勾配屋根に取り付けられる雪止め金具の評価について

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF SNOW GUARDS ON A SLOPED ROOF

高倉政寛 —*1 伊東敏幸 —*2
 苫米地 司 —*3

Masahiro TAKAKURA —*1 Toshiyuki ITO —*2
 Tsukasa TOMABECHI —*3

キーワード:

勾配屋根, 雪止め金具, 屋根雪

Keywords:

Sloped roof, Snow guard, Roof snow cover

Snow falling off roofs of houses in cities and towns in snowy regions often causes problems with neighbors and injuries or even deaths. One solution for such problems and accidents is to use snow guards on sloped roofs to prevent the sliding of snow. Experiments were carried out in this study on the strengths of snow guards and spacing between snow guards on a sloped roof. The following results were obtained.

1) The smallest value of the coefficient of friction should be used for calculating the number of necessary snow guards. The coefficient of friction between the roofing material and snow on the roof is smallest in the case of wet granular snow. The results of an experiment showed that a coefficient of friction of less than 0.1 should be used for calculating the number of necessary snow guards.

2) The results of an experiment on strengths of snow guards showed that there was a difference of about two fold between the weakest and strongest snow guards, indicating that the strength of snow guards should be considered when determining the number of snow guards to be used on a roof.

3) Snow guards should be attached at intervals that will prevent creeping of the snow between snow guards. Creeping of snow on a sloped roof occurs more easily the thinner the layer of snow is. The results of an experiment carried out on roofs with gradients of 21.8-30.9 degrees showed that snow guards must be attached to the roof at intervals of less than 680 mm in order to prevent creeping of a snow layer of 10 cm in thickness.

1. はじめに

多雪地域の都市部では、屋根雪の落雪に関わる隣地住宅とのトラブルや落雪事故等が毎年発生している¹⁾。これらのトラブルや事故防止対策の一つとして、勾配屋根では、雪止め金具を設置し、落雪を抑制する場合もある。雪止め金具の設置について北海道や青森県の条例²⁾をみると、道路や隣地境界線に近接していて氷雪の落下により危害を生ずる恐れのある屋根には、雪止めを設ける等の処置を施さなければならない。そのため行政では、昭和50年前後に実施された実験等に基づいて^{3, 4)}、指導要領を定めて対応している。しかし近年では、写真-1のように屋根の葺工法や雪止め金具が多様化し、立葺のみだけではなく横葺の屋根もみられるようになっている。そのため、現状の指導要領では十分に対応できない状況にある。

このようなことから、本研究では、北海道や東北で広く用いられている塗装鋼板葺用の雪止め金具を対象に、金具の負担力や設置間隔について実験的な検討を行った。この検討結果から、雪止め金具の設置方法について考察した。

2. 雪止め金具の設置に関わる諸力とその測定方法

雪止め金具が設置された屋根では、堆積した雪が軒先から落下しないように計画する必要がある。ここで、雪止め金具に関わる諸力を模式的に示すと図-1になる。図のように、屋根で発生する落雪は、雪の自重によって落雪しようとする力Sと雪止め金具の負担力R_{sg}、屋根葺材と屋根雪との摩擦抵抗力R_fとの釣り合い関係に支配されており、「雪の自重によって落雪しようとする

力S」が「雪止めの阻止力R_{sg}+摩擦抵抗力R_f」を上回った場合、雪止め金具が破損もしくは脱落して事故につながる。この釣り合い関係から、屋根雪が滑落しない条件を示すと式1)になる。

$$Y \cdot N > \rho \cdot H (\sin \theta + \mu \cdot \cos \theta) \quad \dots \text{式1)}$$

ここに、

Y: 雪止め金具1個あたりの負担力(kN/個), θ : 屋根勾配(°)

N: 1 m²当たりの雪止め金具必要個数

μ : 屋根葺材と屋根雪との摩擦係数

ρ : 積雪の単位重量(kN/m³), H: 屋根上積雪深(m)

写真-1 雪止め金具の設置状況 (左: 横葺用, 右: 立葺用)

