する傾向を示している。計算によって得られた $L1$ の推移の増減傾向は、実測値の推移と近似した傾向を示している。しかし、 $SD120\text{cm}$ の場合における $L1$ と計算値とを比較すると、計算値は実測値の2/3程度の小さな値となる。 $SD20\text{cm}$ の場合においても、計算値よりも実測値の方が大きくなる場合が多くなる。以上のことから、滑雪飛距離の計算値では、滑雪の際に生ずる飛散が考慮されていないため、 $L1$ の値を実測値よりも過小評価していることがわかる。

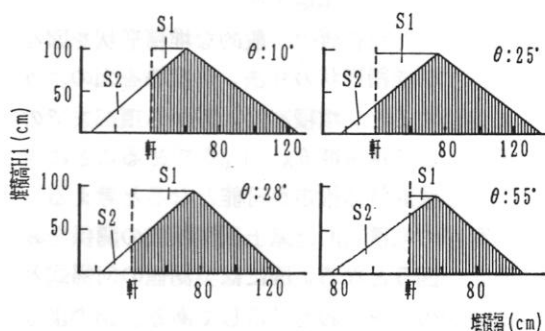


図2 堆積形状の概要

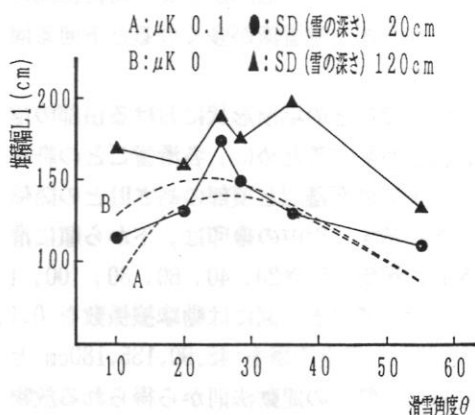


図3 滑雪角度 θ と軒からの堆積幅 $L1$ との関係

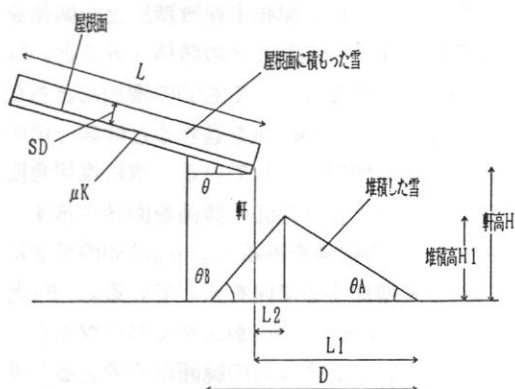


図4 一般的な堆積形状

4. 堆積形状の推定手法

滑雪した屋根雪の一般的な堆積形状を図4に示す。堆積形状の寸法、角度等を図のように定義すると、堆積高 H_1 、軒から頂部までの距離 L_2 、堆積角度 θ_A 、 θ_B を求めることにより、堆積形状の推定が可能となると考える。

累積の堆積高 H_1 と屋上積雪深 SD の関係をみると、図5となる。図には実測値の回帰式と、 $H_1=SD$ の線をあわせて示してある。図のように、いずれの傾斜角においても SD の増加に比例して、 H_1 が増加する傾向がみられる。 H_1 と $H_1=SD$ の式との関係を見ると、いずれの滑雪角度においても、 H_1 は SD が少ない時には SD の値を上回るが、積雪深が多くなると下回る傾向を示す。

滑雪角度ごとの堆積形状における頂部の推移状況を検討するために、各滑雪ごとの軒から頂部までの距離 L_2 と頂部の高さ H_1 との関係を図6に示す。図中の●印は、下から順に滑雪させた積雪の深さ20, 40, 60, 80, 100, 120cmとなっている。図には動摩擦係数を0.1、軒高160cm、滑走距離を45, 90, 135, 180cmとした場合の質点の運動法則から得られる放物線を示してある。頂部の推移をみると、滑走距離を屋根長さの1/2 (90cm)とした計算上の放物線と近似する傾向を示している。

堆積角度 θ_A と屋上積雪深 SD との関係を図7に示す。 θ_A と SD との関係を見ると、 θ_A はどの滑雪角度においても SD の増加にともなって増加し、 SD が80cmを過ぎるとほぼ一定の角度になる傾向を示している。次に堆積角度

θ_B と屋上積雪深 SD の関係を図8に示す。 θ_B と SD との関係を見ると、 θ_B は SD の増加に比例して増加する傾向を示している。 θ_A と θ_B を対比すると、 θ_B が大きくバラツキも小さい。しかし、本実験の範囲から考えると θ_B も θ_A と同様に、 SD が100cmを越えるとほぼ一定の値に近づくと考えられる。

