屋根雪における積雪後のザラメ化に伴う摩擦抵抗力の変化

伊東 敏幸，高倉 政寛，苫米地 司（北海道工業大学）

1. はじめに

建築物の屋根雪に起因する人身事故は，現在でも毎年のように発生している。これらの事故は屋根雪の雪下ろし中における転落事故や屋根部からの氷塊の落下などによる場合も有るが，滑落した屋根雪の埋没などの事故も少なくない。この事故の状況をみると，比較的多量の降雪が続いた日の数日後において，多量の屋根雪が不意に落雪することによって発生している。落雪事故の発生状況を分析した報告によると，落雪事故は累積30cm以上の連続降雪があった後，１日から５日経過した日に多く発生し，その事故日の最高気温は－４℃以上の場合が多いことが指摘されている[1]。この状況から考えると，落雪事故は必ずしも連続的な降雪後において外気温がプラス温度になった場合に発生しているとは言えず，他の何らかの要因が関わっていると考えられる。

一般住宅のように小屋裏からの伝熱がある勾配屋根の屋根雪をみると，降雪の直後に滑落するのは稀であり，数時間もしくは数日経過した後に滑落する場合が多く，その屋根面付近の雪はザラメ化している[2]。このことに関して，異なる雪質における摩擦抵抗力を評価した報告では，雪粒の粗大化に伴って摩擦抵抗力が減少することを指摘している[3]。このことから，降雪後の経時過程において，屋根面付近の雪が変態し，その粒径が粗大化することによって摩擦抵抗力が減少して数日経過したときに滑落現象が発生していると考えられる。

本研究は勾配屋根における滑落雪に起因する事故を防止するための資料として，屋根雪のザラメ化に伴う摩擦抵抗力の変化量を実験的に明らかにすることを目的とする。札幌における降雪後，数日間の外気温推移について整理し，その結果を基に小屋裏からの伝熱を想定したモデル実験を行い，摩擦界面付近の雪質変化の状態を明らかにし，さらにその状態における摩擦抵抗力を測定した。

2. 小屋裏からの伝熱がある屋根面の温度

札幌市の一般的な小屋裏構造をもつ住宅における厳冬期の屋根面温度を測定した結果，屋根上に雪が10～15cm堆積した状態においては，外気温が-6℃程度であっても，小屋裏温度が２～４℃であり，屋根面温度が０℃を若干上回る温度で推移することが分かった。この場合，屋根葺材と屋根雪の界面には融雪水が若干発生する状態であった。

屋根面温度を支配する降雪後，数日間の外気温推移について分析する。年間降雪量が多かった1980年11月～1981年４月における札幌を対象にし，１日の降雪深が５cm以上あった日を基点とした数日後までの日平均気温の推移について整理すると表－１となる。表は，５cm以上の降雪があった日の後，日最高気温が２℃未満で推移する７日後までの期間を対象としている。日平均気温の推移を温度別に分類してみると表中の網掛けのように，降雪当日の日平均気温は，1/21および1/25では-6℃未満となるものの，他の日については，ある程度の積雪があれば屋根葺材と屋根雪との界面に融雪水が発生し得る外気温となる。さらに２日目以降についてみてみると，殆どの日において融雪水が発生し得る温度範囲にある。これらの結果をみると，暖房している建物の屋根雪は，小屋裏からの伝熱による融雪水の発生によって，経時的に雪粒径が粗大化するものと考えられる。

