

木造住宅屋根部位の雪被害対策構法に関する研究（梗概）

渡辺 正朋

はじめに

屋根雪にかかわる住宅の耐雪性向上あるいは雪被害対策の枠組みは、“荷重現象”に対する構造耐力の合理化、“融解・凍結現象”の制御による建物保全および“移動・落下現象”の制御による落雪被害等の防止の3点である。

各現象への対応に直接関連する建築部位は、雪荷重については構造躯体や小屋組であり、融解・凍結および移動・落下については屋根部位そのものである。

従来の雪国の一般的な住宅は、いずれの面でも耐雪性の水準は低い。このため、建物の損壊や事故防止のための保安・保全は、自助的対応としての雪下しや雪囲いによってなされ、それらは、建物と雪況に応じて様々に工夫され、システム化されていた。しかし、この雪処理作業システムは、雪国の都市化の進行に伴い近年急速に崩壊が進行しており、その結果として屋根雪被害が拡大している。

建築物の雪被害は、一般に異常積雪が広域におよぶ豪雪時あるいは平年積雪が極めて多い地域での建物損壊など雪荷重による災害的側面として理解されやすいが、多雪地にあっては前述の3現象のすべてが、少雪地にあっては荷重問題を除く2現象が恒常的に建物に作用していることから、これらによる被害は日常化しているのが事実である。

つまり、融解・凍結および移動・落下の現象にかかわる問題は、積雪の多少にかかわらず積雪地一般の恒常的問題であり、屋根部位の耐雪化によって対応しなければならない基本的課題として特徴づけられる。

一方、これら屋根雪現象にかかわる構法的対応のための技術資料は、原理または対策のための概念を示すものがほとんどであり、雪荷重の評価を除いては技術資料が極めて少ない。

これらの理由から、本研究では、屋根部位の雪被害対策の基本的枠組みを“移動・落下”および“融解・凍結”の2現象とし、これらについての実証的な現象把握を目的としている。

本研究では、以下に示す4件の内容を分析課題としており、いずれも構法的対策の技術化にかかわる基礎的内容である。

- ① 屋根雪対策構法にかかわる基礎的問題…住宅における雪問題、屋根雪の作用現象および屋根雪作用の地域性についての考察
- ② 屋根雪の滑動特性…屋根葺材と雪氷の摩擦特性ならびに屋根葺材による雪氷の滑走加速度性状についての実験・分析
- ③ 屋根雪の滑落堆積形状…屋根および雪気候の条件からみた自然滑落雪の堆積形状についての観測・分析
- ④ 屋根雪の融解・凍結現象…建物温熱および自然温熱の条件からみたつらら成長についての観測・分析

1. 屋根雪対策構法にかかわる基本的問題

1.1 住宅における雪問題

(1)住宅における雪問題の構造

多雪都市の住宅空間に顕在化している雪問題を考察し、屋根雪は、一次、二次および三次にわたる雪被害をもたらすことを示した。(図1・1)

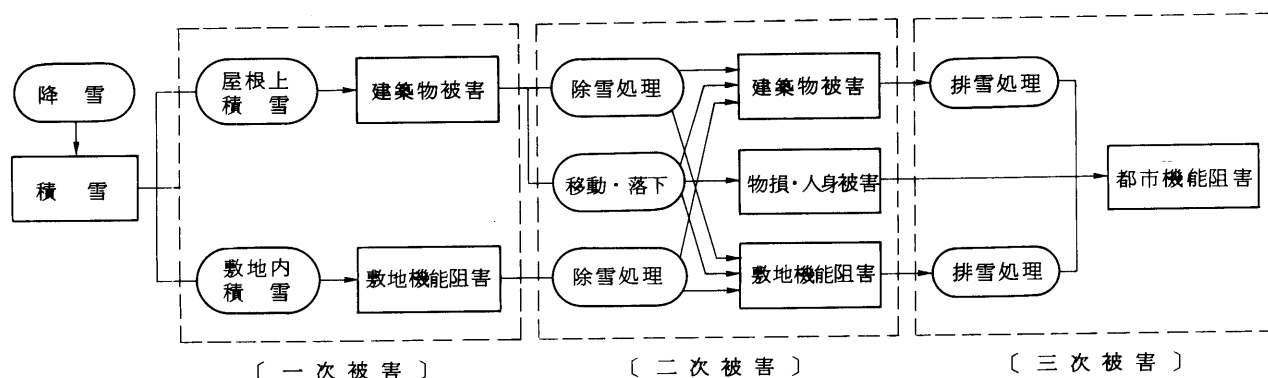


図1・1 住宅地における雪問題のフロー

なお、各次の雪被害は次のように定義される。

- ① 一次被害は、屋根雪が屋根上に静止している状態、つまり人為的移動（雪処理）または自然現象としての移動（流動・滑動）以前に起こる問題。
- ② 二次被害は、敷地内での除雪、敷地内での落雪など、いわば私的空間の内部で発生した移動雪を原因とする被害。
- ③ 三次被害は、公的空間に及ぼす被害で、公的空間への落雪および排雪処理が主な原因となる。

(2) 屋根雪による被害の実態

1) 豪雪災害から見た屋根雪被害

近年の豪雪（52年、56年、59年）時における死亡者統計と既往の研究から、建築空間での死者および屋根雪を原因とする死者が急増していること、並びに屋根雪を原因とする死者数は56年豪雪以降全死者数の過半数を占める事態になっていることを示した。

2) 屋根雪の落下および状態変化による被害の実態

青森県黒石市における木造住宅の屋根雪被害調査結果をもとに以下の実態を示した。

- ① 屋根雪落下による被害の内容は多様であり、それらが高頻度で発生していること。

表 1・1 屋根雪の作用因子と雪被害

現象要因	作用因子	被害の形態
静止状態の質量作用	静的雪荷重	雪荷重による変形、損傷
固・液の相変化作用	融解・凍結	融水、融水凍結による損傷
運動状態の質量作用	流動・滑動	移動・落下雪水による損傷

表 1・2 作用因子と変動要因

作用因子	変動要因
静的雪荷重	積雪深、積雪分布、平均密度
融解・凍結	外気温、日射熱、屋根面温熱
移動・落下	雪質、温熱条件、屋根条件

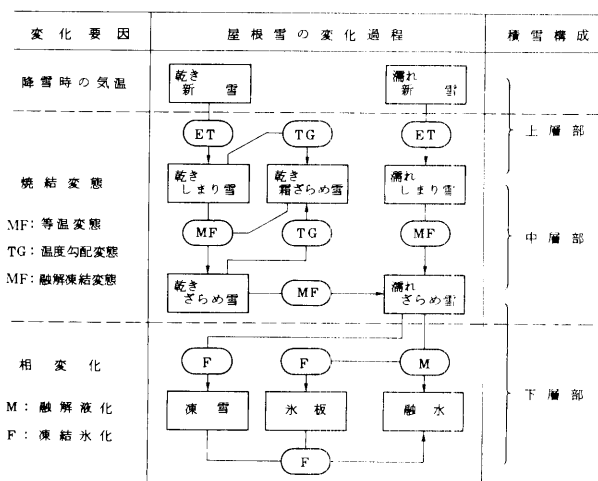


図 1・2 温熱による屋根雪の変化過程

- ② つららや巻垂れが多発しており、それによる被害も日常化していること。

1. 2 建築物に対する屋根雪の作用

(1) 屋根雪の作用因子と変動要因

屋根雪の建築物に対する作用を物理現象の視点から類型化し、作用因子としての枠組み、これらに対応する雪被害の形態並びに作用因子の変動要因の枠組みを分析した。（表 1・1、表 1・2）

(2) 屋根雪の変化過程と雪質構成

自然温熱に加え建物温熱を受ける屋根面雪に視点を置き、その物理的変化（変態・相変化）の過程および積雪内部の雪質構成について既往の研究資料をもとに、そのモデル化を試みた。（図 1・2）

(3) 屋根の構法要素と作用因子との関連

雪作用に影響を及ぼす屋根の構法要素を抽出し、これら構法要素と雪作用 3 因子との関連内容を検討した。（表 1・3）

表 1・3 屋根の構法要素と雪作用の関連

屋根構法	作用因子		
	雪荷重	融解・凍結	移動・落下
a. 屋根形状	積雪分布変化	×	滞留・堆積
b. 屋根勾配	積雪深変化	×	流動・滑動
c. 屋根葺材	(落下・堆積)	すがもれ	流動・滑動
d. 屋根下地	屋根面変形	(すがもれ)	(移動性低下)
e. 小屋組	小屋組変形	×	×
f. 屋根温熱	(融雪)	つらら、すがもれ	流動・滑動

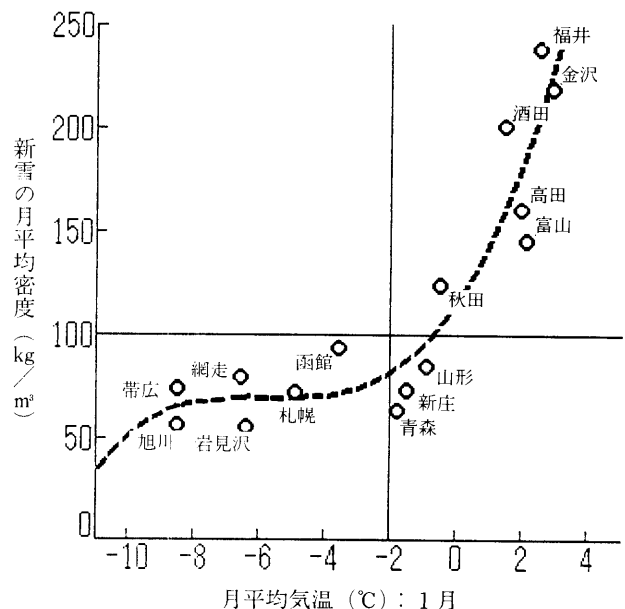


図 1・3 新雪の月平均密度（1月）

1. 3 屋根雪作用の地域性

(1) 雪質および積雪の地域性

1) 雪質の地域性

雪質およびその変化過程の相違は、屋根雪処理の構法化の手法にかかわる。積雪作用の起点となる新雪の雪質は、地域の気温に依存しており、温暖地（北陸）では密度の高い湿雪が、酷寒地（北海道）では密度の低い乾雪が支配的であること並びに東北はこれら両者が共存することを示した。（図1・3）

2) 積雪変動の地域性

積雪の年次変動の大小は、雪への対応の仕方にかかわり、変動の少ない多雪地では恒常的に雪作用を受けることから、構法的雪対策の必要性はより高くなる。

一般に北陸平地部の変動率は大きく（40～70％）、北海道は小さい（10～40％）。東北の南部は北陸に、北部は北海道に近似した変動値となることを示した。

(2) 温熱条件の地域性

屋根雪の融解・凍結および移動落下の現象は、地域の気温温熱の負荷量に支配される。この負荷量の定量評価を目的に、融解あるいは高温変態にかかわる高温負荷指数（ $^{\circ}\text{Ch/day}$ ）と凍結あるいは低温変態にかかわる低温負荷指数（ $-^{\circ}\text{Ch/day}$ ）の評価方法を提案した。

これより自然温熱条件の地域性は定量的に比較され、気温の負荷は、高温負荷支配地域、低温負荷支配地域および高・低温負荷共存地域の3つに分けられることを明らかにした。（図1・4）

（担当 渡辺正朋）

2. 屋根雪の滑動特性

2. 1 研究内容と方法

(1) 本研究の目的

屋根雪の滑動問題は、滑落雪による事故あるいは被害、雪処理作業時の安全対策および滑落屋根の構法化に関連しており、これらの構法的制御にかかわる基礎的知見の把握と構法技術の開発が待たれている。

