

陸屋根上の積雪の断面観測とその積雪底部での融解

中 村 勉*・阿 部 修*

国立防災科学技術センター新庄支所

Observations on Vertical Profiles of the Snow Cover on Roofs and Melting at the Bottom of the Snow Cover

By

Tsutomu Nakamura and Osamu Abe

*Shinjo Branch, National Research Center for Disaster Prevention
No. 1400, Takadan, Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken 996, Japan*

Abstract

Observations on vertical profiles of the snow cover on nearly flat roofs of three different buildings of this Branch were made on January 13, 1977 and the observational results were compared with that of the snow cover on the ground.

Relative positions of the observational points are shown in Fig. 1. The rate of the increase of the snow cover on the ground due to the fall of the daily new snow is shown in Fig. 2.

Comparison of these four results revealed that the layered structure of the snow cover on flat roofs is similar to the upper part of the snow cover on the ground, and a granular snow layer was observed at the bottom of each snow cover. These two facts mean that each snow cover melts at its bottom due to the heat flow either through the ceilings of the buildings or through the ground surface.

The thawing rate of the snow cover on the roof of the main building of the Branch reached the value of 2.9 mm per day which corresponds to the heat flow of 23 cal cm⁻² day⁻¹ as shown in Table 1.

Snow load on the roofs of the main building and the storehouse without any heater was 130 and 190 kgf m⁻², respectively, and this difference of 60 kgf m⁻² is a considerable amount of snow in the designing of the building construction.

Snow cover on the ground melted by 0.61 mm day⁻¹ due to the heat flow through ground surface, and the amount of the heat necessary to melt the snow corresponds to 4.9 cal cm⁻² day⁻¹. On the other hand, the measurements of the heat flow from the ground in the observational field of the Branch showed that the amount of heat, 6.4 cal cm⁻² day⁻¹, came up through the ground in the period from Dec. 9, 1976 to Jan. 13, 1977, and this amount nearly equals to the calculated result, 4.9 cal cm⁻² day⁻¹.

はじめに

屋根雪処理に関する研究は古くから多くあるが、屋根雪、特に陸屋根上の積雪内部の性状

* 雪害防災研究室

についての観察は乏しい。屋根雪荷重の問題を考える場合には、重量だけに関する知識で良いが、屋根雪に手を加えて処理する方法を考察する時には、その内部を知っていることが重要となる。

筆者は今年の冬(1976年から1977年の冬期)に、陸屋根上の積雪のいわゆる“断面観測”をわずか一回ではあるが行ったので、報告するものである。

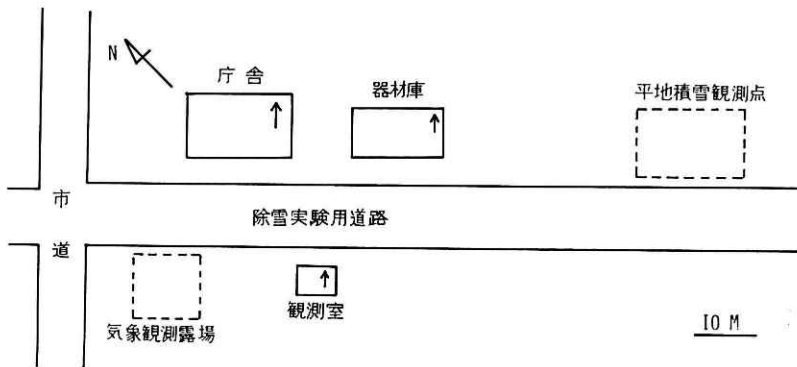


図 1 屋根雪および平地積雪観測点平面図
 Fig. 1 Relative positions of the three buildings and the ground, where snow cover observations were made.

