

屋根雪荷重の制御について

○川上俊一，伊東敏幸，苫米地司（北海道工業大学）

1. はじめに

近年，積雪寒冷地に膜構造物やガラスを用いたアトリウムなどの大規模構造物の建設が本格化されるに伴い，屋根上積雪荷重の評価方法の確立が望まれている。建築物の屋根上積雪荷重は，50年あるいは100年に一度降り積もる雪の最大積雪深が屋上に積もるとして現行では設計されている¹⁾。しかし，現実としては，屋根葺材の特性や内部空間を生かすために屋根上に雪が積もらない状態が望ましい。そのため何らかの方法で屋根上積雪を除去することが必要となる。大規模構造物では，屋根勾配を利用して滑雪させたり，熱エネルギーを与えて融雪させたりして屋根雪を処理することが一般的である。しかし，この場合屋根葺材と屋根雪との界面に働く凍着力が大きいために²⁾，滑雪現象は不規則な発生となる。このため，滑雪等による屋根上雪荷重の低減が認められない現状にある。

このような背景から本研究では，合理的な屋根上積雪荷重の制御方法を確立することを目的に各種屋根葺材と雪氷体との間に働く凍着性状について検討した。

2. 実験方法

凍着力に関する既往の研究例をみると，吉田

他（1991）では直接水を氷結させる方法で測定し，渡辺他（1993）ではフレーク状の水に水を加えて氷結させる方法で測定している。これらの実験結果を比較すると，凍着方法の違いによって凍着力が大きく異なっている。このため本研究では，凍着方法による違いおよび既往の研究結果との比較検討を行った。凍着力は写真1に示す水平滑雪装置を用いて以下に示す2通りの凍着方法による実験を行った。実験に用いた試料概要および実験シリーズを表1に示す。

1) 屋根葺材上で直接水を氷結させる方法

屋根葺材上で直接水を氷結させる方法（凍着方法A）は，屋根葺材に塩ビ管（内径31mm，高さ30mm）を設置し実験温度に冷却した後，所定の水量を入れて凍着させた。凍着時間は -10°C では3時間， -5°C では5時間， -2°C では8時間とした。

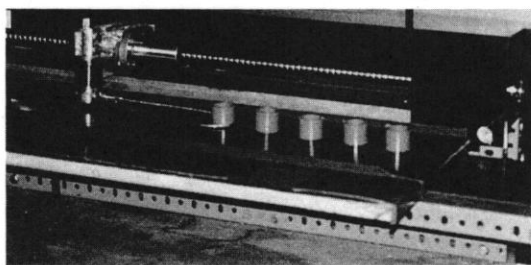


写真1 水平滑雪装置の概要

表1 試料概要および実験シリーズ

材料 種別	試料 CODE	試料概要	凍着方法 A			凍着方法 B		
			温度（℃）					
			-10	-5	-2	-10	-5	-2
高分子 材料	P	着色亜鉛鉄板（ポリエスチル樹脂光沢）	○	○	○	○	○	○
	PAG	塗装溶融亜鉛－5%7%ニッケル合金めっき鋼板	○	○	○	○	○	－
	F	着色亜鉛鉄板（フッ素樹脂）	○	○	○	○	○	－
	CS	塗装ステンレス鋼板	○	○	○	○	○	－
金属 材料	S	冷間圧延ステンレス鋼板	○	○	○	○	○	○
	Z	亜鉛合金板	○	○	○	○	○	○
無機 材料	FG	フロート板ガラス	○	○	○	○	○	○
	PG	磨き板ガラス	○	－	○	○	○	－

2) 屋根葺材上で氷ブロックを凍着させる方法

屋根葺材上で氷ブロックを凍着させる方法（凍着方法B）は、1)と同様の塩ビ管内に予め氷を作成し、屋根葺材上を水で濡らし氷ブロックを凍着させた。凍着時間は -10°C では 2 時間、 -5°C では 3 時間、 -2°C では 5 時間とした。このように 2 通りの方法によって凍着させた後に $10\text{mm}/\text{min}$ の速度で荷重を加え剥離させた。この剥離した時の荷重を付着面積で除した値を凍着力 (kgf/m^2) とした。