本研究では、屋根葺材に固有な滑雪問題に視点を置き、滑雪抵抗についてはその主要因である葺材と雪氷との静摩擦特性を、動的滑動問題については滑走時の動摩擦および加速度の特性を実験・解析により明らかにすることを目的とする。

(2) 本研究にかかわる既往の研究

屋根雪の滑動、即ち、摩擦問題にかかわる既往の研究を、理学的基礎理論の研究と応用科学としての建築学的研究とに分けて検討した。その概要は、次のようにまとめられる。

雪氷と物体の摩擦問題についての理学的研究が進められるようになったのは20世紀の当初からである。その研究の多くは、摩擦問題の機構・原理にかかわるものが中心となっており、摩擦機構についての統一的理論はまだ明らかにされていない。

建築学的な研究は、都市住宅で屋根雪問題が顕在化し始めた1970年代半ばからのものが大半を占めている。これらのほとんどは、自然滑落雪屋根の構法化を目的としていることから、平滑な屋根葺材と雪との摩擦あるいは滑動の問題に限られている。従って、素材と形状が多様な形態を示す屋根葺材一般についての議論は、まだ行われていない。

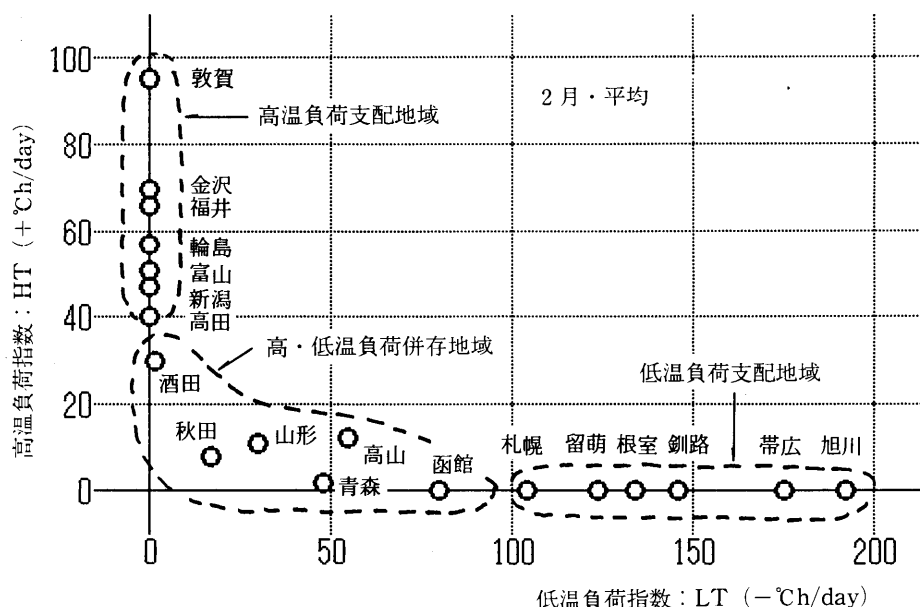


図1・4 多雪都市の高温および低温負荷指数

(3) 本研究の内容及方法

1) 研究の内容

本研究内容は、屋根葺材と雪氷の滑動問題に関するものであり、次の2点を分析課題としている。

①屋根葺材と氷ブロックの静摩擦

屋根雪氷モデルを氷体とし、これと屋根葺材の表面粗さ、硬さ条件による静摩擦特性の変化並びに温度条件による静摩擦の変化性状の分析。

②氷ブロック滑動体の動的特性

動的特性としての滑走加速度および動摩擦の性状並びに動摩擦と静摩擦との関係性の分析。

2) 研究方法

研究の手法は、いずれの課題も滑動実験および実験値の解析による。

屋根葺材に対する雪氷の滑動特性の変化にかかわる要因は多いが、この研究では以下の実験条件の検討を踏まえ実施した。

- ①屋根葺材試料の検討
- ②滑動体雪氷モデルの検討
- ③滑動特性実験装置の検討
- ④雪氷の滑動実験にかかわる諸条件の検討

2.2 屋根葺材と氷ブロックの静摩擦

(1) 実験方法

1) 実験に用いた屋根葺材

屋根葺材試料は、8試料(表2・1)であり、これらは葺材表面の性質にかかわる粗一滑および面材の硬一軟の条件について表2・2に示す対応関係をもつ。

表2・1 屋根葺材の試料とその内容

試料記号	材料の名称	表面形態	備考(注)*1厚さ(mm)
C-02	成型石綿セメント板	不規則な筋目あり	t*:5.0, JIS規格なし
G-01	フロート板ガラス	透明, 鏡面仕上げ	t: 2.7, JIS R 3202 3mm相当品
G-03	型板ガラス	エンボス梨地模様	t: 5.6, JIS R 3203 6mm相当品
M-02	冷間圧延鋼板	つや消し(dull)仕上げ	t: 1.5, JIS G 3141 D 仕上げ相当品
M-11	着色亜鉛鉄板	アクリル樹脂塗装, つやあり	t: 0.6, JIS G 3312 2類, 屋根用
M-12	着色亜鉛鉄板	アクリル樹脂塗装, つやなし	t: 0.6, JIS G 3312 2類, 屋根用
M-13	塩化ビニル金属積層板	エンボス加工	t: 0.6, JIS K 6744 ポリ塩化ビニル積層
X-03	コンクリート型枠用合板	ナイフ切削面, 繊維筋粗め	t: 12, 日本農林規格(JAS)相当品

表2・2 “粗一滑”, “硬一軟” による試料配置

ROUGHNESS	HARDNESS	HARD	SOFT
ROUGH	angular RH	C-02	X-03
	roundish RH	G-03	M-13
SMOOTH	dull finish	M-02	M-12
	brite finish	G-01	M-11

2) 雪氷滑動体のモデルと構成

① 雪氷滑動体のモデル化

滑動体の雪氷は、旧雪としての屋根面雪氷(ざらめ凍雪, クラスト氷, 氷板などの氷化体)をモデル化して氷ブロックとした。

② 雪氷滑動体の構成

氷体による滑動体は、底面積が3 cm²の氷ブロック3個とこれを3点の定位置に固定しかつ重心を低くしながら一定の荷重(890 g)を与えているための載荷・固定体から構成した(写真2・1)。

3) 滑動特性実験装置

本研究では、摩擦特性の他に滑動体の滑動挙動の観察並びに滑動速度の測定を目的としている。これらの条件を満たす摩擦実験法として本実験では、傾斜平板法を採用した。

実験装置は、この実験のために作製したもので、その外観を写真2・2に示す。実験装置の構成は、可動傾斜台、微動巻上げ装置、傾斜角度指示装置および滑走時間測定のための光電スイッチ装置からなる。

(2) 滑動実験にかかわるその他の条件

1) 葺材と雪氷の摩擦実験の制御条件

雪氷と物体の滑動特性は、温度条件、潤滑物質の有無、雪氷体の据え置き時間、付着物質の有無の影響を受ける。

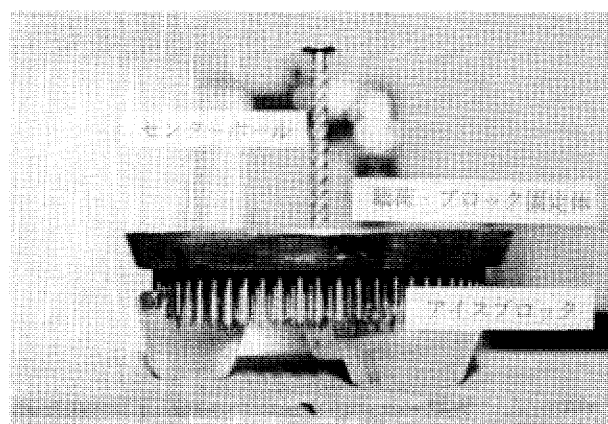


写真2・1 氷ブロック滑動体の構成

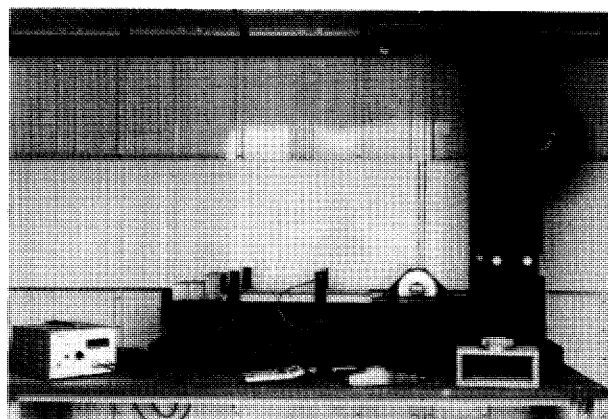


写真2・2 滑動実験装置の外観

これらについては、以下の条件を設定して実験を行った。

①実験温度条件…実験温度の水準は、 -10°C 、 -5°C 、 -1°C および 3°C の4水準とした。

②表面の潤滑物質… -10°C 、 -5°C 、 -1°C の3条件は、低温状態で潤滑物質が存在しない乾燥面摩擦であるが、 $+3^{\circ}\text{C}$ は、水膜が介在する潤滑摩擦とした。

③氷ブロック滑動体の据え置き時間…この実験では、滑動体のセッティングから徐々に傾斜角度を上げ滑動が開始するまでの時間を据え置き時間とみなし、これを3～5分に調整して計測した。

④表面付着物質の除去…実験に際して平滑な葦材については表面をタオルで空拭し、石綿シングルなど粗面試料ではブローイングによりほこりを取り除いた。

2) 実験場所

-10°C 条件についての実験は、国立防災科学技術センター新庄支所の低温実験室で、他の3水準温度については八戸工業大学のプレファブ実験室で寒候期の気温を利用して実施した。なお、実験の温度は、いずれの場合にも最大 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の気温変動があった。

3) 各特性値の計測回数

摩擦問題ではデータのバラツキが大きいことを考慮して各実験条件につき6回の測定を実施し、バラツキの統計的検討に備えた。

(3) 実験結果

1) 屋根葦材の静摩擦係数 (μ_s)

表2・3は、屋根葦材試料8種、実験温度4水準についての μ_s の平均値(MEAN)および測定値6回の標準偏差(S.D)を示したものである。

この結果より屋根葦材と氷ブロックの静摩擦(μ_s)については以下の特徴が指摘できる。

表2・3 静摩擦 (μ_s) の実験値 (平均値, 標準偏差)

葦材試料	-10°C LEVEL		-5°C LEVEL		-1°C LEVEL		$+3^{\circ}\text{C}$ LEVEL	
	MEAN	S.D	MEAN	S.D	MEAN	S.D	MEAN	S.D
C-02	0.67	0.15	0.46	0.07	0.39	0.06	0.41	0.04
G-01	0.18	0.02	0.16	0.02	0.06	0.02	0.01	0.00
G-03	0.08	0.01	0.08	0.02	0.04	0.00	0.19	0.04
M-02	0.27	0.03	0.25	0.08	0.17	0.02	0.01	0.00
M-11	0.19	0.01	0.13	0.03	0.05	0.01	0.01	0.00
M-12	0.24	0.01	0.15	0.01	0.07	0.01	0.02	0.00
M-13	0.09	0.01	0.10	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00
X-03	0.70	0.07	0.67	0.13	0.48	0.15	0.71	0.08

表2・4 粗-滑, 硬-軟と静摩擦 (μ_s): -10°C 水準

ROUGHNESS	HARDNESS	HARD	SOFT
	angular RH	C-02: 0.67	X-03: 0.70
ROUGH	roundish RH	G-03: 0.08	M-13: 0.09
	dull finish	M-02: 0.27	M-12: 0.24
SMOOTH	brite finish	G-01: 0.18	M-11: 0.19