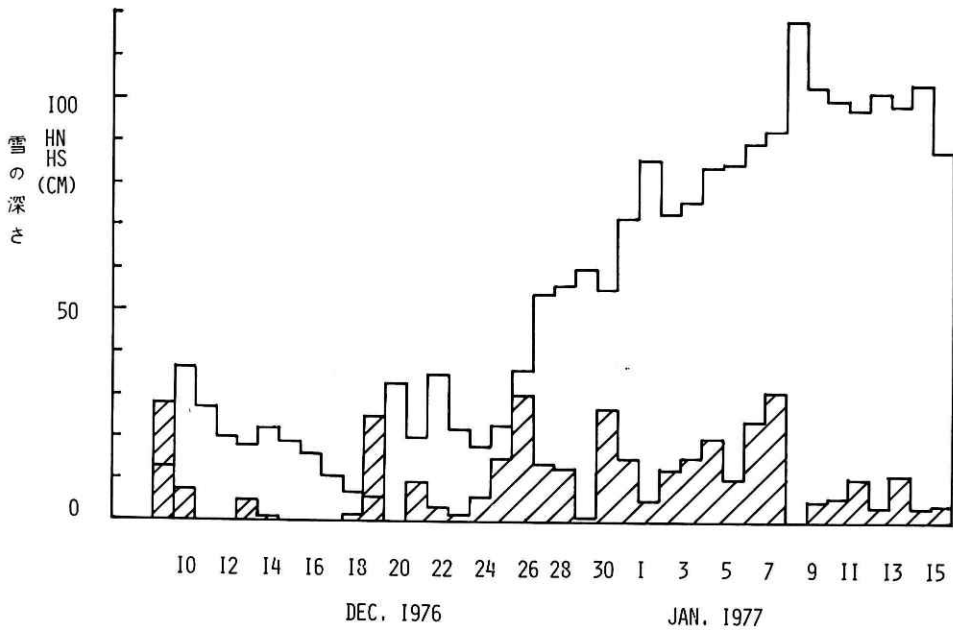


図 2 降雪と積雪(斜線をほどこした値が降雪深)
 Fig. 2 Depths of the daily new snow and the snow cover on the ground.

1. 観測日と場所

1977年1月13日に、当センターの三つの建物上の屋根雪について断面観測を行った。その三つの建物、即ち当センター庁舎、観測室および器材庫の相対的位置関係は、図1に示した如くである。同図からわかるように、器材庫は冬の季節風の庁舎の風下側に位置している。庁舎および器材庫それに観測室の屋根面の最大高さは、それぞれ地上高9.7m、5.7m および 3.8m であり、勾配はそれぞれ 8/100 (いわゆる 0.8 寸勾配, 以下同様), 4/100, 2/100 である。図1には下り勾配方向を矢印の向きで表わしてある。屋根材は、庁舎と器材庫が長尺カラー鉄板であり、観測室はコンクリートで、モルタル仕上げである。

観測方法は地上での積雪断面観測法と同じである。断面の向きは屋根勾配と直角にとった。

2. 観測結果

観測日の1月13日の2日後までの日毎の降雪強度および積雪深の増加の様子を図2に示した。1月の日最大降雪深は約 30 cm であり、この程度の降雪は12月9日から1月13日までの間に4日出現している。積雪深は12月下旬から次第に増加しているが、観測日の13日前後にはさしたる降雪はなく、この頃は積雪深はほぼ一定の時期であった。

図3に上記の三個所および平地での積雪断面の層構造を示す。平地での測定結果は当観測日の翌14日の値〔東浦他(私信)による。以下平地での積雪の断面観測結果も同様〕である。これらの断面写真をみると、積雪は大まかに二ないし三層から成りたっている様子がうかがえるが、これらの詳細は図4から図7に示されている。

この図4から図7までには、層構造以外の諸物理量も示されている。粒径、雪温、雪の

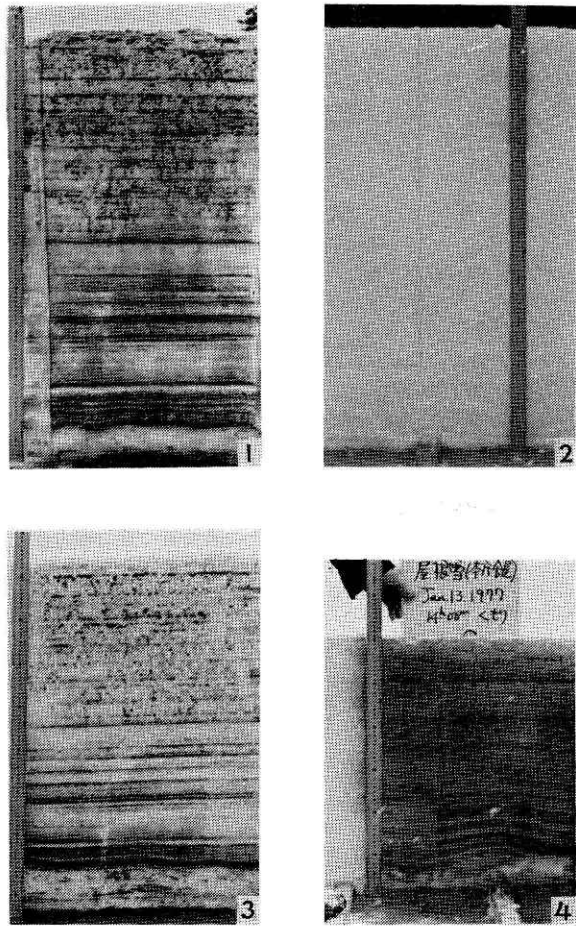


図3 積雪の層構造

1: 平地 2: 器材庫屋上 3: 観測室屋上 4: 庁舎屋上
 Fig. 3 Layered structure of the snow cover (1: on the ground, 2: on the storehouse, 3: on the recording room, 4: on the main building).