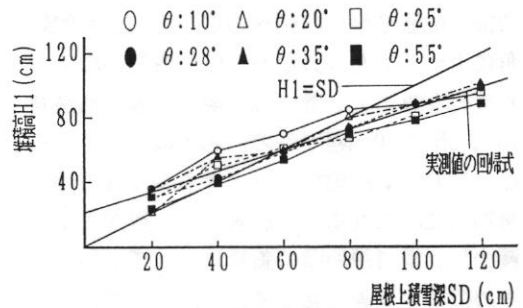


図5 累積の堆積高 H_1 と屋上積雪深 SD との関係

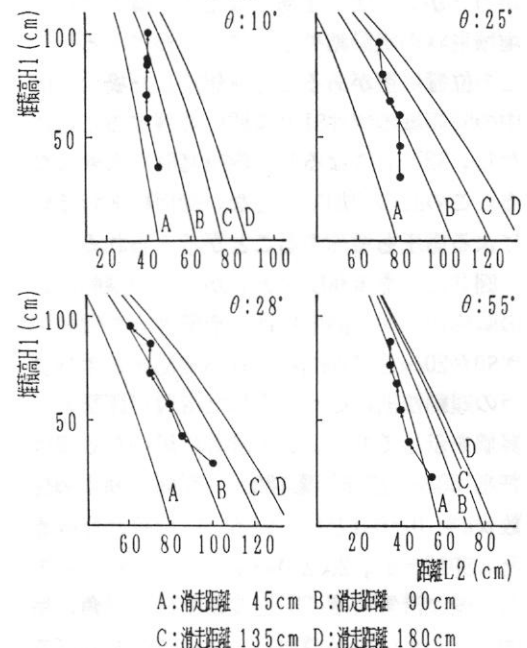


図6 軒から頂部までの距離 L_2 と頂部との高さ H_1 との関係

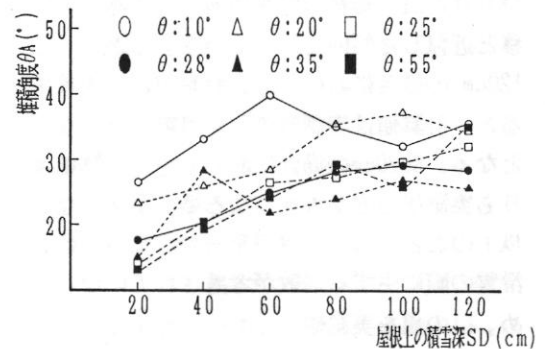


図7 堆積角度 θ_A と積雪深 SD との関係

以上のことから、堆積高 H_1 、堆積角度 θ_A 、 θ_B は、軒高、滑雪角度、滑走距離などによって、ある程度決まった値になると考えられる。 H_1 、 θ_A 、 θ_B がもとめられれば、軒から頂部までの距離 L_2 、軒からの最長距離 L_1 、堆積幅 D は以下のような式によって求められる。なお、この H_X は軒高 H から堆積高 H_1 を引いた値であり、 L_X は屋根長さ L の $1/2$ の値である。

$$L_2 = V \cos \theta (\sqrt{(V \sin \theta / g)^2 + 2 H_X / g} - V \sin \theta / g)$$

$$V = \sqrt{2 g L_X (\sin \theta - \mu_K \cos \theta)}$$

$$L_1 = H_1 / \tan \theta_A + L_2$$

$$D = H_1 (1 / \tan \theta_A + 1 / \tan \theta_B)$$

L_2 : 軒から頂部までの距離 (cm)

V : 滑走速度 (cm/s)

g : 重力加速度 (cm/s²)

θ : 滑雪角度 (°)

H : 軒高 (cm)

L : 屋根長さ (cm)

L_1 : 軒からの最長距離 (cm)

H_1 : 滑雪後の堆積高さ (cm)

D : 堆積幅 (cm)

H_X : $H - H_1$ (cm)

L_X : $L/2$ (cm)

μ_K : 膜面の動摩擦係数

θ_A, θ_B : 堆積角度 (°)

5. まとめ

本実験では、滑走距離、軒高、屋根上積雪深および雪質などを一定に行った。しかし、今年の冬期に滑走距離8m、軒高14mの実物大モデルを用いた滑雪実験や既存の屋根における堆積形状の実測を行った。これらの実験結果から、軒高や滑走距離などが堆積形状の形成に大きな影響を与えることが明らかとなっている。さらに、遠藤らの研究⁴⁾により、滑雪飛距離には動摩擦係数の他に粘性抵抗も

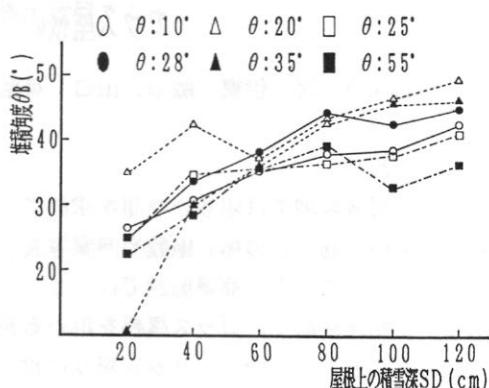


図8 堆積角度 θ_B と積雪深 SD との関係

影響を及ぼすことが報告されている。今後、これらの条件を考慮した実験を実施することによって、詳細な堆積形状の推定が可能になると考える。

【参考文献】

- 1) 中村 秀臣: 滑雪した屋根雪の堆積形状, 雪氷40巻1号, PP37-41 (1978) .
- 2) 阿部 修 : 大型傾斜屋根における軒下落雪の堆積形状, 平成2年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, P7.
- 3) 松下 清夫, 中島 一史, 和泉 正哲: 積雪による側圧の調査研究, 日本建築学会論文報告集, 第89号, PP.82
- 4) 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