① μ_s は、葦材により差異が大きく、各葦材の μ_s は温度条件によって変化する。

②測定値 μ_s のバラツキは、 μ_s 値が大きい葦材ほど大きくなる。試料C-02(石綿シングル)とX-03(型枠用合板)はその例である。

2) 葦材表面の粗-滑および硬-軟と静摩擦係数 (μ_s)

表2・4は、実験温度が最も低く表面条件の効果が顕在化する -10°C 水準での μ_s の平均値を粗-滑および硬-軟モデルに対応させて示したものである。

①分散分析(一因子無作為化法)によると、粗-滑の効果は99%水準で有意差が認められるが、硬-軟については統計的有意差は認められない。

②視覚的には凹凸が認められても、その凹凸が曲面的であり(roundish RH)かつその曲面の一次アラサさが平滑な場合は、その葦材の μ_s 値は一次アラサに支配されて小さくなる。

3) 静摩擦係数 (μ_s) の温度変化

μ_s の温度変化を考察するためにすべての μ_s 測定値を実測温度(T)に対応させてT- μ_s ダイアグラムを描いたものが図2・1である。

各葦材試料のT- μ_s 図には、n次関数による近似曲線を描いてあるが、これらは二次、三次、および四次の3曲線で表現される。

①二次曲線変化を示す葦材…葦材試料G-01, M-02, M-11, M-12, M-13の5試料がこれに該当し、いずれも低い摩擦特性を示すことが特徴である。

②三次曲線変化を示す葦材…この変化を示す試料は、C-02(成型石綿セメント板)である。

③四次曲線変化を示す葦材…粗(ROUGH)なアラサをもつ試料G-03とX-03がこの変化を示している。その温度変化の特徴は、プラス温度域で μ_s 値が再び上昇することにある。

2.3 氷ブロック滑動体の動的特性

(1) 実験方法

動的特性の実験にかかわる屋根葦材の試料、雪氷滑動体の構成および実験手続きは、静摩擦係数の実験と同じである。

動的特性にかかわる実験内容は、最大静止摩擦角(θ)で滑走を開始した滑動体の滑走距離(L)についての移動時間(t)の測定である。

(2) 分析手続き

1) 滑走加速度(α)の解析

加速度の解析は、運動方程式の展開によって得られる次式による。

$$\alpha = \frac{2L}{t^2} \text{ (cm/sec}^2\text{)}$$

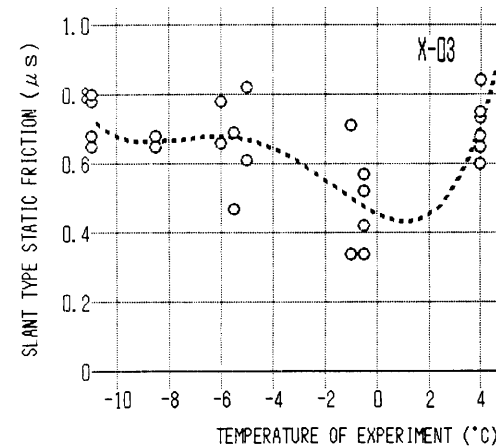
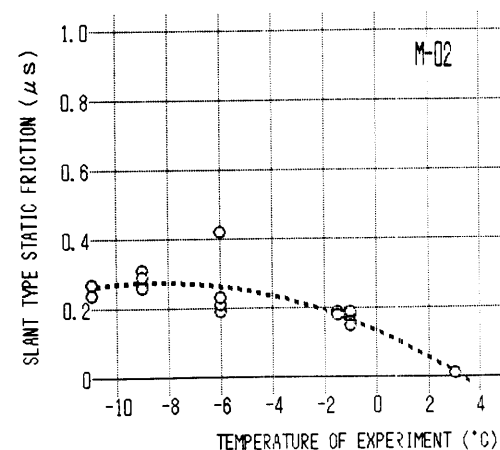
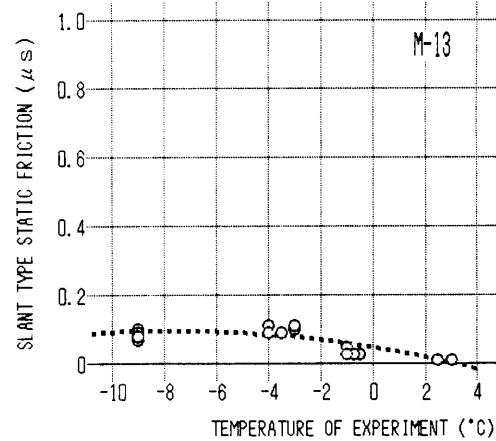
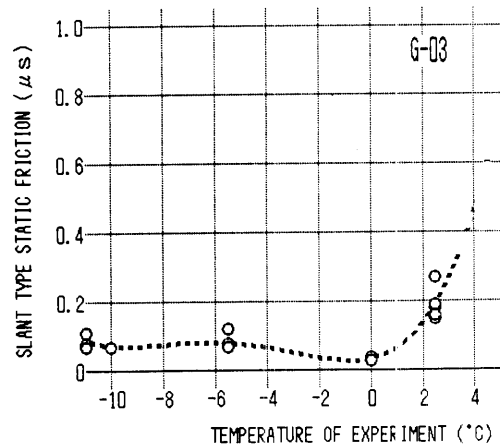
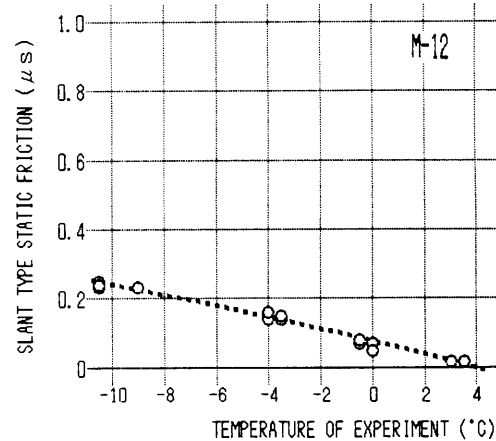
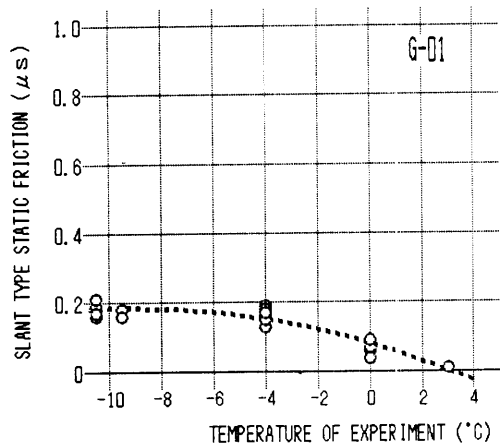
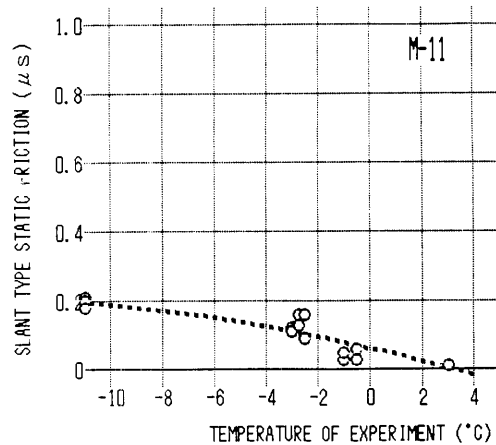
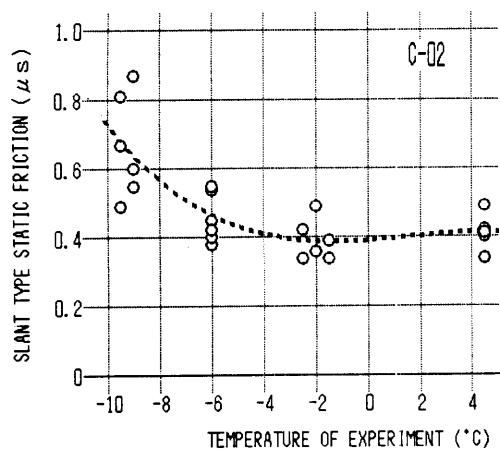


図 2・1 実験温度による静摩擦 (μ_s) の変化

2) 動摩擦係数 (μ_k) の解析

μ_k の解析は、運動方程式の展開によって得られる次式による。

$$\mu_k = \frac{g \sin \theta - \alpha}{g \cos \theta}$$

但し、 g は重力加速度

(3) 解析結果

1) 最大静止摩擦角時の滑動挙動

葦材 8 試料、実験温度各 4 水準 ($-10, -5, -1$ および $+3^\circ\text{C}$) についての傾斜平板法の実験値から滑動形態の指標となる加速度および動摩擦を解析した。

図 2・2 は、加速度の平均値と滑走開始勾配の平均値との関係を示したものである。

これらの結果から滑走加速度から見た滑動形態については以下の事実が明かとなった。

- ①滑走開始勾配がおおよそ 10% 以下で発生する加速度は、おおよそ 100 cm/sec^2 以下であり、等速型の滑動形態を示す。特に、 -1°C および 3°C レベルでの加速度はほとんど認められず、等速型の滑走を示す。このことは、低勾配の長尺鉄板葦屋根における屋根雪の緩慢な滑動現象にその根拠を与える。
- ②滑走開始勾配がおおよそ 20% 以上で発生する加速度は、おおよそ 200 cm/sec^2 以上であり、勾配が大きいくほど加速度も大きくなる。
- ③滑走加速度は、滑走開始勾配との相関が高く ($r: 0.97$)、勾配が大きくなるほど加速度も大となる。一方、加速度が大きくなるほど動摩擦 (μ_k) は低下の傾向を示すが、両者の相関は低い ($r: -0.68$)。

2) 静摩擦係数 (μ_s) と動摩擦係数 (μ_k)

図 2・3 は、乾燥面摩擦の実験条件となる $-10, -5$ および -1°C での μ_k の解析値を滑走開始勾配との関係で示したものである。

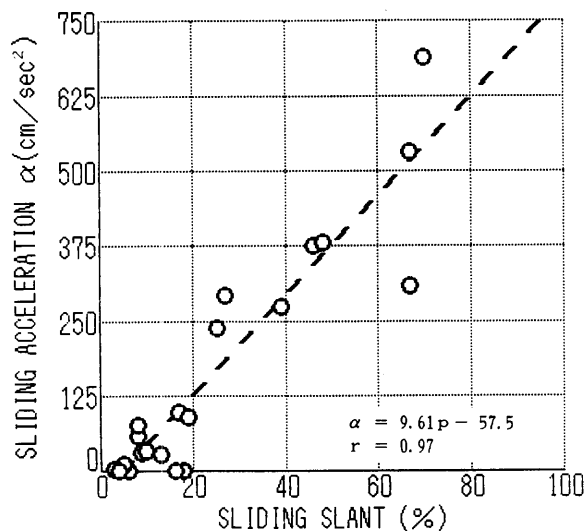


図 2・2 滑走開始勾配 (%) と加速度 (α) の相関

これによると 20% 勾配を境に μ_k と勾配との関係が異なることが指摘できる。即ち、勾配 20% 以下の範囲では勾配の上昇に伴い μ_k が増加するのにたいし、それ以上の勾配では μ_k 値が低下傾向を示すことである。

この理由としては、高速の滑動に際しては葦材の面に振動現象が発生しやすいこと、あるいは葦材の表面にうねりがある場合に飛翔現象が発生することがあげられる。滑走開始勾配 20% 以上で μ_k の解析値がマイナス値となったのは、これらが原因となり、自由落下に近い加速状態が生じたことによると考えられる。

図 2・4 は、滑動に際し振動現象または飛翔現象が発生しにくいと仮定される低勾配、即ち滑走開始勾配が 20% 以下の実験値のみに限定し、これらと動摩擦解析値 (μ_k) との関係を示したものである。両者には高い相関 ($r: 0.83$) が認められ、一次回帰式による μ_k 値は、 μ_s 値のおよそ 70% 強となる。

