屋根上積雪荷重の制御に滑落雪処理を用いる場合の制御日数について

ON THE TERM CONTROLLED BY SNOW LOAD: PRACTICAL USE OF ROOF-SNOW SLIDING

高倉政寛 —*1 千葉隆弘 —*2
伊東敏幸 —*3 苫米地 司 —*4

Masahiro TAKAKURA —*1 Takahiro CHIBA —*2
Toshiyuki ITO —*3 Tsukasa TOMABECHI —*4

キーワード：
勾配屋根, 滑落雪, 積雪荷重, 制御

Keywords:
Sloped roof, Snow sliding, Snow load, Control

The phenomenon of accumulated snow sliding off a pitched roof of a building is frequently seen. The occurrence of snow sliding is affected by such factors as atmospheric temperature and temperature inside the attic. In this study, the following investigation was carried out in order to establish a method for evaluating snow load on a pitched roof that takes into account the occurrence of snow sliding. First, it examined about the characteristic of snow sliding resistance. It was found that the occurrence of snow sliding is greatly affected by adfreezing resistance and that this resistance decreases if the atmospheric temperature rises to -2°C or higher. Next, from these results on adfreezing resistance, we used data on atmospheric temperature obtained from a weather station to calculate the number of days required for snow sliding to occur. In this paper, we propose a method for evaluating snow load on a roof that includes consideration of the number of days required for snow sliding to occur.

1. はじめに

多雪地域に建設される建築物は、降積雪現象がもたらす問題を除外して計画することができない。特に大規模構造物の屋根上積雪荷重は大きな外力となり、構造上の制約を受ける場合が多い。そのため、屋内スポーツ施設等の大空間を必要とする建築物では、この荷重を積極的に制御する試みが行われている¹⁾²⁾。このような考え方を取り入れる場合は、何らかの方法で屋根雪を確実に処理する必要がある。屋根上積雪荷重の評価について、日本建築学会建築物荷重指針・解説（以下、荷重指針）をみると、実験や調査に基づいた検討によって十分に信頼性のある屋根雪処理が可能な場合にのみ、その処理性能に応じた制御積雪荷重の採用を認めている³⁾。さらに、荷重を制御する具体的な屋根雪処理方法の一つとして、積極的に雪を滑落させる方法を挙げている。この勾配屋根をもつ建築物で頻繁にみられる滑落雪を利用する方法は、処理に関する専用装置・熱源等を必要としないこと、雪処理に関する人為的なミスが起こりにくいことから、積雪荷重の制御を行う有効な屋根雪処理の一つと考える。

滑落雪現象を利用して積雪荷重を制御する場合、この現象の発生条件に関する十分な検討を行っておく必要がある。既往の研究によれば、滑落雪現象を妨げる抵抗力は外気温や小屋裏温度等の温度指標に依存している⁴⁾。すなわち、外気温や小屋裏温度等の推移を検討することで、滑落雪現象の発生に要する日数が明らかとなり、その日数内の積雪荷重を算出できると考える。

このようなことから本研究では、勾配屋根における滑落雪現象の発生を考慮した屋根上積雪荷重の評価手法を確立するための試みとして、この屋根における滑落雪の発生に必要な条件を外気温を指標として整理した。この結果を基に、滑落雪現象の発生に要する日数

を気象官署の地点別に統計処理した。これらのことから、屋根上積雪荷重の制御を行う場合の制御日数について考察した。

2. 研究の方法

2.1 滑落雪の発生に必要な基本的な温度条件

滑落雪現象を利用した屋根上積雪荷重の評価を行う場合、滑落雪現象の発生に至るまでの屋根上積雪状況を予測することが極めて重要となる。具体的には、屋根上に堆積する雪が荷重として建築物に加わる継続日数（滑落雪現象の発生までに要する日数）とその日数に積もり得る積雪量を把握しておく必要がある。

ここで、滑落雪現象の特徴について、既往の屋根上積雪観測結果をみると、滑落雪現象は塗装鋼板葺き（屋根勾配 30° 、無暖房）の屋根で $+1^{\circ}\text{C}$ 以上、膜材（屋根勾配 20° および 30° 、無暖房）では $-2\sim 0^{\circ}\text{C}$ の範囲で顕著に発生している¹⁾²⁾。さらに、屋根雪の滑落現象の発生に大きく関わる落雪事故の発生日をみると、この事故は、日最高気温が -3°C 以上の日に集中している⁵⁾。すなわち、滑落雪現象の発生は、温度指標に大きく依存しており、その指標について明らかにすることで、勾配屋根における積雪荷重の推移を検討できると考える。