表－1 札幌における連続降雪後の外気温推移

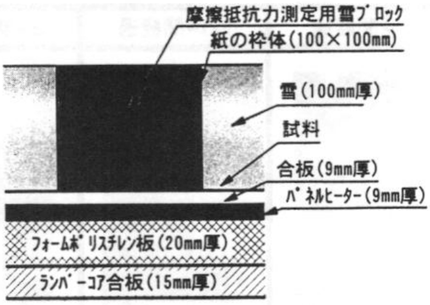
気象官署:札幌	当日		2日目		3日目		4日目		5日目		6日目		7日目	
YEAR/MONTH/DAY	平均気温(℃)	日降雪深(cm)	平均気温(℃)	日降雪深(cm)	平均気温(℃)	日降雪深(cm)	平均気温(℃)	日降雪深(cm)	平均気温(℃)	日降雪深(cm)	平均気温(℃)	日降雪深(cm)	平均気温(℃)	日降雪深(cm)
80/12/14	-2.5	13	-0.4	6	-1.7	1	-1.0		-1.6	1	-4.8	7		
80/12/19	-4.8	7	-2.3	33	-2.1	6	-4.1	43	-5.1	1	-3.6			
81/01/02	-2.2	11	-0.3	16	-2.4		[illegible]	[illegible]	-6.0	8	-5.7	11	-5.0	23
81/01/06	-6.0	8	-5.7	11	-5.0	23	-2.4	2	-2.1	19	-5.7	15	[illegible]	[illegible]
81/01/10	-2.1	19	-5.7	15	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-5.2	4	-6.0	2	-5.5	
81/01/21	-7.2	15	-7.3	51	-4.4	17	-2.3		-6.8	19	[illegible]	[illegible]	[illegible]	16
81/01/25	-6.8	19	-7.8	10	-6.6	16	-5.6	19	-5.5	8	-4.6	10	-2.5	7
81/01/28	-5.6	19	-5.5	8	-4.6	10	-2.5	7	-2.0		-3.3		-2.5	
81/01/31	-2.5	7	-2.0		-3.3		-2.5		-0.9	9	-2.2	2	-1.3	
81/02/04	-0.9	9	-2.2	2	-1.3		-1.6		-3.2		-4.3	1	-1.8	
81/02/19	-1.3	18	-3.0	3	-3.5	2	-5.1	3	-5.3	4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
81/03/07	-2.4	6	-4.2		-6.0	9	-6.0		-3.5	16				

(淡色):-3℃＞平均気温≧-6℃　(濃色):-6℃＞平均気温

3．実験の方法

小屋裏からの伝熱状態の違いによる粗大化の進行速度を評価するため，小屋裏温度を変化させたモデル実験を行った。小屋裏からの伝熱を想定するため，図－1に示すような試験体を用いた。図のように，試験体はランバーコア合板上に20mm厚のフォームポリスチレン板およびパネルヒーターを載せ，その上にある9mm厚の野地板に屋根葺材を貼り付けている。このような試験体を屋外に放置し，自然状態で10cm以上積雪させ，その後，雪が載った状態の試験体を-5℃の低温室内へ移動し，パネルヒーターに通電した。パネルヒーター表面の温度は，予備実験によって屋根葺材表面の温度が0℃を若干上回るような温度になる表－2に示す4通りとした。なお，実験時の積雪密度は何れも180～210kg/m³であった。

低温室内に移動した試験体を用い，動摩擦係数の測定および摩擦界面付近の雪の観察を行った。動摩擦抵抗力の測定は，低温室内で水平型滑雪試験装置を用いて実施した。測定は所定時間を経過した時点で，雪ブロックを4mm/secの速度で水平滑動させ，そのときの摩擦抵抗力を測定した。併せて，摩擦界面付近の雪質を評価するため，摩擦測定の直後に雪ブロック下面の雪を一部切除し，黒い樹脂板上に薄く載せてビデオカメラで観察した。なお，この実験は継続的に行うため，測定・観察時以外のときは雪ブロックを紙製の枠で仕切り，その周囲をしまり雪で覆うことによって周囲からの冷却を防いだ。この測定・観察は，表－2に示す経過時間毎に行い，各試料は2枚ずつとし，1枚の試料につき摩擦抵抗力を3回測定した。このモデル実験に供し