これらの結果より屋根葦材と氷滑動体における μ_k と

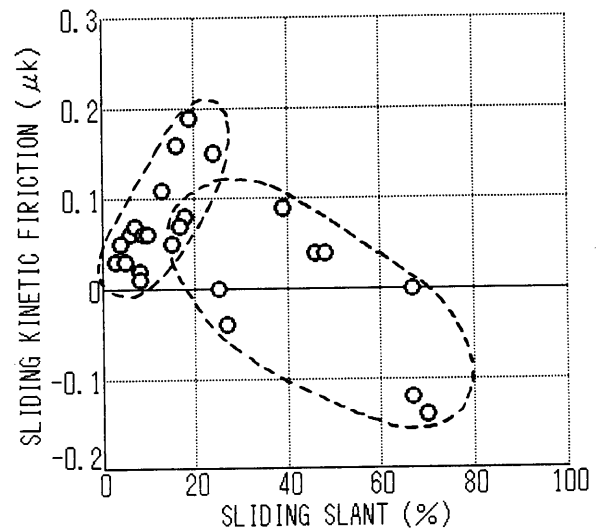


図 2・3 滑走開始勾配 (%) と動摩擦の相関

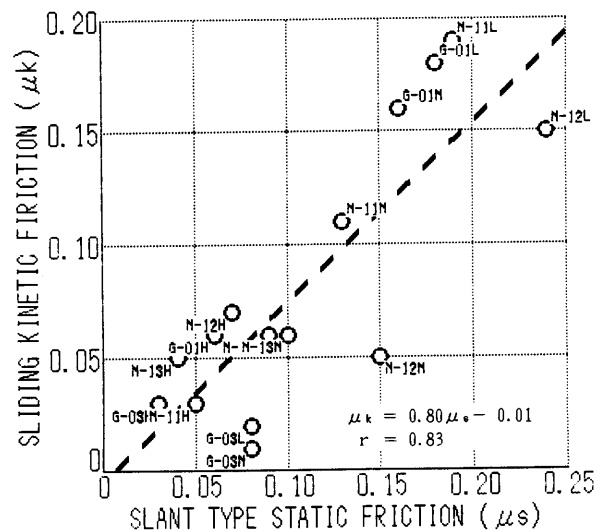


図 2・4 静摩擦と動摩擦の相関 (滑走勾配 20% 以下)

μ_s の関係については、以下の特徴が指摘される。

①滑走開始勾配がおおよそ20%以下の場合には、 μ_k 解析値と μ_s との間には高い相関が認められ、 μ_k 値は μ_s 値のおおよそ70%強となる。

②滑走開始勾配がおおよそ20%以上の場合には、 μ_s 値の増加に伴い μ_k は減少の傾向を示すが、その相関性は低い。

2. 4 まとめ

表面の粗一滑および硬一軟の特性を基準に選定した屋根葺材 8 試料と屋根面雪に支配的な雪氷をモデル化した氷ブロック滑動体との傾斜平板法による滑動実験をもとに、両者間の静摩擦性状並びに動的滑動特性の分析を行った。

これより明かとなった主要な知見を研究課題ごとにまとめ以下に示す。

(1) 屋根葺材と氷ブロックの静摩擦 (μ_s)

①滑動抵抗の主要因である μ_s は、葺材および温度により顕著な差異が認められる。

本実験で得られた μ_s の最大値は0.70であり、最小値は0.01である。

②乾燥面摩擦では、葺材の粗一滑要因による μ_s 値に有意差 (1%水準帰無仮説棄却) が認められるが、硬一軟要因による有意差は認められない。

③ μ_s 値は、温度により変化し、その変化パターンは、おおよそ3種の回帰曲線 (二次、三次および四次) として示すことができる。

(2) 氷ブロック滑動体の動的特性

①滑走開始勾配がおおよそ10%以下で発生する加速度は、一般に低く、等速型の滑動形態を示す。一方、20%以上で発生する加速度は、200 cm/sec² 以上の高加速度型の滑動形態を示す。

②滑走加速度は、滑走開始勾配との相関性が高く、滑走時の動摩擦 (μ_k) との相関は低い。

③滑走時の動摩擦 (μ_k) と静摩擦 (μ_s) の関係は、静摩擦の値がおおよそ0.2を境に異なった関係を示す。即ち、静摩擦が0.2以下の葺材の場合の μ_k 値は、静摩擦値のおおよそ70%となるのに対し、静摩擦が0.2以上の葺材における μ_k は一般に不安定であり、その値は極めて小さい。

(担当 渡辺正朋)

3. 屋根雪の滑落堆積形状

3. 1 研究方法と内容

(1) 研究の目的

屋根雪の滑落に関する研究をみると、実態調査結果に基づいて屋根勾配、水平長、軒の出、積雪量から滑落雪の堆積形状を求める経験式や滑落位置を算定した表が明らかにされている^{文1)}。しかし、屋根雪滑落による被害を生じやすい動的滑落に関する研究は十分に進められてい

ないのが現状である。

本研究の目的は屋根雪の滑落処理にかかわる問題解決の一環として屋根雪の滑落および堆積形状を継続調査することにより屋根条件と滑落雪の関係を明らかにするところにある。

(2) 研究内容

研究内容は、a. 滑落および堆積形状の規定要因の分析と b. 滑落速度および滑落位置の推定である。

a. 滑落および堆積形状の規定要因の分析

屋根雪の滑落および堆積形状に関する諸要素間の関係を分析することにより滑落および堆積形状を規定する屋根条件、雪況との関係を明らかにする。

b. 滑落速度および滑落位置の推定

滑落雪の堆積形状の頂部位置と高さから滑落速度の推定を行い、推定速度に基づいて滑落位置を推定する。以上の推定値と屋根条件の関係を分析することにより住宅の配置と屋根条件の関係の指標を得る。

(3) 研究方法

モデル住宅を選定し、屋根雪の滑落および堆積形状の実測調査を継続する方法を、滑落雪の速度と落下位置に関しては実測値を基に推定する方法を採った。

調査期間は1月6日～3月3日にかけての約2ヶ月間で実測調査は毎週火曜日と金曜日の週2回実施した。

3. 2 87年冬の特徴

(1) 平年との比較

87年1～2月の気象特性を明らかにするために平年値と今冬の特徴を表3・1にまとめる。

平年と今冬を比較すると、気温は平年並みながら1月がやや低めで2月はやや高め、降雪量は平年よりやや多めであったが積雪は少なく、平年積雪がピークとなる2

表3・1 87年冬の気象特性

月	項目名	平年値	87年度
1月	平均気温	-1.8℃	-2.3℃
	平均最高気温	1.2℃	0.6℃
	平均最低気温	-5.1℃	-5.6℃
	最大積雪深	93cm	94cm
2月	積雪≥50cm日数	17.1日	20日
	積雪≥1m日数	3.9日	0日
	降雪量の合計	285cm	354cm
3月	平均気温	-1.7℃	-1.5℃
	平均最高気温	1.8℃	2.1℃
	平均最低気温	-5.4℃	-5.0℃
	最大積雪深	105cm	105cm
4月	積雪≥50cm日数	22.7日	28日
	積雪≥1m日数	8.3日	4日
	降雪量の合計	184cm	246cm

月中旬に積雪が減少する特異な冬であった。

(2) 積雪変化率と気温

降雪量が雪自体の沈降などによりそのまま積雪深の増加につながらないことは自明のことである。降雪量と積雪深の変化の関係を“積雪変化率（積雪変化率＝積雪深の増減／降雪量）と定義すれば積雪変化率と気温の関係（図3・1）を

$$\text{積雪変化率 } R_{sf} = -0.116T^2 - 0.88T - 1.1$$

と表わすことができる。気温が約 -1.5°C 以上になると融雪が促進され、積雪は減少する。

3. 3 調査結果の概要

(1) 調査内容と方法

滑落雪に関する調査内容は、a. 堆積形状と、b. 屋根雪についてである。

a. 堆積形状

堆積形状そのものに関しては堆積形状を表わす壁側高、頂部位置、頂部高、堆積終端、積雪の実測調査を行った。堆積雪の特徴を示す要素として雪塊の大きさを調査した。

b. 屋根雪

屋根雪に関する調査事項は滑落状況を知る手掛かりとなる残り方、積雪深、巻垂れの3項目である。

実測調査では目視により各位置を決め測定する方法を

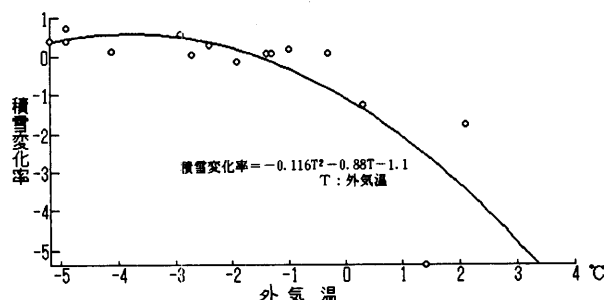


図3・1 積雪変化率と気温



図3・2 屋根雪の残り方の類型



図3・3 巻垂れの類型

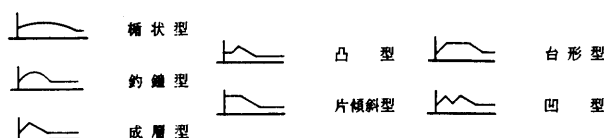


図3・4 堆積形状の類型

とり、雪塊の大きさと屋根雪に関する調査はスケッチと写真撮影による方法を採用した。

(2) 調査事項の類型化

1) 屋根雪の残り方：屋根雪の残り方は滑落状況を間接的に知る指標となり，“全体，横半分，上半分，下半分，無し”の5類型に分ける。（図3・2）

2) 屋根雪の積雪：どの程度積雪したら滑落するかを知る手掛かりであり，“無し，5 cm 程度，10cm 程度，20 cm 程度”の4段階に整理する。

3) 巻垂れ：屋根雪が徐々に移動して軒先から迫り出し、軒先から巻垂れる現象を指し、図3・3に示す“無し，迫り出し，巻垂れ”に分類する。

4) 堆積形状：堆積形状は頂部を主指標にすると次の7類型にまとめられる。（図3・4）

楕形状：全体に大曲率で頂部が明確でなく、楕形状の緩やかな堆積型

釣鐘型：傾斜部分は急勾配で頂部が小曲率の型

成層型：ピークが明確でピークの両側に傾斜する型

凸型：ピーク形状は成層型と同じであるが堆積両側に平坦部を持つ型

片傾斜型：壁から頂部にかけてほぼ平坦で滑落方向片側にだけ傾斜部を持つ型

台形状：頂部はほぼ平坦で両側に傾斜する型

凹型：頂部が2つあり、頂部の両側に傾斜する型

5) 雪塊：雪塊は滑落した雪の塊の大きさを意味し、調査結果から細塊（2～3 cm 程度の小さく細かい塊），中塊（10～15 cm ほどの煉瓦程度の塊），巨塊（20～30 cm 程度のコンクリートブロック程度の大きな塊）に分類する。

(3) 調査結果の概要

調査対象は表3・2に示す協力の得られた一般住宅4棟7屋根である。調査結果を前述の類型に従って整理すると表3・3の通りである。なお、B-1階は開口部破損の危険が2月初旬に生じたために2月10日以降の調査は中止した。