積雪荷重の推移に関わる検討を行うためには、滑落雪現象を支配している諸抵抗力について整理しておく必要がある。ここで、諸抵抗力の特徴について述べると次のようになる。屋根雪の滑落雪現象を支配する諸抵抗力には、連続的な屋根雪の破断を抑止する雪塊相互の破断抵抗力と屋根雪と屋根葺材との間に発生する界面抵抗力がある。前者の抵抗力には、積雪の引張およびせん断抵抗力があり、この破断抵抗力は屋根形状の工夫、屋根面の温度分布を均一にすること等で、低減もしくは解除することが可能である⁶⁾。後者の界面抵

*1 北海道工業大学大学院 大学院生・修士(工学)
(〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

*2 北海道工業大学大学院 大学院生

*3 北海道工業大学建築工学科 講師・博士(工学)

*4 北海道工業大学建築工学科 教授・工博

*1 Graduate Student, Hokkaido Inst. of Tech., M. Eng.

*2 Graduate Student, Hokkaido Inst. of Tech.

*3 Lecturer, Hokkaido Inst. of Tech., Dr. Eng.

*4 Prof., Hokkaido Inst. of Tech., Dr. Eng.

抗力には、滑雪開始への抵抗力として作用する凍着抵抗力や静摩擦抵抗力、滑雪持続への抵抗力として作用する動摩擦抵抗力がある。ここで、これら3つの界面抵抗力のうち、凍着抵抗力について既往の研究^{4),7),8),9)}から得られる結果を整理すると図-1になる。図のように、凍着抵抗力は実験方法等によって大きな違いがあるものの、屋根用塗装鋼板の -10°C の実験温度では、いずれの研究でも $200\text{kg}/\text{m}^2$ 以上となる。例えば、屋根勾配 30° の建築物でこのような凍着抵抗力が作用すると、滑落の発生に必要な屋根上積雪深は 1.3m ($\sin\theta \times \text{積雪の単位重量} \div \text{凍着抵抗力} = \sin 30^{\circ} \times 300\text{kg}/\text{m}^3 \div 200\text{kg}/\text{m}^2$) 以上となる。一方、凍着抵抗力は -2°C 以上の温度となれば、この値が急減する傾向がみられる。これらの結果をみると、外気温が低温の場合には、凍着抵抗力が屋根雪の滑落雪現象の発生を大きく支配しているため、この現象を期待することが難しい。一方、プラス温度の外気温になると凍着抵抗力が低減することから、滑落雪現象が発生しやすい状況になると考える。

2.2 滑落雪現象の発生に要する日数

先に示したように、屋根雪の滑落雪現象の発生は、凍着抵抗力に大きく支配されている。従って、凍着抵抗力の大小に影響を及ぼす温度条件を整理することで、滑落雪現象の発生に要する日数を検討することが可能と考える。このようなことから、外気温の推移を指標として、滑落雪の発生に要する日数を算出した。ここで、荷重指標をみると積雪荷重の評価方法は、屋根上積雪の制御を積極的に行わない場合と、積極的に行う場合とで以下のように異なる。前者は、降雪が累積された積雪深（年最大積雪深）を用いるのに対し、後者では、屋根雪処理の性能に応じた期間内に積もり得る最大の積雪深（年最大7日増分積雪深）を用いて評価することが可能となっている。そのため本研究では、算出して得られた日数から荷重指標の年最大7日増分積雪深の適用圏域について検討した。