図-1 雪止め金具に関わる諸力

*1 北海道立北方建築総合研究所都市防災科 博士(工学)
 (〒078-8801 旭川市緑が丘東1条3丁目1-20)

*2 北海道工業大学建築学科 助教授・博士(工学)

*3 北海道工業大学建築学科 教授・工博

*1 Researcher, Hokkaido Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Prof., Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

式1)のように、雪止め金具の設置を行う場合は、屋根雪と屋根葺材との摩擦係数、雪止め金具1個当たりの負担力（金具が屋根から脱落せず破損しない限界強度）等を明らかにしておく必要がある。これらを検討するために、以下に示す3つの実験を行った。

(1) 屋根葺材と屋根雪との摩擦特性に関する実験

屋根雪と屋根葺材との摩擦特性は、動摩擦係数を測定して評価した。動摩擦係数は屋根葺材上に幅100×奥行100×高さ50mmの雪氷体ブロックを設置し、6mm/secの速度で水平滑動させて測定した。雪氷体ブロックは、真冬の積雪層の大部分を占めるしまり雪、さらに降雪から長期間経過したザラメ雪を自然積雪層から採取し、ブロック状に形成した。図-2に動摩擦係数の測定手順を示す。屋根雪と屋根葺材との摩擦界面は、氷点下の乾燥状態から融雪過程の湿潤状態まで考えられる。このことから、図のように、摩擦界面が乾燥している-10℃から徐々に恒温室の温度を上昇させて雪氷体ブロックを融雪させながら、1時間毎に動摩擦係数を測定した。実験に用いた屋根葺材は表面粗さの異なる塗装鋼板6種類とした。選定した塗装鋼板の表面粗さ R_z は1.40～26.13 μm である。

(2) 雪止め金具の負担力に関する実験

雪止め金具には、立葺用の他に横葺用等があり、金具の種類によって負担力に違いがあると考えられる。このことから、写真-2に示す市販されている3種類の雪止め金具を対象に、屋根へ設置した際の1個当たりの負担力を測定した。実験では、写真-3のように、模擬屋根に取り付けた雪止め金具に約10mm/minの速度で水平力を加えて金具が破損・脱落するまでの水平変位および荷重を測定した。

(3) 雪止め金具の設置間隔に関する実験

雪止め金具は、金具間に堆積した雪が落雪しない間隔で設置する必要がある。このことから、雪止め金具を設置した模擬屋根（屋根面積3.6 m^2 ）に自然雪を堆積させて、屋根雪が変形・落雪の様子をタイムラプスビデオカメラを用いて、1秒1コマ毎に観察した。模擬屋根の屋根勾配は4および6寸勾配とし、屋根上の積雪深は、10、20、30cmの3段階とした。

3. 実験の結果

(1) 屋根雪と屋根葺材との摩擦係数

雪止め金具の設置評価に用いられる摩擦係数は、屋根雪が最も滑りやすい条件として、最小値が必要となる。ここで、屋根雪と屋根葺材との摩擦係数について測定した結果を示すと、図-3になる。図のように、動摩擦係数は、屋根葺材および屋根雪が乾燥した状態（D-10、D-5、D-2）さらに屋根葺材と屋根雪との界面が十分に湿潤している状態（W4）において小さな値を示す。雪質の違い別に摩擦係数の平均値をみると、ザラメ雪（○印）の場合は、しまり雪（●印）に比べて全体的に摩擦係数が小さくなる傾向を示す。すなわち、降雪後、時間が経過した屋根雪であるほど、滑りやすくなる。次に、屋根葺材の種別毎に摩擦係数の最小値をみると、雪質に関わらず表面が平滑な屋根葺材（ $R_z: 1.4\mu\text{m}$ ）で最小の動摩擦係数となり、屋根に長期間雪が滞留した状態で想定される湿潤状態のザラメ雪で0.1程度の値になる。

これらの結果をみると、雪止め金具に関する検討に用いる摩擦係数は、湿潤状態のザラメ雪で平滑な屋根葺材を想定する必要がある。この条件の動摩擦係数は0.1程度であり、10°程度の屋根