表3・2 調査対象の特徴

調査番号	屋根型	勾配	屋根水平長	屋根葺材	軒高	軒の出
A-1階	片流れ	緩(15/100)	長(8.6m)	鉄板立ちはげ	336cm	45cm
A-2階	招き屋根	緩(15/100)	長(7.7m)	鉄板立ちはげ	638cm	45cm
B-1階	片流れ	緩(15/100)	長(12.5m)	鉄板立ちはげ	324cm	60cm
C-1階	切り妻	急(50/100)	短(4.0m)	鉄板横葺き	282cm	85cm
C-2階	切り妻	急(50/100)	長(4.5m)	鉄板横葺き	552cm	85cm
D-1階	切り妻	急(61/100)	短(4.3m)	鉄板横葺き	305cm	72cm
D-2階	切り妻	急(61/100)	長(5.3m)	鉄板横葺き	478cm	72cm

表3・3 調査対象別 滑落雪と堆積形状の特性

調査対象	屋根条件	屋根雪の残り方	屋根の積雪	巻垂れ	堆積形状		雪境
					類型	モデル図	
A-1階	勾配-緩軒高-低軒の出-短	無し全体	無し10cm程度	無し巻垂れ	成層型凸型		細境中境
A-2階	勾配-緩軒高-低軒の出-短	無し全体	無し5cm程度10cm程度	無し	成層型釣鐘型凸型		細境中境
B-1階	勾配-緩軒高-低軒の出-短	全体下半分	10cm程度20cm程度	迫り出し巻垂れ	成層型片傾斜型凸型		中境細境巨境
C-1階	勾配-急軒高-低軒の出-長	全体無し上半分	無し5cm程度10-20cm程度	無し	成層型		細境中境巨境
C-2階	勾配-急軒高-高軒の出-短	全体無し	10cm程度無し	無し	成層型桶状型		細境
D-1階	勾配-急軒高-低軒の出-長	無し	無し	無し	成層型桶状型		細境
D-2階	勾配-急軒高-高軒の出-長	無し	無し	無し巻垂れ	桶状型成層型台形型		細境

表3・4 屋根の積雪深

屋根番号	積雪なし	5cm程度	10cm程度	20cm程度
A-1階	8回	1回	7回	0回
A-2階	8回	5回	3回	0回
B-1階	0回	0回	11回	2回
C-1階	6回	5回	3回	3回
C-2階	4回	2回	11回	0回
D-1階	12回	3回	2回	0回
D-2階	12回	2回	3回	0回

表3・5 屋根雪の残り方

屋根番号	無し	下半分	上半分	横半分	全体
A-1階	8回	1回	1回	1回	5回
A-2階	8回	1回	0回	1回	6回
B-1階	0回	1回	0回	0回	12回
C-1階	6回	0回	2回	0回	9回
C-2階	3回	0回	0回	0回	14回
D-1階	13回	0回	0回	0回	2回
D-2階	12回	1回	0回	2回	2回

3.4 滑落および堆積形状と屋根条件

(1) 屋根雪の滑落と屋根条件

1) 屋根の積雪(表3・4)

屋根勾配と積雪の関係をみると、6/10勾配のD住宅と5/10勾配以下のA、B、C住宅間に差がみられる。D住宅では“無し”が約70%を占めるのに対してA、B、C住宅では少なく、特にB住宅では常に積雪が観察され滑りにくいといえる。

屋根の積雪深を比較するとD住宅では最大でも10cm程度でその割合も少ない。A、B、C住宅では10cm程度の割合が高く、特にB-1階とC-1階では20cm程度の積雪も観察された。

以上の関係を整理すると、屋根勾配が6/10以上になると屋根雪は降雪後5cm程度以下で滑落する割合が高く、それ以下では10cm程度以上の積雪になってから滑落する場合が多い。同じ勾配のA-1階とB-1階で比較するとB-1階がより屋根の積雪が多いのは屋根の水平長が大きいことが要因と考えられる。

2) 屋根雪の残り方(表3・5)

屋根雪の一部が残った状態についてみると、上下方向だけはB住宅とC住宅、A住宅とD住宅では横半分も観察された。周囲の環境をみると上下半分だけのB、C住宅では周囲に隣接して住宅が建ち、横半分が観察されたA、D住宅では北西側が空き地である。

屋根条件と滑落の関係をまとめると、屋根勾配は滑落のし易さを表わす指標と考えられ、6/10勾配以上が滑落し易い。建物の稠密度は積りに方に影響し、稠密度が低ければ風により水平方向の屋根積雪の差が大きくなり、滑落の仕方は横半分が出現する。

以上の屋根雪の残り方から滑落の2つのパターンが考えられる。ひとつは全体に堆積した状態から横半分の片側が滑落するパターンである。もうひとつは上下に分割して下半分が滑落し、更に上半分が滑落するパターンである。(図3・5)

3) 巻垂れ(表3・6)

巻垂れがみられたのはA-1階、B-1階、D-2階であったが、A-1階とD-2階では極めて小規模の約20cm程度の巻垂れが1度みられただけである。B-1階では30cm程度の迫り出しまたは50cm前後の巻垂れ

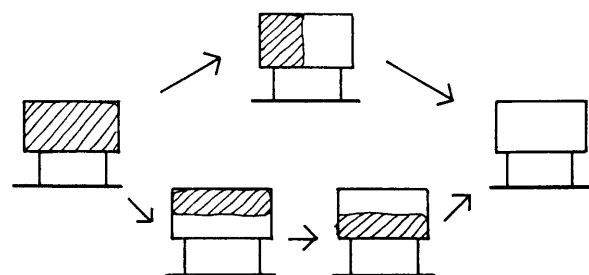


図3・5 屋根雪の残り方と滑落の関係

が常に観察された。迫り出し部分の雪質をみると凍雪状態であった。

B-1階の屋根が他の調査事例と相違する点は居住していることと屋根の水平長が12.5mと極めて長いことである。暖房熱の影響と屋根の水平長が大きいことが重なり、積雪の屋根面が凍雪化して滑落しにくくなるために巻垂れができやすいと考えられる。

(4) 雪塊 (表3・7)

滑落雪の雪塊の大きさは細塊が卓越し、中塊、巨塊の順で少なくなる。細塊の割合が特に高い屋根はD-2階、

表3・6 巻垂れ

屋根番号	無 し	巻 垂 れ	迫り出し
A-1階	15回	1回	0回
A-2階	16回	0回	0回
B-1階	0回	5回	8回
C-1階	17回	0回	0回
C-2階	17回	0回	0回
D-1階	17回	0回	0回
D-2階	16回	1回	0回

表3・7 雪塊の大きさ

屋根番号	細 塊	中 塊	巨 塊
A-1階	7回	7回	2回
A-2階	12回	4回	0回
B-1階	4回	7回	2回
C-1階	9回	4回	4回
C-2階	15回	2回	0回
D-1階	15回	2回	0回
D-2階	17回	1回	0回

表3・8 堆積類型の出現回数

屋根番号	楕 状 型	釣 鐘 型	成 層 型	凸 型	片 傾 斜 型	台 形 型	凹 型
A-1階	0回	0回	10回	4回	0回	1回	1回
A-2階	0回	3回	7回	3回	2回	0回	1回
B-1階	0回	0回	5回	2回	2回	0回	1回
C-1階	1回	2回	14回	0回	0回	0回	0回
C-2階	5回	1回	10回	0回	0回	0回	0回
D-1階	2回	0回	14回	1回	0回	0回	0回
D-2階	6回	0回	4回	2回	0回	4回	1回

D-1階、C-2階、A-2階、C-1階である。屋根条件との関係を見ると2階屋根で軒高が高いこと、1階屋根では急勾配であることがあげられる。中塊の割合が高い屋根はB-1階、A-1階であり、緩勾配の低い軒高が条件といえる。巨塊はC-1階、B-1階、A-1階でみられ、5/10勾配以下の低い軒高が条件となる。

C-1階は巨塊、中塊の割合が高いことと屋根に雪が残る割合が高いことから推察すると、屋根雪の滑落は屋根勾配5/10程度に変換点があると考えられる。

(5) 堆積形状 (表3・8, 図3・6)

堆積形状の出現回数は多い順に成層型64回、楕状型14回、凸型12回、釣鐘型6回、凹型、台形型および片傾斜型4回である。

各屋根において観察された堆積形状は成層型と凸型である。楕状型は急勾配のC-1階、C-2階、D-1階、D-2階の屋根で観察され、釣鐘型はA-2階、C-1階、C-2階で観察された。凹型はA-1階、B-1階の緩勾配の1階屋根とC-2階、D-2階の急勾配の2階屋根で観察された。台形型はD-2階とA-1階でみられた。片傾斜型はA-2階とB-1階だけで出現した。

以上の結果を屋根条件との関係で整理すると次の様にまとめられる。

- ①急勾配で軒高が高く軒の出が大きいC-2階とD-2階では楕状型、成層型が卓越する。急勾配で高軒高のD-2階では台形型も多くみられた。
- ②急勾配で軒高が低く軒の出が大きいC-1階とD-1階では成層型が大部分を占める。
- ③緩勾配で軒高が高く軒の出が小さいA-2階では成層型が卓越するが、釣鐘型や片傾斜型も観察された。
- ④緩勾配の低軒高の軒の出が小さいA-1階とB-1階では成層型が卓越し、凸型が比較的多く観察されたことが特徴である。

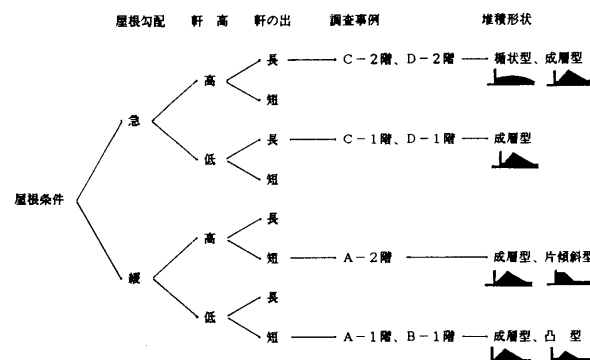


図3・6 屋根条件と堆積形状の関係

3. 6 堆積形状の実測結果と特徴

(1) 推定滑落速度と推定落下位置

1) 堆積頂部と滑落速度

滑落速度と頂部高と頂部位置との関係は次の式で表わすことができる^{文2)}。

$$X = Vt \cos \theta$$

$$Y = Vt \sin \theta - 0.5gt^2$$

$$V = 2gl(\sin \theta - \mu \cos \theta)$$

V：滑落速度

X：頂部位置

Y：軒先高一頂部高

θ ：屋根勾配（度）

μ ：動摩擦抵抗

l：滑走距離

調査結果を表3・9、3・10に示し、頂部位置と頂部高だけから推定できる速度を表3・11に、推定滑落位置を表3・12に示す。

2) 推定速度（表3・11）

屋根条件との関係をみると急勾配ほど推定滑落速度が大きく、2階が1階より推定滑落速度が小さい。

推定滑落速度は6/10勾配で約300 cm/s程度、5/10勾配で約200 cm/s、1.5/10勾配で50 cm/s程度である。

D-1階の推定滑落速度の最大値は約958 cm/sと重力

表3・9 頂部位置の調査結果

	A-1階	A-2階	B-1階	C-1階	C-2階	D-1階	D-2階
件数	19	16	10	17	18	17	21
平均	30.2	2.2	27.1	89.8	118.8	122.1	157.1
最大	85.0	25.0	70.0	145.0	155.0	228.0	298.0
最小	5.0	-15.0	-5.0	65.0	15.0	78.0	68.0
変動巾	80.0	40.0	75.0	80.0	140.0	150.0	230.0

表3・10 頂部高の調査結果

	A-1階	A-2階	B-1階	C-1階	C-2階	D-1階	D-2階
件数	16	16	10	17	17	17	17
平均	107.3	149.2	100.9	163.7	121.0	144.0	141.7
最大	165.0	238.2	169.0	229.0	181.0	199.0	200.0
最小	45.0	26.4	51.0	77.4	47.0	32.0	63.0
変動巾	120.0	211.8	118.0	141.6	134.0	167.0	137.0