3. 実験結果

図1に高分子材料P（着色亜鉛鉄板：ポリエステル樹脂光沢）の凍着力と実験温度との関係を示す。図のように、いずれの凍着方法においても温度の増加に伴い凍着力は減少する傾向を示す。凍着方法による差異をみると、いずれの温度条件においても凍着方法Aの方が凍着方法Bよりも大きな値を示す。ここで、両者の比 (A/B) をみると、 -10°C で 3.8、 -5°C で 16.6、 -2°C で 10.8 となり、 -5°C では -10°C の 4 倍以上のバラツキがみられる。

次に、金属材料S（冷間圧延ステンレス鋼板）の凍着力と実験温度との関係を図2に示す。図のように、いずれの凍着方法においても温度の増加に伴い凍着力は減少する傾向を示す。凍着方法による差異をみると、いずれの温度条件においても凍着方法Aの方が凍着方法Bよりも大きな値を示す。両者の比 (A/B) をみると、 -10°C で 3.3、 -5°C で 2.0、 -2°C で 1.4 となり、両者の差は温度の上昇に伴い緩やかに減少する。

同様に、無機材料FG（フロート板ガラス）の凍着力と実験温度との関係を図3に示す。図のように、凍着力の減少や凍着方法による差異は、前述の材料と同様な傾向を示す。しかし、 -5°C 、 -2°C において雪氷体は、最大荷重に達した後に直ちに剥離せず、滑るように荷重が低下するのが確認された。これは、表面が非常に平滑なガラス表面においては、雪氷体との界面に大きな力である粘性作用が生じたためと考える。両者の比 (A/B) をみると、 -10°C で 7.3、 -5°C で 25.2、 -2°C で 1.7 となり、 -5°C では -10°C

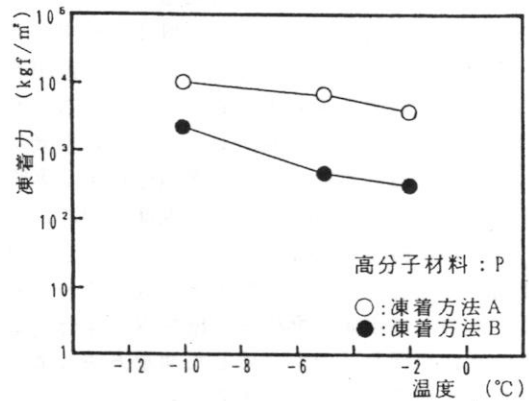


図1 凍着力と実験温度との関係

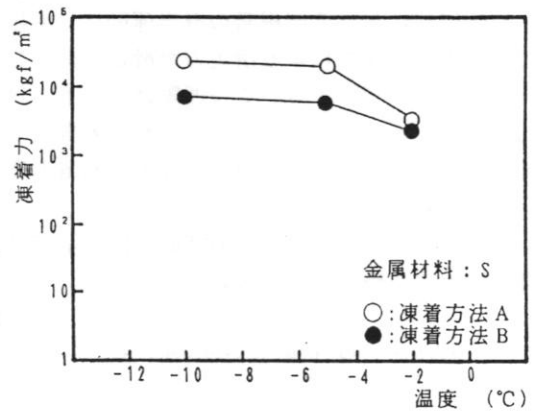


図2 凍着力と実験温度との関係

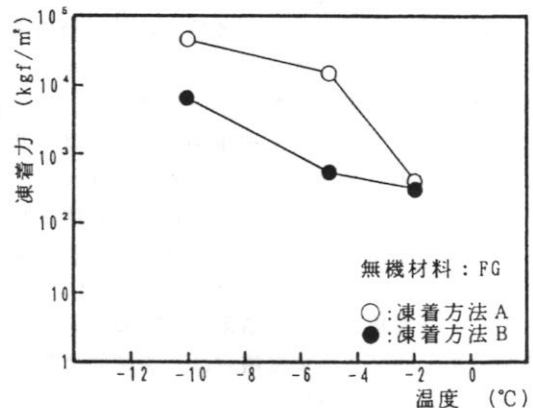


図3 凍着力と実験温度との関係

の3倍以上のバラツキがみられる。

次に、無機材料FGにおける既往の研究結果と本研究の結果を合わせて図4に示す。吉田他による実験結果と凍着方法Aは、どちらも温度の増加に伴い凍着力が減少し、 -2°C では急激に低下している。これに対して渡辺他による実験結果と凍着方法Bは、どちらも温度の増加に伴い緩やかに減少する傾向がある。このように凍着力は、凍着方法によって大きく異なるといえる。そのため現実には発生する屋根雪の凍着現象を的確に把握し、それに応じた凍着方法による凍着力を測定する必要があると考える。