勾配でも落雪し得る。従って、雪止め金具を設置する屋根の評価では、0.1未満の摩擦係数を用いる必要があると考える。

(2) 雪止め金具1個当たりの負担力

雪止め金具の負担力を測定した結果は、以下の通りである。雪止め金具に水平荷重を加えた際の変位状況を金具T1、Y1を例として図-4に示す。図のように、T1の場合5mm、Y1で2mmを越える変位になると、金具が屋根葺材の塗装を削りながら移動し始める。このような状況になると、雪止めの効果を十分に発揮できないとともに、屋根葺材を損傷し雨漏りの原因となる。このことから、

図-2 動摩擦係数の測定手順

写真-2 負担力の測定に用いた雪止め金具

写真-3 水平加力の様子

図-3 屋根雪と屋根葺材との動摩擦係数

雪止め金具の設置に関する検討を行うためには、金具に過剰な力が作用しないよう適切に評価する必要がある。

図-4中に示した荷重-変位の比例限界から雪止め金具の負担力を算出すると表-2になる。なお、表中の負担力は、比例限界荷重を4回測定した結果の平均値である。表のように、負担力は金具の種類によって大きく異なり、T1は、T2、Y1に比べて1/2程度の値を示す。このように、雪止め金具は、その種類によって負担力の限界が大きく異なる。そのため、金具の設置を行う場合には、個々の金具の強度特性等の性能値を明らかにするとともに、その性能値に基づいて設置個数を評価すべきと考える。

4. 雪止め金具の設置個数と設置間隔

(1) 雪止め金具の設置個数

屋根雪と屋根葺材との摩擦係数、雪止め金具の負担力測定結果から、1㎡当たりの雪止め金具必要個数を算出した。金具の必要個数の算出には、先に示した式1)を用いた。なお、式1)中の単位積雪重量 ρ は、日本建築学会建築物荷重指針に示されている積雪深から ρ を求める式⁵⁾を用いた。

雪止め金具の負担力別に金具の必要個数を示すと表-3となる。なお、屋根葺材と屋根雪との摩擦係数 μ は、先の実験結果に基づき0.05に設定している。表中の積雪深 $H=1.3\text{m}$ の場合を例にとると雪止め金具の負担力が0.6kN/個の場合、4寸勾配($\theta=21.8^\circ$)で1㎡当たり2.32個を越える雪止め金具が必要となる。なお、金具の負担力が2倍の1.2kN/個となった場合、1㎡当たりの設置個数は、1.16個/㎡となり、0.6kN/個の金具の半分の数量となる。ここで、北海道では積雪深1.3m、4寸勾配の場合、雪止め金具が1.67個/㎡以上となるように指導されている。表-3と指導値とを比較すると、1.2kN/個の金具では問題ない設置個数となる。しかし、図-4および表-2に示したT1金具を選定した場合、指導値は表-3で示した設置個数の7割程度であるため十分な設置個数とは考えにくい。このように、現行の指導値は、雪止め金具の設置強度に対する考え方が不明瞭であり、市販されている多様な雪止め金具の性能差に対応していない。従って、現行の行政指導値に基づいて雪止めの設置個数を決める場合には、金具一個当たりの負担力と屋根への設置個数との関係が適正であるかを確かめる必要がある。また、負担力不足の金具については、式1)に基づいて1㎡当たりの金具個数を別途、再評価する必要がある。

(2) 雪止め金具の設置間隔

雪止め金具の設置には、金具個数の他に金具の設置間隔も重要となる。金具間隔が広い場合では、金具間に堆積した雪が落雪してしまう。このことから、雪止め金具の設置間隔を既往の研究から得られる積雪の引張・せん断強度⁶⁾から検証する。金具の設置間隔を落雪の有無を釣合式として示すと式2)となる。なお、本式は、巻きだれの発生に関わる雪のクリープは考慮されていない。

$$W < 2 (\exp(7.84(\rho/1000)-7.40)/(\rho (\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta))) \quad \dots \text{式2)}$$

ここに、

W：雪止め金具の設置間隔(m)， θ ：屋根勾配($^\circ$)