滑落雪の発生に要する日数は図-2に示す仮定を基に算出した。凍着抵抗力は、図-1で示したように $+2^{\circ}\text{C}$ の温度で $4\text{kg}/\text{m}^2$ 程度作用するケースが測定されているものの、この抵抗力は水分が凝固して屋根葺材に付着することが発生の要因であるので、 0°C が作用するか否かの境目と考える。このことから、凍着抵抗力は、 $-2 \sim 0^{\circ}\text{C}$ の温度になると急減し、 0°C 以上になると作用しないと暫定的に仮定した。この温度条件を図中に示したように3ランクに分けて、日最高気温が各ランクの境界温度以下になったときには、凍着抵抗力が作用して滑落雪現象が発生しないこととした。ここで、前述の通り、屋根雪が滑落する際には静・動摩擦抵抗力が作用する。これについて本研究では、滑落雪の条件を単純化するために、屋根勾配 θ と静・動摩擦係数 μ_s, μ_k との間に $\sin\theta > \mu_s$ および $\sin\theta > \mu_k$ が成立し、凍着抵抗力が解除されると滑落雪現象が発生する屋根を想定している。従って、実際の荷重評価に当たっては屋根葺材の表面性状や雪質が摩擦抵抗力に及ぼす影響^{10),11)}について十分に考慮した屋根勾配の設定を行っておく必要がある。

以上に示した仮定の基で、屋根上に雪が継続して堆積する日数の各年極値を気象資料から抽出した。なお、抽出に用いた資料は、気象官署148カ所における33年間(1962～1994年)の観測値が収録されているSDPデータである。

2.3 再現期待値の算出

屋根上に雪が継続して堆積日数は、積雪荷重の評価に大きく関わ

る事象であることから、本来であれば、設計される建築物の耐用年数以上の気象資料が確保されている状況下で、その資料を統計処理することが望ましい。しかし、統一的な方法で観測された気象資料で入手可能なものは、一般的な建築物の耐用年数よりも観測期間が短いことから、先に示したSDPデータから得られる堆積日数の各年極値を用いて再現期待値を算出した。再現期待値は、Gumbel確率紙上に33年分の各年極値をプロットし、そのプロット値を直線回帰して算出した。なお、再現期間値は、荷重指標で基本とされている再現期間100年に対する値とした。

3. 研究の結果

3.1 滑落雪現象の発生に要する日数の各年極値

滑落雪現象の発生に要する日数の各年極値をGumbel確率紙上にプロットした結果の一例をみると図-3となる。図のように、札幌の場合は、極値がほぼ直線的な分布であることから、33年間分のプロット値全てを直線回帰して、100年再現期待値を算出することができる。一方、釧路の場合では、極値が直線的に分布していないため、札幌と同様の方法で回帰すると、再現期間が長い場合、過小評価することとなる。このように、滑落雪現象の発生に要する日数は、地点ごとに極値分布（プロット値の分布）が異なっているため、その分布の差異に対応させて再現期待値を算出することが必要となる。ここで、地点の違いによって極値分布の形状が異なることが指

図-1 既往の研究から得られた凍着強度

図-2 滑落雪の発生に要する日数の算出仮定

摘されている年最大積雪深では、この違いに関して、極値上位 1/3 のプロット値のみを直線回帰することで、再現期待値を算出する方法が提案されている¹²⁾。この方法に従って再現期待値を算出した結果をみると図-4 になる。この図から得られる再現期待値は、再現期間 2 年 (非超過確率 50%) のようにその期間が極めて短い場合、再現期待値がプロット値を下回る場合があるものの、再現期間 100 年 (非超過確率 99%) に対する値を得る場合、図-3 で示した式に比べてプロット値に近似した再現期待値を得ることができる。屋根上積雪の堆積日数は、その値が積雪荷重の評価に用いられる場合、非超過確率 50% のような平準的な数値が要求されるのではなく、耐用年数中に起こり得る最大値が必要とされる。このことから、以下の検討では屋根に雪が継続して堆積する日数として極値上位 1/3 のプロット値のみを直線回帰して得られる 100 年再現期待値を用いることとした。

3.2 地点別にみた滑落雪現象の発生に要する日数

滑落雪現象の発生に要する日数、すなわち屋根上積雪の堆積期間の 100 年再現期待値が 7 日以上となる観測地点を表-1 に示す。表中の雄武における t (日最高気温) $\leq 0.0^\circ\text{C}$ の継続日数をみると 99 日となるため、3 カ月以上屋根上に雪が堆積することになる。このように、屋根面に 7 日以上雪が堆積する地点は、 $t \leq 0.0^\circ\text{C}$ の場合 27 地点

である。なお、いずれの温度条件でも北海道と東北の場合、全観測地点中 37 地点、 $t \leq -1.0^\circ\text{C}$ の場合 33 地点、 $t \leq -2.0^\circ\text{C}$ の場合 27 地点である。なお、いずれの地点条件でも北海道と東北の北部が 7 日以上屋根面に雪が堆積する結果となった。