表3・11 推定滑落速度

	A-1階	A-2階	B-1階	C-1階	C-2階	D-1階	D-2階
件数	19	16	10	17	18	17	22
平均	47.1	1.8	42.7	275.7	159.5	363.9	279.7
最大	133.9	25.4	103.2	454.5	225.9	967.9	708.6
最小	6.7	-16.8	-6.8	201.9	16.8	216.9	95.8
変動巾	127.2	42.2	110.0	242.4	209.1	751.0	612.8

表3・12 推定落下位置

	A-1階	A-2階	B-1階	C-1階	C-2階	D-1階	D-2階
件数	19	16	10	17	18	17	22
平均	38.0	2.1	33.8	156.3	138.3	187.2	198.8
最大	106.7	-28.6	81.3	233.0	193.0	356.8	414.9
最小	5.5	-18.8	-5.4	120.6	15.6	127.0	77.1
変動巾	101.2	47.4	96.7	113.4	176.4	229.8	337.8

加速度による最大速度とほぼ同じであった。

滑落速度のバラツキは屋根勾配が大きいほど大きく、急勾配の屋根は屋根雪の挙動の差が大きいといえる。

3) 推定落下位置（表3・12）

推定滑落速度に基づく推定滑落位置は屋根勾配の順に大きくなる。屋根勾配1.5/10のA-1階、B-1階は軒先より30～40 cm程度の所に落下する。屋根勾配5/10のC-1階とC-2階では軒先より140 cm程度に屋根勾配6/10のD-1階とD-2階では190 cm前後に落下する。したがって、滑落による被害を防ぐためには屋根勾配とバラツキを考慮すると軒先より最低1.5 m程度の距離を隣地境界線から確保する必要がある。

3.7 まとめ

(1) 今冬の特徴を挙げると、気温は平年より1月はやや低め、2月はやや高めであった。降雪量は平年より多めであったが積雪量は少なかった。

(2) 積雪変化率は外気温で決まり、約-1.5℃以上になると積雪は減少する。

(3) 滑落雪の堆積形状は楕状型、釣鐘型、成層型、凸型、片傾斜型、台形型、凹型の7種類にモデル化できる。成層型が卓越し、堆積形状の基本型といえる。

(4) 屋根条件と堆積形状の関係は以下の通りである。

緩勾配で軒高が低い場合は成層型が卓越する。頂部位置は軒先より20～30 cmの所である。緩勾配で軒高が高い場合には頂部位置はほぼ軒先直下にでき、軒先より壁側にできる場合もある。軒の出が小さければ片傾斜型ができる。

急勾配で軒高が低い場合は成層型が卓越し、頂部位置は軒先より1 m前後の所にできる。急勾配で軒高が高い場合は楕状型が特徴的な堆積形状として現れる。頂部位置は軒先より150 cm前後にできる。

(5) 屋根雪の推定滑落速度は屋根勾配で決まり、急勾配ほど滑落速度は速い。滑落速度のバラツキは急勾配ほど大きい。

(6) 滑落雪の推定落下位置は屋根勾配と軒高でほぼ決まり、急勾配で軒高が高いほど遠くに滑落する。

以上は定点継続調査により得られた結果であるが、一般化するには調査事例が少なく得られた結果も調査事例の特殊性によるところが大きい。また、建物の温熱環境が屋根の積雪に与える影響も未解明な点が多い。

したがって、今後は実験により屋根条件と滑落速度、滑落位置の関係を確認することが必要である。

（担当 月館敏栄）

＜参考文献＞

- 1) ●中村秀臣：滑落した屋根雪の堆積形状，日本雪氷学会誌，40巻1号，昭和54年9月，pp. 37～41

- 佐藤，河原木：屋根雪落下後の堆雪形態について，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 49，昭和53年3月，pp. 207～210
 - 前田博司：金属屋根における積雪の滑落，日本雪氷学会誌，41巻3号，昭和54年9月，pp. 39～44
- 2) 宮内信之助：新潟県下における屋根雪処理の動向，新潟大災害研究年報，第2号，pp. 99～108

4. 屋根雪の融解・凍結現象

4. 1 研究内容および研究方法

(1) 研究目的

これまでの屋根雪の融解・凍結現象に関する研究では，この現象の発生機構を温熱条件による理学的モデルとして示すものが大半で，その実態等を実証的に分析した研究は少ない。

本研究は，屋根雪の融解・凍結現象の発生を規定する温熱の実態と相互関係および融解・凍結現象の典型であるつららの成長と温熱条件との関係について分析を行い，実証的資料を得ることを目的としている。

(2) 研究内容

研究内容は，次に示す2点である。

1) 温熱の実態および相互関係

融解・凍結現象の発生を規定する屋根面温度・屋根裏温度（建物温熱）および外気温・日射量（自然温熱）について実態を把握し，温熱相互間の関係を明らかにする。

2) つららの成長と温熱条件

融解・凍結現象の典型であるつららの成長条件について，自然温熱および建物温熱の規定条件を明らかにする。

(3) 研究方法

標本住宅を設定して，温熱の計測およびつららの観測

を実施し，実測値により分析を行う方法をとった。

1) 標本住宅の設定

標本住宅は計4棟を設定した。標本住宅の属性を表4・1に示す。計測および観測の対象部位は全棟2階屋根とした。

2) 自然温熱および暖房温熱の調査

自然温熱は外気温および全天日射量について青森地方気象台月報より調査を行った。

暖房温熱は暖房器使用時間について2階で使用されているすべての暖房器を対象として調査を行った。

3) 温熱の計測

標本住宅A，B，Cの3棟について実施した。

計測項目は外気温および屋根裏棟側気温・軒側気温を原則とし，可能である場合は屋根面棟側温度・軒側温度も加え，経時変化を記録した。

計測装置は，温度感知部を測温抵抗体とし，検出部を電子式自動平衡型記録計とした。

測温抵抗体の設置位置は，外気温については，日射や風雨等の影響の少ない北側屋根の軒下とした。屋根裏棟側気温・軒側気温については，それぞれ棟側および軒側の野地板近傍部分とした。屋根面棟側温度・軒側温度については，それぞれ屋根裏棟側気温・軒側気温についての設置位置に対応する屋根葺材表面部分とし，設置方法は，測温抵抗体の感知部分を板鉛で巻いて屋根葺材表面に接触させ，測温抵抗体全体をウレタンフォーム保温板で囲み外気温からの断熱を施した。

4) つららの観測

標本住宅A，B，Dの3棟について実施した。

観測項目は任意の定点におけるつららの長さおよび最大値を示すつららの長さとし，定時における日変化を記録した。

5) 計測および観測時期

昭和62年1月18日より同年2月28日までとした。

4. 2 自然温熱および暖房温熱の調査結果

(1) 外気温および全天日射量

青森地方気象台による日平均外気温と標本住宅で測定した日平均外気温との相関係数は0.985～0.990（ $n=42$ ）であり，高い正の相関性が認められた。

月平均全天日射量の平年値は1月5.5 MJ/m²，2月8.4 MJ/m²であるが，今冬は全天日射量9.0 MJ/m²以上の日が数日ある。該当する日は次のとおりである。

2月：2日，4日，6日，8日，10日，18日，21日
22日，23日，27日，28日

(2) 暖房器使用状況の調査結果

2階での暖房器使用状況の特徴は次のとおりである。

①住宅－A：暖房器の使用は朝から夜までの連続であり，使用時間の日変化は大きな特徴はみられない。

表4・1 標本住宅の属性

	住宅－A	住宅－B	住宅－C	住宅－D
建築年次	昭和45年	昭和54年	昭和61年	昭和45年
2階床面積	87.48㎡	93.96㎡	58.80㎡	48.60㎡
屋根形状	招き屋根	招き屋根	招き屋根	切妻屋根
屋根勾配	20/100	25/100	15/100	20/100
屋根葺材	長尺鉄板から葺き	長尺鉄板立てはぎ葺き	長尺鉄板立てはぎ葺き	長尺鉄板立てはぎ葺き
軒の出	60cm	60cm	45cm	45cm
小屋裏換気	軒天有孔ボード	軒天有孔ボード 妻壁換気孔	軒天有孔ボード	軒天有孔ボード
換気孔有効面積 天井面積	$\frac{1}{777}$	$\frac{1}{268}$	$\frac{1}{358}$	$\frac{1}{299}$
小屋裏気積	122m ³	145m ³	66m ³	33m ³
屋根断熱	無し	無し	無し	無し
天井断熱	無し	100mmグラスウール	100mmグラスウール	無し
2階暖房器使用状況	朝から夜まで	週1日朝から夜まで 他の日は無し	無し	週1日朝から夜まで 他の日は夜だけ
2階主用途	台所、居間 寝室、子供室	アトリエ	寝室	子供室

- ②住宅-B：暖房器の使用は一週間に一日（火曜日）だけで、朝から夜までの連続である。
- ③住宅-C：2階では暖房器の使用はほとんど無い。
- ④住宅-D：暖房器の使用は朝から夜までの連続が一週間に一日（日曜日）あり、他の日は夜間に集中している。

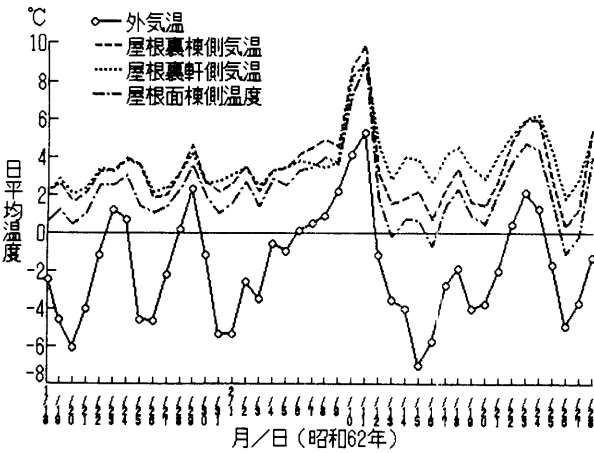


図4・1 外気温および建物温熱の日変化（住宅-A）

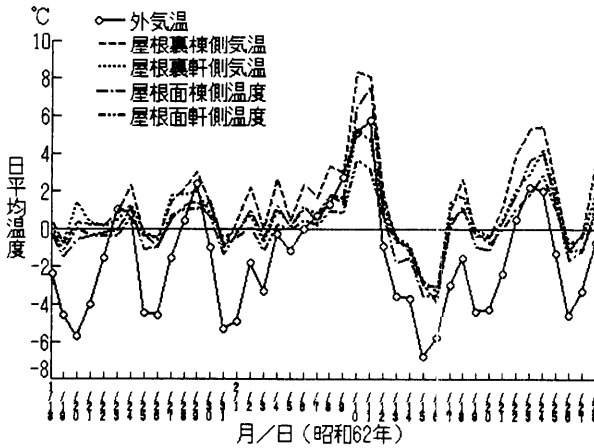


図4・2 外気温および建物温熱の日変化（住宅-B）

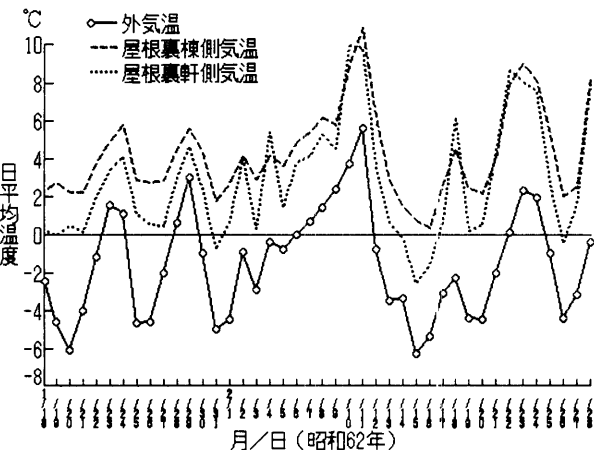


図4・3 外気温および建物温熱の日変化（住宅-C）

4. 3 温熱の実態および相互関係

(1) 温熱の計測結果

日平均外気温および建物温熱日平均値の日変化を図4・1～図4・3に示す。また、温熱日平均値の期間平均値および期間最大値・期間最小値を表4・2に示す。なお、日平均値は0時～24時までの3時間ごとの値の平均である。