μ ：屋根葺材と屋根雪との摩擦係数，

ρ ：積雪の単位重量(kg/m³)

式2)を用いて屋根勾配毎の設置間隔の最大値を算出すると、3寸勾配で1.22m、4寸で0.9m、6寸で0.62m、8寸で0.50m(積雪の破壊しやすい単位重量としてこしり雪の密度 $\rho:200\text{kg/m}^3$ 、摩擦係数 $\mu:0.05$ を想定)となる。式2)に基づいた仮定を実験によって検証した結果をみると、写真-4になる。なお、実験時の屋根勾配は4寸である。写真のように、屋根雪が30cm程度堆積した状態では式2)の通り落雪していない。しかし、初冬、晩冬期に想定される10cmの少ない積雪深においては、巻きだれが発生し、金具間で落雪する。このように、10cm程度の少ない積雪深におい

図-4 雪止め金具に水平荷重を加えた際の変位状況

表-2 雪止め金具の概要と負担力の測定結果

金具CODE	金具の形状	取り付け方法	水平加力後の金具	破損・脱落の状況	金具の負担力
T1		はぜ掛け部分に金具をはめ込んで、木樋で叩いて固定する。金具に水平荷重が加わるほど、はぜへの金具締め付け力が強くなる形状となっている。		荷重増加に伴い、はぜから浮き上がり、脱落。浮き上がりに伴い、屋根葺材に穴をあける。	0.63kN
T2		はぜ掛け部分に金具をはめ込んで、ボルト2本(8φ)で締め付けて固定する。締め付けトルクは、既往の研究を参考に、1.75kgf・mとした ⁴⁾ 。		荷重増加に伴い、立ちはぜ上を、水平滑動する。滑動時に屋根葺材の塗装を損傷。	1.22kN
Y1		横並び手部分に金具をはめ込んで、ボルト2本(8φ)で締め付けて固定する。締め付けトルクは、1.75kgf・mとした。		荷重増加に伴い、屋根葺材表面を削りながら移動後、脱落。	1.24kN

注) 金具の負担力は、荷重-変位の比例限界とした。

表-3 積雪深別にみた雪止め金具の設置個数の算出結果

積雪深 (m)	積雪の単位重量 (kN/m^3)	屋根勾配 寸 度	雪止め金具の負担力 0.6kN/個 1.2kN/個	積雪深 (m)	積雪の単位重量 (kN/m^3)	屋根勾配 寸 度	雪止め金具の負担力 0.6kN/個 1.2kN/個	積雪深 (m)	積雪の単位重量 (kN/m^3)	屋根勾配 寸 度	雪止め金具の負担力 0.6kN/個 1.2kN/個
0.7	3.07	2 11.3	0.53 0.26	1.1	3.23	2 11.3	0.87 0.44	1.5	3.36	2 11.3	1.23 0.62
		3 16.7	0.86 0.43			3 16.7	1.42 0.71			3 16.7	2.01 1.01
		4 21.8	1.16 0.58			4 21.8	1.92 0.96			4 21.8	2.73 1.37
		6 31.0	1.69 0.85			6 31.0	2.80 1.40			6 31.0	3.97 1.98
0.8	3.12	2 11.3	0.61 0.31	1.2	3.26	2 11.3	0.96 0.48	1.6	3.39	2 11.3	1.33 0.66
		3 16.7	0.99 0.50			3 16.7	1.56 0.78			3 16.7	2.17 1.08
		4 21.8	1.35 0.67			4 21.8	2.12 1.06			4 21.8	2.94 1.47
		6 31.0	1.96 0.98			6 31.0	3.08 1.54			6 31.0	4.27 2.14
0.9	3.16	2 11.3	0.70 0.35	1.3	3.30	2 11.3	1.05 0.52	1.7	3.42	2 11.3	1.42 0.71
		3 16.7	1.13 0.57			3 16.7	1.71 0.86			3 16.7	2.32 1.16
		4 21.8	1.54 0.77			4 21.8	2.32 1.16			4 21.8	3.15 1.57
		6 31.0	2.24 1.12			6 31.0	3.37 1.69			6 31.0	4.58 2.29
1.0	3.19	2 11.3	0.78 0.39	1.4	3.33	2 11.3	1.14 0.57	1.8	3.45	2 11.3	1.52 0.76
		3 16.7	1.27 0.64			3 16.7	1.86 0.93			3 16.7	2.48 1.24
		4 21.8	1.73 0.86			4 21.8	2.53 1.26			4 21.8	3.36 1.68
		6 31.0	2.51 1.26			6 31.0	3.67 1.83			6 31.0	4.88 2.44