表-1 に示した観測地点を日本地図上にプロットすると図-5 になる。図中の○印の地点は、滑落雪現象の発生条件となる各温度ランク以下の継続日数が 7 日未満となり、屋根上に 7 日以上雪が堆積しないことを示している。すなわち、荷重指針に示されている滑落雪現象を利用した制御積雪荷重 (年最大 7 日増分積雪深を用いた評価) の適用が可能な地点であると考えられる。次に、 $t \leq 0.0^\circ\text{C}$ の継続日数が 7 日以上になる地点をみると、該当する地点は全観測地点中の 25% となり、豪雪地帯対策特別措置法に指定されている地域の約 76% を占める。これらの地点は 7 日以内に滑落雪が見込めないため、信頼性の高い人工的な制御を行わない限り、年最大 7 日増分積雪深を用いた積雪荷重の評価ができない。しかし、これらの地点における継続日数をみると、北海道以南では継続日数が 10 日前後となる地点が多く、冬期間に何回かの滑落雪が発生することになる。このことから、屋根雪が自然に滑落する外気温を適切に評価できる場合は、これらの継続日数に対応する積雪量を用いることで積雪荷重の評価

図-3 滑落雪の発生に要する日数の各年極値と再現期待値 (各年極値の全てを直線回帰した場合)

図-4 滑落雪の発生に要する日数の各年極値と再現期待値 (極値上位 1/3 の値のみを直線回帰した場合)

表一 滑落雪に要する日数

行政区分	気象官署名	北緯(°)	東経(°)	標高(面高)(m)	滑落雪の発生に要する日数		
					$t \leq 0.0^{\circ}\text{C}$	$t \leq -1.0^{\circ}\text{C}$	$t \leq -2.0^{\circ}\text{C}$
北海道	稚内	45.42	141.68	2.8	74	60	52
北海道	北見枝幸	44.93	142.58	6.1	92	80	56
北海道	雄武	44.58	142.97	13.8	99	69	57
北海道	羽幌	44.37	141.70	7.9	63	61	31
北海道	紋別	44.35	143.37	15.8	73	66	52
北海道	網走	44.02	144.28	37.6	69	59	48
北海道	留萌	43.95	141.63	22.0	59	56	22
北海道	旭川	43.77	142.37	111.9	81	68	53
北海道	根室	43.33	145.58	25.8	57	44	36
北海道	岩見沢	43.22	141.78	42.3	60	52	32
北海道	小樽	43.18	141.02	24.9	43	24	22
北海道	札幌	43.05	141.33	17.2	30	30	18
北海道	釧路	42.98	144.40	31.7	63	31	25
北海道	帯広	42.92	143.22	38.6	48	32	23
北海道	倶知安	42.88	140.73	174.4	57	41	31
北海道	寿都	42.78	140.23	15.7	37	22	22
北海道	苫小牧	42.62	141.58	5.9	35	25	17
北海道	室蘭	42.32	140.98	42.6	41	22	21
北海道	広尾	42.30	143.32	32.4	45	30	25
北海道	浦河	42.17	142.78	33.5	38	21	11
北海道	江差	41.87	140.13	3.7	25	22	14
北海道	函館	41.82	140.75	33.2	22	18	16
青森	むつ	41.28	141.22	2.9	25	16	9
青森	青森	40.82	140.78	3.0	21	13	9
青森	深浦	40.65	139.93	66.1	20	11	7
青森	八戸	40.53	141.53	27.1	11	8	
秋田	秋田	39.72	140.10	9.4	10	8	
岩手	盛岡	39.70	141.17	155.2	14	10	8
岩手	大船渡	39.07	141.72	36.5	10		
山形	酒田	38.90	139.85	3.1	8		
山形	新庄	38.75	140.30	94.4	14	10	8
宮城	石巻	38.43	141.30	43.0	9		
山形	山形	38.25	140.35	152.5	11	9	
福島	若松	37.48	139.92	212.2	11	8	
栃木	日光	36.73	139.50	1291.9	42	21	21
長野	長野	36.67	138.20	418.2	10	8	
長野	軽井沢	36.33	138.55	999.1	14	10	7
岐阜	高山	36.15	137.25	560.2	9	8	
長野	諏訪	36.05	138.12	760.3	7		
滋賀	伊吹山	35.42	136.42	1375.8	79	73	43
徳島	剣山	33.85	134.10	1944.8	70	49	43
熊本	阿蘇山	32.88	131.08	1142.8	22	20	18