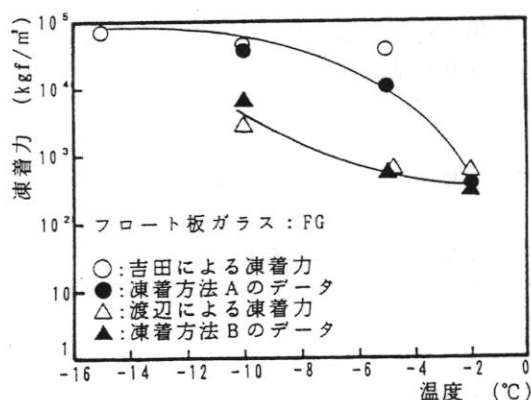


図4 凍着力と実験温度との関係

4. 屋根上積雪荷重の制御について

勾配屋根における屋根雪の滑走運動は、屋根雪の位置エネルギーによる滑走力が滑走抵抗力を超えるときに開始する。この運動は、雪氷の界面状態に大きく左右される。そのため屋根雪を滑雪させるためには、屋根雪に作用する諸力を把握する必要がある。

図5に示す滑雪時に働く力学的要因を基に滑雪開始条件を検討すると次式となる。

$$M \sin \theta > F_a + M \cdot \mu_s \cdot \cos \theta + F_t$$

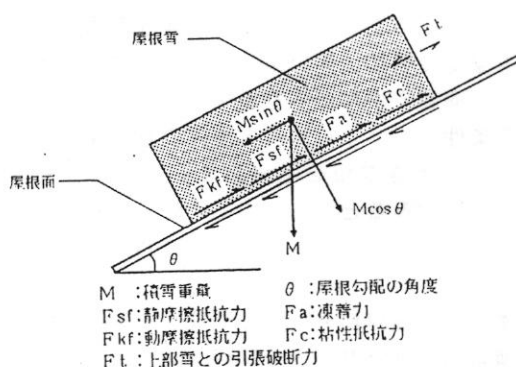


図5 屋根雪の滑雪時に働く力学的要因

ここでガラスの諸抵抗力は、 F_a :426~50426kgf/m² (-2°C ~ -10°C), μ_s :0.235 (0°C の場合), F_t :約0.2kgf/cm² 密度(0.2g/cm³)となる。

実験で得られたように、凍着力は他の滑雪抵抗に比べて極めて大きな値であることから、滑雪運動は凍着力に支配されると考える。そのため屋根雪を滑雪させて荷重制御するには、凍着力を低減する必要がある。凍着力は凍着方法によって異なることが、実験結果から確認されているため、凍着力を低減するには屋根雪の凍着過程を明らかにしなければならない。

図6に降雪時に発生する屋根雪の凍着過程の例を示す。図のように屋根雪は、連続的に降雪が繰り返されると屋根面上に積雪される。積雪した屋根雪は、外気温、小屋裏温度、および日射量などの外的要因の影響を受けて屋根葺材界面に融解が生じる。この融解水が外気温の低下

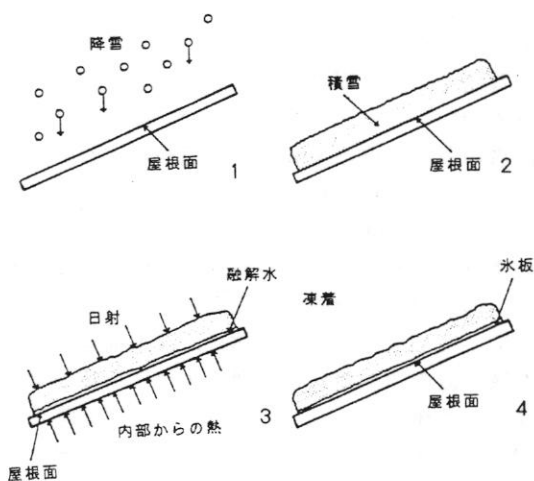


図6 降雪時の屋根雪の凍着過程

により氷結して屋根雪を凍着させる。この過程で凍着した屋根雪の滑雪を考えてみると、熱エネルギーを供給することにより、凍着力を低減することが可能となり、屋根勾配による重力滑雪を容易にすることが可能である。この場合、氷結時の積雪重量によって凍着力が変化することが既往の研究³⁾で指摘されていることから、積雪重量による影響も考慮しなければならない。この凍着力の特性を明らかにするためには、屋根葺材表面に伝わる熱伝導性や供給エネルギー量、外気温による界面の温度変化などの屋根葺材の凍着性状を明確にしなければならない。これらのことにより、凍着力の低減が意図的に抑制されると許容積雪重量の範囲で滑雪が促され、設計用屋根上雪荷重の低減を見込むことができる。以上のことを考慮して屋根上雪荷重を制御すると以下のことがいえる。