図－1 モデル実験の概要

表－2 パネル温度および摩擦係数の測定間隔

実験No.	パネルヒーターの温度	動摩擦抵抗力の測定
No. 1	1.2℃	12h, 24h, 48h, 72h, 96h *1
No. 2	1.5℃	6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 96h
No. 3	1.9℃	6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 96h
No. 4	2.4℃	6h, 12h, 24h, 48h, 72h *2

*1 6hは，試料と雪ブロックとが凍着していた。
*2 96hは，雪ブロックが融雪が著しい状態であった。

表－３　実験に用いた屋根葺材の概要

試料名称	概要	Rz	θ
光沢塗装鋼板	塗装溶融亜鉛めっき鋼板(JIS G 3312) 青色，材厚0.35mm	2.43μm	60.2°
艶消塗装鋼板	塗装溶融亜鉛-5%ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金めっき鋼板 (JIS G 3318) 艶消青色，材厚0.35mm	23.00μm	71.6°
塗装ｽﾃﾝﾚｽ鋼板	塗装ｽﾃﾝﾚｽ鋼板(JIS G 3320) 艶消茶色，材厚0.35mm	3.80μm	77.8°

注)Rzは試料表面の10点平均粗さであり，θは試料と蒸留水との接触角である。

た試料は，表－３に示すような積雪地域で多用されている屋根葺材とした。

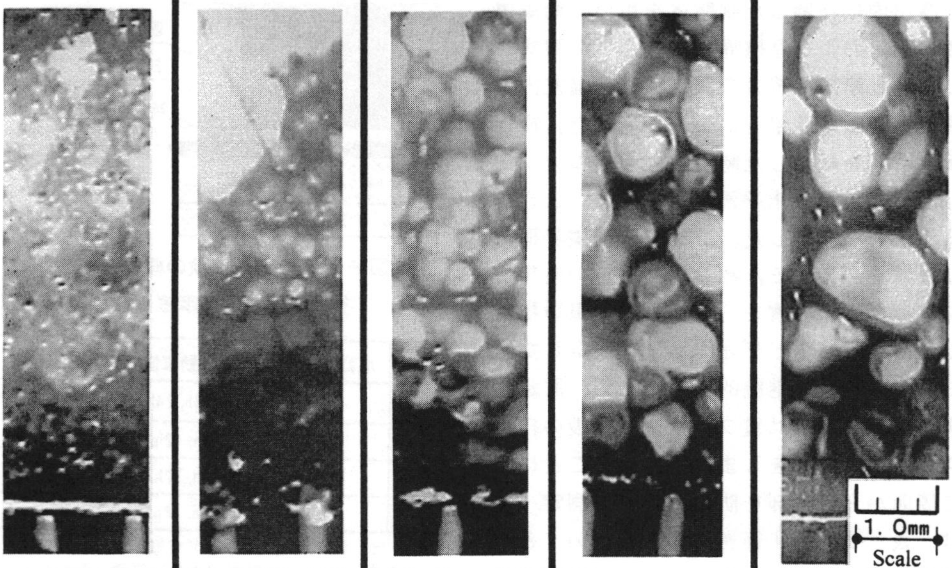
４．経時的な雪質変化の観察結果

小屋裏からの伝熱を想定した実験による経時的な雪質変化を表－４に示す。なお，これらの写真はパネルヒーター温度が 2.4℃の場合（屋根葺材の表面温度は0～0.3℃）における光沢塗装鋼鈑について示す。経時的な雪粒の形状変化をみると，６時間経過後までは新雪時と同様な細かい雪粒であるが，12時間を経過すると雪粒は0.3 mm程度，24時間経過後では0.5 mm程度の球状粒子に変化している。さらにその後，時間の経過に伴って雪粒は粗大化し，48時間経過後では0.5～1.0mm，72時間経過後では1.0～2.0mmになる。なお，パネルヒーター温度がこれよりも低い1.2℃の場合，雪粒径が１mm程度になるまでの経過時間は64時間要している。