注) 表中の滑落雪の発生に要する日数7日は、再現期待値が7.1~8.0日であることを示す

図一五 滑落雪の発生に要する日数の地理的な分布

を行うことが可能と考える。

一方、人工的な滑落雪制御を行う建築物において7日増分積雪深を用いた積雪荷重の評価をする場合には、次のことが言える。継続日数は、 $t \leq -1.0^{\circ}\text{C}$ 、 $t \leq -2.0^{\circ}\text{C}$ と外気温ランクが下がるに伴って7日未満となる地点が増加する。これらの地点では、各外気温ランクの以下の日に人工的な制御を用いて、7日以上期間にわたって凍

着抵抗力が発生しないようにする必要がある。このことによって、荷重指針に示されている制御積雪荷重を適用することが可能になると考える。

このように、外気温の推移から得られる継続日数は、自然滑落雪あるいは、人工的な制御による滑落雪現象を捉える有効な指標になり得ると考える。

4. まとめ

本研究では、勾配屋根における滑落雪現象の発生を考慮した屋根上積雪荷重の評価手法を確立するための試みとして、滑落雪の発生と外気温との関係を既往の研究から整理した。整理して得られた仮定を基に、外気温を指標として滑落雪に要する日数を算出した。その結果、屋根雪を積極的に滑落させる場合に用いられる制御積雪荷重(年最大7日増分積雪深)の適用地域・適用条件が明らかになったと同時に、屋根雪が自然滑落するために必要な日数が明らかとなった。本研究で得られた結果は、一仮定を基に検討を行っているので実用に耐え得る段階には到達していないものの、今後の検証・調査等で滑落雪の発生する温度条件が十分に明らかとなれば、勾配屋根における屋根上積雪荷重の評価に寄与できると考える。

なお、本研究の一部は、1996—97年度文部省科学研究費基盤研究C(代表者: 苫米地 司)で実施したものである。

参考文献

- 倉橋 勲, 他4名: (仮称)但馬ドームの積雪荷重の検討, 日本建築学会技術報告集, 第5号, pp.91-95, 1997.12
- 苫米地 司, 他4名: 膜構造建築物における屋根上積雪荷重評価について, 日本建築学会技術報告集, 第5号, pp.31-36, 1997.12
- 日本建築学会編: 建築物荷重指針・同解説, pp.168-235, 1993
- 前田博司: 金属板屋根における積雪の滑落, 日本雪氷学会誌, 第41巻3号, pp.199-204, 1979.9
- 山形敏明, 苫米地 司: 屋根雪の落雪事故の発生要因について, 第12回日本雪工学会大会論文報告集, pp.35-38, 1996.1
- 苫米地 司, 他3名: 屋根雪の滑雪現象に関する基礎的研究, 日本雪工学会誌, Vol. 11, No. 2, pp.2-9, 1995.4
- 清水増治郎, 木村忠志: 氷点下における雪の屋根材への付着, 日本雪氷学会誌, 第54巻3号, pp.269-275, 1992.9
- 渡辺正朋: 屋根葺材と雪氷との凍着強さに関する研究, 第9回日本雪工学会大会論文報告集, pp.127-130, 1993.1
- 苫米地 司, 伊東敏幸: 屋根上積雪荷重の制御に関する基礎的研究, 日本雪氷学会誌, 第56巻3号, pp.215-222, 1994.9
- 渡辺正朋, 平井和喜: 屋根葺材と雪氷の摩擦に関する研究, 日本雪工学会誌, 第9号, pp.4-15, 1988.12
- 高倉政寛, 伊東敏幸, 苫米地 司: 経時的に雪質の変化した屋根上積雪と塗装鋼板との摩擦特性, 日本建築学会構造系論文集 第510号, pp.45-50, 1998.8
- 和泉正哲, 三橋博三, 高橋 徹: 年最大積雪深の確率統計的性質と再現期間推定法, 日本建築学会構造系論文集 第390号, pp.49-58, 1988.8

[1998年6月24日原稿受理 1998年11月4日採用決定]