札幌市における積雪深の変化過程（積雪深極値年第4位、1977.12.1～1978.4.30）を図7に示す。図のように3回に渡って1日30cmを超える積雪があり、2月3日には最大積雪深の125cmに達している。ここで、図7に示した積雪深がそのまま屋根に積もったと考えると積雪重量の変化過程は図8となる。この積雪状態を用いて積雪重量を 100kg/m^2 で制御すると仮定した場合図9となる。図のように制御荷重に達したら速やかに滑雪させ、常に制御荷重以上に堆積させないことにより、積雪重量は最大でも 100kg/m^2 に留まり、豪雪時などの積雪深の急増に対応が可能となる。

この様に雪荷重の制御方を確立させることにより、凍着力および設計用屋根上雪荷重が低減され、建築物の耐久性、経済性が向上されると考える。

5. まとめ

本研究により、屋根雪荷重を制御する上で最も大きい抵抗力である凍着力について実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。凍着力は、雪氷体の凍着方法によって異なる。屋根雪の滑雪は、凍着力を軽減することによって促進させることが可能である。凍着力を軽減する

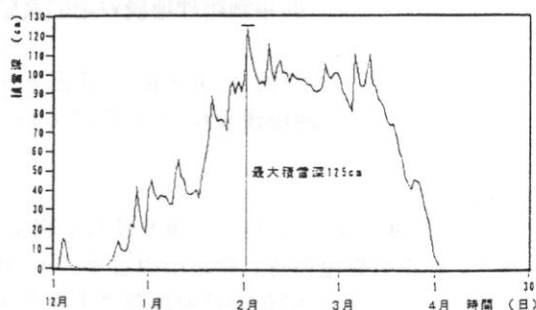


図7 札幌市における地上積雪深の変化過程

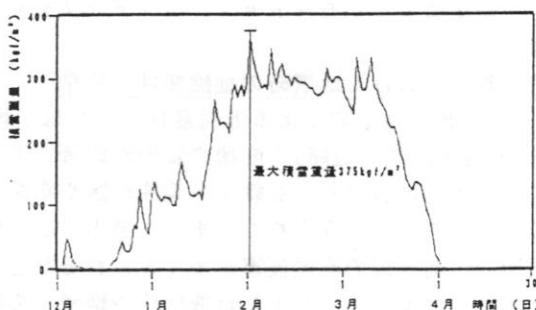


図8 屋根雪の積雪重量の変化過程

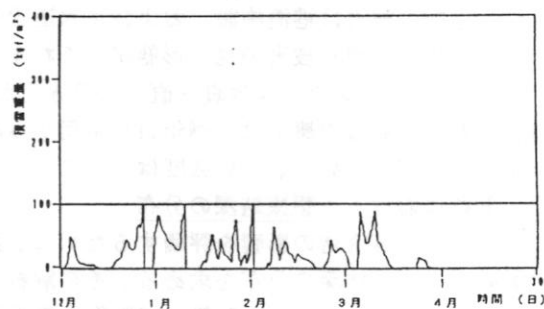


図9 屋根雪荷重の制御

ためには、屋根雪と屋根葺材との凍着性状および熱供給による凍着力の低減状況を明らかにしなければならない。これらの条件を建物管理者が常に把握し、屋根雪を計画的に制御することによって屋根上雪荷重の低減が可能になる。

今後は、屋根雪の凍着過程および供給エネルギー量について算出、検討が必要と考える。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説, pp. 169-176
- 2) 吉米地 司他：各種屋根葺材と屋根雪との凍着性状について、日本雪工学会大会論文報告集, pp. 119-122, 1993. 1
- 3) 清水 増次郎：氷点下における雪の屋根材への付着、日本雪工学会誌54巻3号, pp. 269-275, 1992. 9