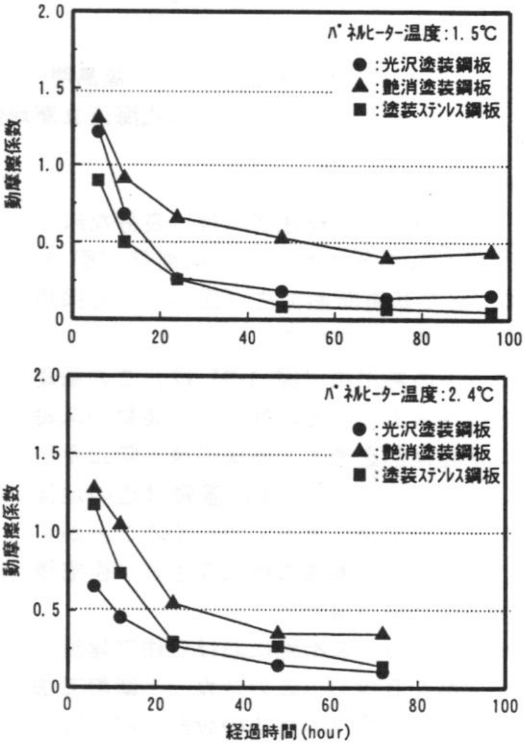
このように，ある程度の積雪があり，屋根裏からの伝熱があると，経時的に屋根面付近の雪は顕著に変態し，その雪粒が粗大化する。その場合，屋根の野地板温度が+2.4℃であれば，積

表－４　摩擦界面付近の雪質変化

6時間経過	12時間経過	24時間経過	48時間経過	72時間経過



雪２日後には粒径１mm程度のザラメ雪が屋根面付近に存在することになる。



図－２　動摩擦係数の経時変化

５．雪質が変化した場合の摩擦抵抗力

経時的に雪粒が粗大化することから，その状態では摩擦係数も変化する。モデル実験における経時的な動摩擦係数の変化を２通りのパネルヒーター温度についてみると図－２となる。図のように，各屋根葺材と雪ブロックの動摩擦係数は，何れの温度においても経時的に減少する傾向を示し，48時間経過までに測定開始時の1/3 程度となる。その後48時間を経過すると動摩擦係数は，ほぼ一定の値となる。この傾向に対するパネル温度の影響をみると，何れの屋根葺材も温度が高いほど動摩擦係数の減少率が若干大きくなる傾向にある。材料の違いによる影響は，光沢塗装鋼鈑と塗装ステンレス鋼鈑では同様であるが，艶消塗装鋼鈑は表面が粗いため，時間経過後においても動摩擦係数が他材料よりも大きい。

このように，積雪後における屋根面付近の雪と屋根葺材との動摩擦係数は，48時間経過頃まで経時的に顕著な減少を示すことが分かった。このことは，雪粒径と摩擦係数との関係を示した既往研究からみても妥当な結果であり[3]，経時的な雪粒の粗大化に依存する現象と考えられる。

６．まとめ

小屋裏からの伝熱がある屋根における積雪の経時的な雪質変化，およびその摩擦特性を実験的に検討した。その結果，積雪後48時間経過すると，屋根面付近の雪粒径は１mm程度まで粗大化し，粗大化した雪と屋根葺材との動摩擦係数は新雪時の 1/3程度まで減少することが分かった。このことから積雪後における経時的な雪質変化を考慮することによって屋根雪の滑落雪現象の発生時期をある程度推定することが可能になると考える。

[参考文献]

1) 山形敏明：北海道における市街地を対象とした雪氷防災に関する基礎的研究，北海道工業大学学位論文，1997.3

2) 竹中隆一，他３名：積雪寒冷地域における膜ドームの膜上積雪処理に関する研究その２，自然落雪と温風融雪の効果に関する解析，第９回寒地技術シンポジウム講演論文集，pp.7-12，1993.12

3) 伊東敏幸，高倉政寛，苫米地司：屋根雪の経時的変態に伴う滑落雪性状の変化，寒地技術論文・報告集，Vol.13，pp.352-357，1997.11