ては、経時的な雪の物性変化に伴ってクリープが発生するため、軒先に近い部分の雪止め金具は、他の部分に比べて密に配置する必要がある。10cmの積雪深における雪止め金具間の落雪について検証を行った結果をみると、図-5となる。図のように、札幌における初冬、晩冬の日最高気温で推移する実験室で屋根雪の様子を観察すると、落雪しないためには、4～6寸勾配の屋根の場合で680mm以下の金具間隔にする必要があった。

これらの結果をみると、雪止め金具の設置間隔に関する評価する場合は、雪のクリープによる巻きだれや部分的な落雪の影響を考慮すべきと考える。現状、札幌市は、雪止め金具の設置間隔を立ちはぜ間隔毎(約0.45m)に千鳥配置するよう指導している。この指導の背景には、指導要綱の作成当時における北海道の鋼板葺屋根の多くが、写真-1の右に示した立葺で、桁行方向における雪止め金具の配置間隔に制限があったためと考える。しかし、近年では、同写真左のような横葺の屋根も普及しており、単純にはぜ間隔毎に設置する評価方法では不十分であろう。何らかの根拠に基づいた設置間隔を明示する必要がある。例えば、表-3で示した雪止め金具の1個当たりの負担力から「1 m^2 当たりの金具設置個数」を明らかにした後、屋根雪のクリープの影響を考慮し、図-5で示した「軒先に近い部分の金具設置間隔」を評価するのも一案である。このように、雪止め金具強度特性と屋根雪の物性の両面に配慮した雪止め金具の設置評価手法が必要と考える。

4. まとめ

本研究では、雪止め金具の負担力測定および屋根雪と屋根葺材との摩擦係数を測定した。さらに、雪止め金具の設置間隔に関する実験的な検証を行った。その結果をまとめると次のようになる。

- 1) 雪止め金具の設置に係る検討を行う場合は、屋根雪が長期間滞留することを考慮して、湿潤したザラメ雪の状態を想定しなければならない。湿潤したザラメ雪と屋根葺材との摩擦係数 μ を測定した結果、 μ を0.1未満で設定する必要がある。
- 2) 雪止め金具の負担力は金具の種類によって2倍程度の違いが見られる。屋根面1 m^2 当たりの止め金具の設置個数は、個々の金具の性能値を十分に評価できるようにする必要がある。
- 3) 雪止め金具の設置間隔を決定する場合は、雪のクリープによる巻きだれや部分的な落雪の危険について十分に考慮する必要がある。屋根勾配が4～6寸で、10cm程度の積雪深において屋根雪の落雪を抑制するためには、軒先付近の金具置間隔を680mm以下にする必要がある。

写真-4 雪止め金具の設置間隔に関する実験の様子

図-5 雪止め金具の間隔が落雪に及ぼす影響

【参考文献】

- 1) 山形敏明、吉米地司：屋根雪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
- 2) 日本建築士事務所連合会編：実務者のための積雪寒冷地建築技術資料 I および II，1984.8
- 3) 藤村成夫、葛西英夫、他 5 名：屋根の雪止め金具の実験、北海道立寒地住宅都市研究所調査報告集，1979
- 4) 川治政則、藤村成夫、他 3 名：屋根の雪止めに関する研究 1，北海道立寒地住宅都市研究所調査報告集，pp.109-115，1980
- 5) 日本建築学会編：建築物荷重指針・同解説，1993
- 6) 吉米地司、伊東敏幸、他 2 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，pp.2-9，1995.4

[2002年10月7日原稿受理 2003年2月25日採用決定]