日平均外気温が“－”を示す日だけに限った場合の温熱日平均値は、外気温が－3℃強で、屋根裏気温の住宅間最大値は3.2℃、最小値は0.1℃ある。屋根面温度の住宅間最大値は1.3℃、最小値は－0.5℃である。

以下示す数値は、前者が全期間平均値による値で、後者は日平均外気温が“－”を示す日だけに限った場合の期間平均値による値である。後者は〔 〕内に示す。

1) 標本住宅戸別の特徴

a. 住宅-A：屋根裏棟側気温は軒側気温より低い傾向がみられ、気温差は0.4℃〔0.8℃〕であるが大差はない。小屋裏の換気が影響しているものと推察される。屋根裏棟側と屋根面棟側の温度差は1.1℃〔1.1℃〕である。

b. 住宅-B：屋根裏棟側気温は軒側気温より0.6℃〔0.2℃〕高いが大差は無い。屋根面棟側と軒側との温度差は0.3℃〔0.1℃〕であり大差は無い。屋根裏棟側と屋根面棟側との温度差は1.0℃〔0.8℃〕、屋根裏軒側と屋根面軒側との温度差は0.7℃〔0.5℃〕である。

c. 住宅-C：屋根裏棟側気温は軒側気温より1.4℃〔1.7℃〕高く、他の2棟に比べれば大きな値である。

2) 標本住宅相互間の比較

a. 屋根裏棟側気温：住宅-C＞住宅-A＞住宅-Bの傾向がみられる。住宅間における気温差の最大は、住宅-Cと住宅-B間で2.8℃〔2.8℃〕である。

表4・2 温熱日平均値の期間平均値および期間最大値・期間最小値

			屋根裏 棟側気温 (℃)	屋根裏 軒側気温 (℃)	屋根面 棟側温度 (℃)	屋根面 軒側温度 (℃)	外気温 (℃)	測候所 外気温 (℃)
全 期 の 場 合	住宅-A	平均値 (σ)	3.3 (1.91)	3.7 (1.49)	2.2 (1.94)	—	-1.8 (2.87)	—
		最大値	9.9	9.0	9.0	—	5.3	
		最小値	0.3	1.8	-1.1	—	-7.0	
	住宅-B	平均値 (σ)	1.4 (2.42)	0.8 (1.66)	0.4 (2.14)	0.1 (1.37)	-1.6 (2.97)	-1.6 (2.95) 5.4 -6.5
		最大値	10.9	5.2	7.5	3.6	—	
		最小値	0.3	-3.4	-3.6	-3.9	—	
	住宅-C	平均値 (σ)	4.2 (2.41)	2.8 (3.16)	—	—	-1.6 (2.88)	—
		最大値	10.9	9.9	—	—	5.6	
		最小値	0.3	-2.6	—	—	-6.3	
日 平 均 外 気 温 が “ - ” の 場 合	住宅-A	平均値 (σ)	2.4 (1.00)	3.2 (0.86)	1.3 (1.10)	—	-3.4 (1.71)	-3.2 (1.87) -0.3 -6.5
		最大値	5.4	5.3	4.0	—	-0.6	
		最小値	0.3	1.8	-1.1	—	-7.0	
	住宅-B	平均値 (σ)	0.3 (1.52)	0.1 (1.21)	-0.5 (1.28)	-0.4 (1.10)	-3.2 (1.74)	-3.2 (1.87) -0.3 -6.5
		最大値	3.4	1.8	1.3	1.4	-0.3	
		最小値	-3.1	-3.4	-3.6	-3.9	-6.8	
	住宅-C	平均値 (σ)	3.1 (1.59)	1.4 (2.31)	—	—	-3.1 (1.76)	—
		最大値	8.3	7.9	—	—	-0.4	
		最小値	0.3	-2.6	—	—	-6.3	

b. 屋根裏軒側気温：住宅－A＞住宅－C＞住宅－Bの傾向がみられる。住宅間における気温差の最大は、住宅－Aと住宅－B間で2.9℃〔3.1℃〕である。

住宅－Aと住宅－Cとの関係は、屋根裏棟側気温の場合の関係と逆転する。住宅－Aの場合は軒側と棟側の気温差は大差が無いが、住宅－Cの場合は気温差が大きく軒側に比べ棟側の気温は高い。小屋裏換気の状態が異なるものと推察される。

c. 屋根面棟側温度：住宅－A＞住宅－Bの関係がみられる。住宅間の温度差は1.8℃〔1.8℃〕である。

d. 屋根裏と屋根面との温度差

外気温と屋根裏気温および屋根面温度との一次回帰線を図4・4および図4・5に示す。

屋根裏と屋根面との温度差は住宅－Aおよび住宅－Bの場合とも1℃程度で住宅間による大きな差は無い。屋根構成材が野地板と鉄板葺きであれば温度差は同等であり、外気温および建物温熱が変化しても温度差はほぼ一定である。

(2) 建物温熱相互間の関係

全期間 (n=42) における日平均屋根裏気温および日平均屋根面温度のそれぞれ相互の相関係数は、住宅－Aの場合0.895～0.984, 住宅－Bの場合0.935～0.985, 住宅－Cの場合0.950である。それぞれ相互に強度の正の相関性があることが認められ関係式を得ることができる。

(3) 自然温熱および暖房温熱との関係

1) 外気温と建物温熱との関係

全期間 (n=42) における日平均外気温と日平均屋根裏気温および日平均屋根面温度との相関係数は、住宅－Aの場合0.707～0.879, 住宅－Bの場合0.837～0.907, 住宅－Cの場合0.849～0.883である。外気温と強度の正の

相関性があることが認められ関係式を得ることができる。

関係式から温熱値を求めると、日平均外気温が－3℃の場合、屋根裏気温の住宅間最大値は3.3℃, 最小値は0.1℃となり、屋根面温度の住宅間最大値は1.5℃, 最小値は－0.5℃となる。

2) 日射量と建物温熱との関係

日射の影響が顕著に認められるのは住宅－Bおよび住宅－Cの場合である。前述した日射量の値の大きい日の温熱経時変化によると、日射量の値が大きい日の日中は一般の日の日中に比べて、外気温の上昇に対し屋根裏気温の上昇が著しく、外気温の低下に対して屋根裏気温は数時間かけて徐々に低下することが認められる。住宅－Bの場合は棟側気温の上昇が著しく、住宅－Cの場合は軒側気温の上昇が著しい。観察によると住宅－Cは屋根積雪がほとんど無いため、日射熱による建物温熱の上昇が大きいものと推察されるが、軒側に影響が著しい点については更に検討を要す。

3) 暖房と建物温熱との関係

住宅－Aの場合暖房器の使用は継続的であり建物温熱程度は高い。住宅－Bの場合暖房器の使用は断続的であり建物温熱程度は低い。住宅－Cの場合暖房器の使用はほとんど無いが建物温熱程度は高く、特に棟側気温が高い。換気状況および外気温・日射熱の影響によるものと思われる。

4) 外気温と暖房温熱の影響度による類型化

住宅－Aは外気温と建物温熱との相関性が最も低く暖房温熱の影響が大きいことから、建物温熱に対しては暖房影響型といえる。住宅－Bおよび住宅－Cの場合は外気温と建物温熱との相関性が高く暖房温熱の影響が小さ

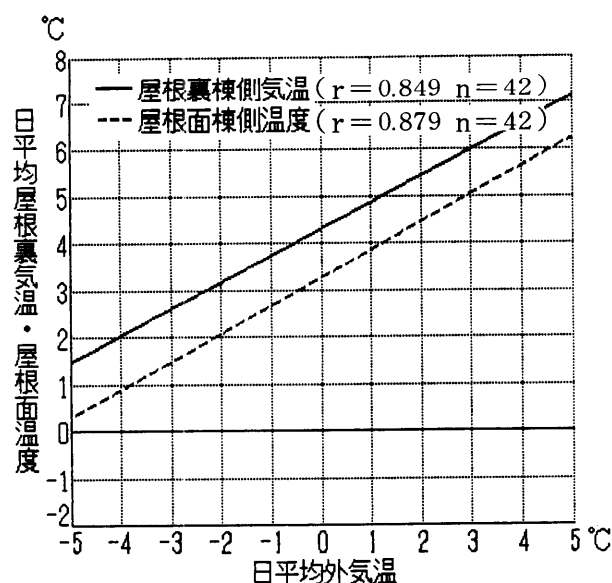


図4・4 外気温と屋根裏気温および屋根面温度との関係 (住宅－A)

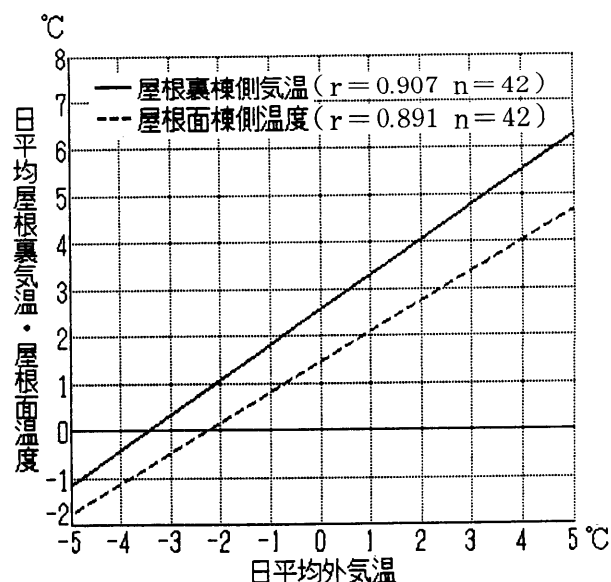


図4・5 外気温と屋根裏気温および屋根面温度との関係 (住宅－B)

いことから、建物温熱に対しては外気影響型といえる。

4. 4 つららの成長と温熱条件

(1) つららの観測結果

一日当りのつららの成長長さの日変化に外気温および屋根面温度の日変化を対応させたものを図4・6～図4・8に示す。つららの成長長さは下式による。

一日当りの成長長さ (cm/day) =

前日の最大長さ (cm) - 当日の最大長さ (cm)

他に、つららの成長と温熱条件との関係を表4・3に

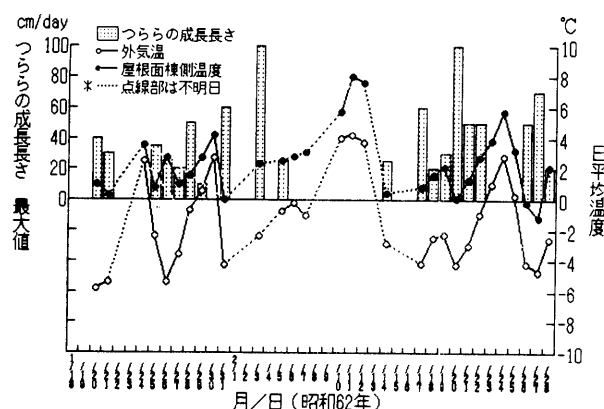


図4・6 つららの成長長さと外気温・屋根面温度の日変化 (住宅-A)

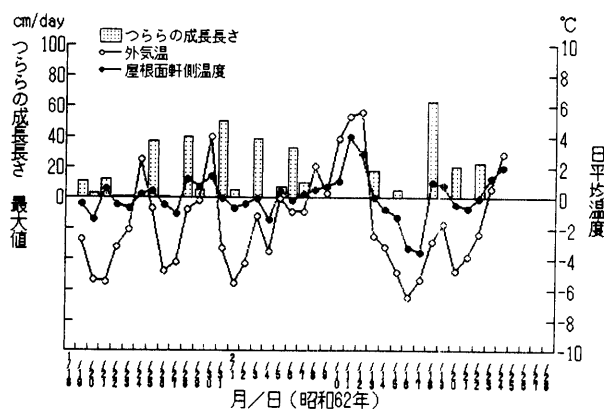


図4・7 つららの成長長さと外気温・屋根面温度の日変化 (住宅-B)

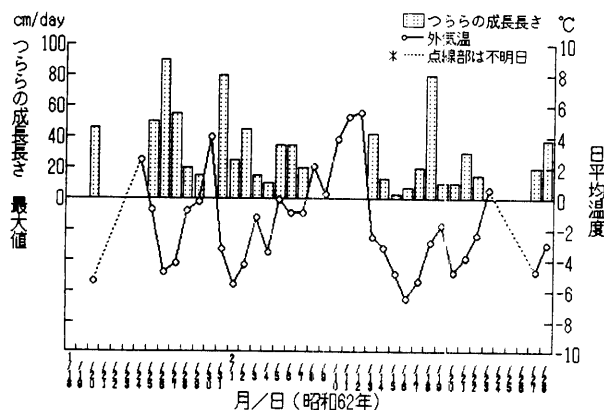


図4・8 つららの成長長さと外気温・屋根面温度の日変化 (住宅-D)

示す。表は後述する例外の日を除いた場合についてのものである。

なお、日平均温度は観測時刻と対応させ、3時間ごとの値(8回)の平均値とした。また、住宅-Dの場合は温熱計測を実施していないので、観察時刻が同じである住宅-Bの日平均外気温を用いた。

1) 標本住宅戸別の特徴

a. 住宅-A: つららの最大長さは2m以上(下屋まで達す)である。最大成長長さは1m/day以上(下屋まで達す)であり、この日の温熱日平均値は、外気温-2.4℃、屋根面棟側温度2.3℃、屋根裏棟側気温2.8℃である。30 cm/day以上の成長が認められる日は13日あり、50 cm/day以上では9日ある。

b. 住宅-B: つららの最大長さは1m40cmである。最大成長長さは63 cm/dayであり、この日は暖房器の使用があった日で、温熱日平均値は外気温-2.9℃、屋根面棟側温度0.6℃、屋根裏棟側気温1.5℃である。30 cm/day以上の成長が認められる日は6日あり、50 cm/day以上では2日ある。

暖房器を使用しない日だけに限ると、最大成長長さは50 cm/dayで、この日の温熱日平均値は外気温-3.3℃、屋根面棟側温度-0.6℃、屋根裏棟側温度0.1℃である。30 cm/day以上の成長が認められる日は4日あり、50 cm/day以上では1日ある。

c. 住宅-D: つららの最大長さは2m65cmである。最大成長長さは90 cm/dayであり、この日の日平均外気温は-5.4℃である。30 cm/day以上の成長が認められる日は12日あり、50 cm/day以上では5日ある。

表4・3 つららの成長と温熱条件

		外気温 (℃)	屋根面 棟側温度 (℃)	屋根面 軒側温度 (℃)	屋根裏 棟側気温 (℃)	屋根裏 軒側気温 (℃)
住宅-A	つららの最大長さ	200cm以上 (下屋まで達す)	—	—	—	—
	つららの最大成長長さ	100cm/day以上 (下屋まで達す)	-2.4	2.3	—	2.8
	つららの成長がある日の 温熱日平均値	期間平均値 (σ)	-3.0 (1.57)	1.5 (0.79)	—	2.6 (0.71)
	最大値 最小値	0.7 -5.8	2.7 0.3	—	3.8 1.6	5.0 2.0
住宅-B	つららの最大長さ	140cm	—	—	—	—
	つららの最大成長長さ	63cm/day	-2.9	0.6	1.0	1.5
	つららの成長がある日の 温熱日平均値	期間平均値 (σ)	-1.7 (1.72)	0.4 (0.64)	0.6 (0.37)	1.4 (0.73)
	最大値 最小値	-0.2 -5.5	1.4 -0.1	1.2 0.0	2.7 0.1	5.0 0.2
住宅-C	つららの最大長さ	265cm	—	—	—	—
	つららの最大成長長さ	90cm/day	-5.4	—	—	—
	つららの成長がある日の 温熱日平均値	期間平均値 (σ)	-2.9 (2.21)	—	—	—
		最大値 最小値	-0.1 -6.5	—	—	—

暖房器の使用が夜間だけの日に限ると、最大成長長さは80 cm/day で2日あり、日平均外気温は -4.3°C および -2.5°C である。30 cm/day 以上の成長が認められる日は10日あり、50 cm/day 以上では4日ある。

(2) つららの成長と温熱条件

1) 外気温と屋根面温度の条件

標本住宅-Aおよび住宅-Bにおいては、つららの成長が認められる日は、以下に示す例外の日を除いて日平均外気温が“-”であり、日平均屋根面温度が“+”であることが認められる。例外については次に示す3条件の場合が該当する。

- ①日平均外気温が“+”日平均屋根面温度が“+”であっても成長が認められる場合
- ②日平均外気温が“-”日平均屋根面温度が“-”であっても成長が認められる場合
- ③日平均外気温が“-”日平均屋根面温度が“+”であっても成長が認められない場合

①および②については、外気温と屋根面温度を日平均値としてとらえたため、経時変化によると外気温が“-”屋根面温度が“-”である時間が存在する。③については、屋根雪の落雪のためつららの成長がみられないものである。

2) 外気温と屋根面温度の経時変化

つららの成長長さは、外気温と屋根面温度が成長条件にある時間の長さによって異なり、経時変化の特徴は次のとおりである。

- a. 住宅-A：外気温が“-”で屋根面温度が“+”である時間は長い。屋根面温度が“-”を示す時間帯は午前2時～3時から午前7時～8時までの間で、これ以外の時間は“+”を示すことが多い。
- b. 住宅-B：外気温が“-”で屋根面温度が“+”である時間は短い。暖房器を使用しない日については屋根面温度はほぼ正午をピークとした日中のみが“+”で、この時間以外は“-”を示すことが多い。
- c. 住宅-D：外気温が“-”で屋根面温度が“+”である時間は長いと推察される。暖房器の使用が夜間に集中しているため、屋根面温度が“+”になるのも夜間に集中するものと推察される。

3) 温熱条件の相互関係

前述した例外の日およびつららの成長が認められない日を除いた場合についての温熱条件は表4・3に示すとおりである。

住宅-Aの場合は建物温熱の期間平均値は大きく、最大値と最小値の差も大きい。温熱相互間の関係は正の相関性が認められ、前節の関係式が適用できる。

住宅-Bの場合は建物温熱の期間平均値は小さく、最大値と最小値の差も小さい。温熱相互間の関係は、データ数が少なくバラツキが大きいため、前節の関係式は適

用できない。

(3) 日射および暖房の影響

1) 日射の影響

住宅-Aおよび住宅-Dについては観測期間をとおして全体的につららの成長が著しいため、大きな特徴はみられない。

住宅-Bの場合は、日射量の値が大きい日はつららの成長が認められる場合がある。経時変化によると、一般の日は屋根面温度が“+”を示すのは日中だけであるが、日射量の値の大きい日は午後5時～10時ごろまで“+”を示し、日射熱の小屋裏への蓄積が推察される。

2) 暖房の影響

住宅-Aについては暖房時間の日変化に大きな特徴はみられないが、暖房器の使用が朝から夜までの連続であるため、暖房の影響は著しいといえる。

住宅-Bおよび住宅-Dの場合、暖房器が使用されている日および暖房器の使用が朝から夜までの日は、日平均外気温が“-”である場合についてつららの成長が著しい傾向がみられる。

(4) 屋根面温度の条件による類型化

屋根面温度が“+”である時間帯によって住宅のつららの成長タイプを類型化できる。

住宅-Aは、暖房器の使用が朝から夜までの連続であり、屋根面温度が“+”である状態が長時間続くため、つららの成長に対しては終日成長型といえる。

住宅-Bは、暖房器を使用しない日が多く、屋根面温度は日中のみが“+”であるため、つららの成長に対しては日中成長型といえる。

住宅-Dは、暖房器の使用が夜間に集中しているため、屋根面温度が“+”になるのも夜間に集中すると推察され、つららの成長に対しては夜間成長型といえる。

(5) つららの成長長さの回帰分析

つららの成長長さを推測するため、日平均外気温と日平均屋根面温度を変数とした重回帰分析を試みたが、式の信頼性は低く再現性も低い結果となった。日平均値からでは信頼性が低く、経時変化により外気温が“-”で屋根面温度が“+”である時間に限り検討することが必要である。

4. 3 まとめ

(1) 温熱の実態および相互関係

①調査住宅3棟における温熱日平均値は、外気温が -3°C の場合、屋根裏(野地板近傍)気温の住宅間最大値は 3°C 強、最小値は 0°C で、日平均屋根面温度の住宅間最大値は 1.5°C 、最小値は -0.5°C である。

屋根部位の断熱、換気および暖房の程度により異なる。

②屋根裏気温および屋根面温度は、外気温および相互間とで強度の正の相関関係にあり、関係式を得ることがで

きる。

③日平均屋根裏気温と日平均屋根面温度との温度差は、屋根構成材が野地板と鉄板葺きの場合、気温の変動にかかわらずほぼ一定の値を示し約1℃である。

④一般に屋根裏棟側気温は軒側気温より高いが、外気温が低いと軒側の方が高い場合もある。

⑤日射熱により屋根裏気温が上昇する場合がある。

⑥建物温熱に対する外気温と暖房温熱の影響度により、住宅を暖房影響型と外気影響型の2タイプに類型化することができる。

(2) つららの成長と温熱条件

①調査住宅3棟におけるつららの最大長さは、住宅間最大値2m65cm、最小値1m40cmである。

一日当りの最大成長長さは、住宅間最大値1m/day以上（下屋まで達す）で、この日の温熱日平均値は外気温-2.4℃、屋根面棟側温度2.3℃である。住宅間最小値は63cm/dayで、この日の温熱日平均値は外気温-2.9℃、屋根面棟側温度0.6℃である。

②つららの成長条件は、日平均外気温が“-”であり、日平均屋根面温度が“+”の条件にある場合である。但し、日平均値としたため成長条件に当てはまらない場合がある。

③つららの成長長さは、外気温と屋根面温度が成長条件にある時間の長さによって異なる。

④日射の条件によりつららが成長する場合がある。

⑤屋根面温度が“+”である時間帯によって、住宅のつららの成長タイプを終日成長型、夜間成長型、日中成長型の3タイプに類型化することができる。

⑥つららの成長長さの回帰分析は、外気温と屋根面温度の日平均値から推測した場合、信頼性が低い。

今後の課題としては、建物温熱状況の詳細を把握するため、計測点を増加することが必要である。つららの成長については、温熱を日平均値でとらえるのではなく、経時変化により検討する必要がある。更には、気候特性の異なる場合について検討する必要があると考える。

（担当 月永洋一）

〈参考文献〉

- 1) 中村勉・阿部修：陸屋根上の積雪の断面観測とその積雪底部での融解，国立防災科学技術センター研究報告，19号，1978，pp. 219～228
- 2) 高橋博・中村勉：雪氷防災，昭和61年，pp. 295～298

〈研究組織〉

主査 渡辺 正 朋 八戸工業大学 助教授

委員 山川 章 三 （財）青森市社会体育施設・管理公社 常務理事

月 館 敏 栄 八戸工業大学 講師

月 永 洋 一 八戸工業大学 講師