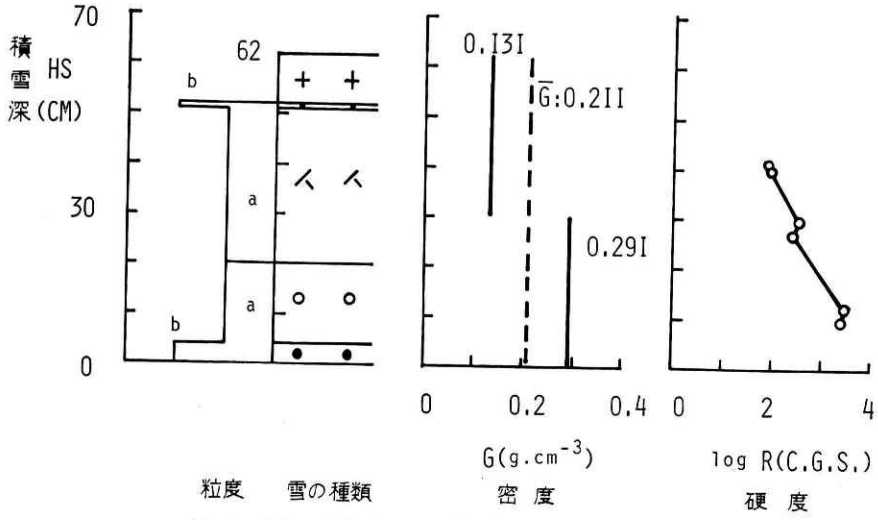


図4 庁舎の屋根雪の断面観測結果 (記号は国際記号⁴⁾)
 Fig. 4 Vertical profile of the snow cover on the roof of the main building (after international symbols).

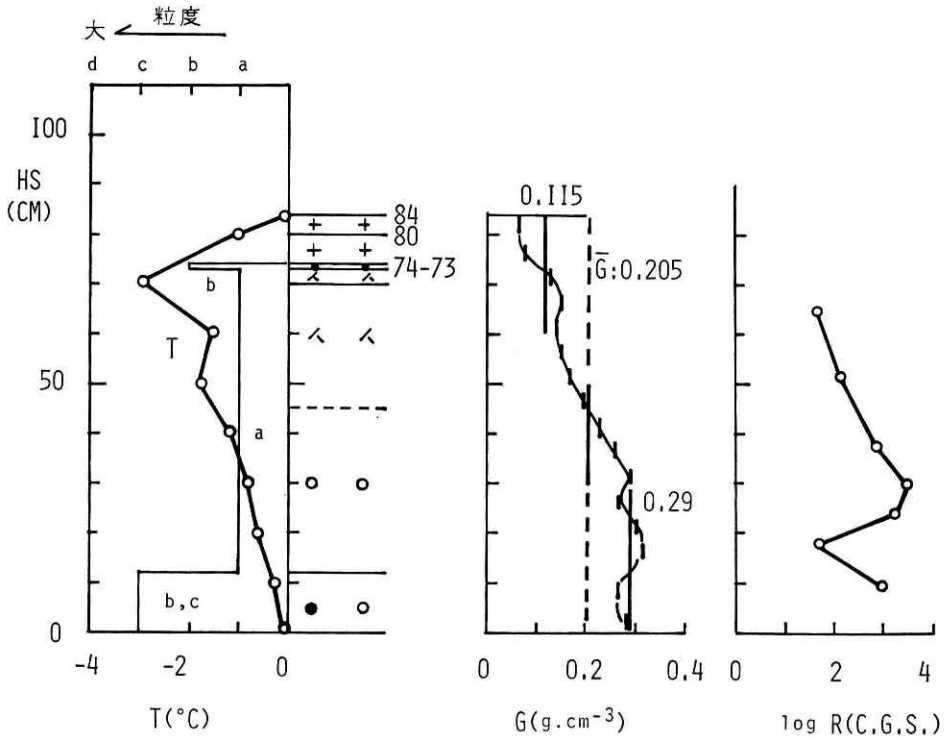


図5 観測室の屋根雪の断面観測結果 (Tは雪温, 他は図4と同じ)
 Fig. 5 Vertical profile of the snow cover on the roof of the recording room.

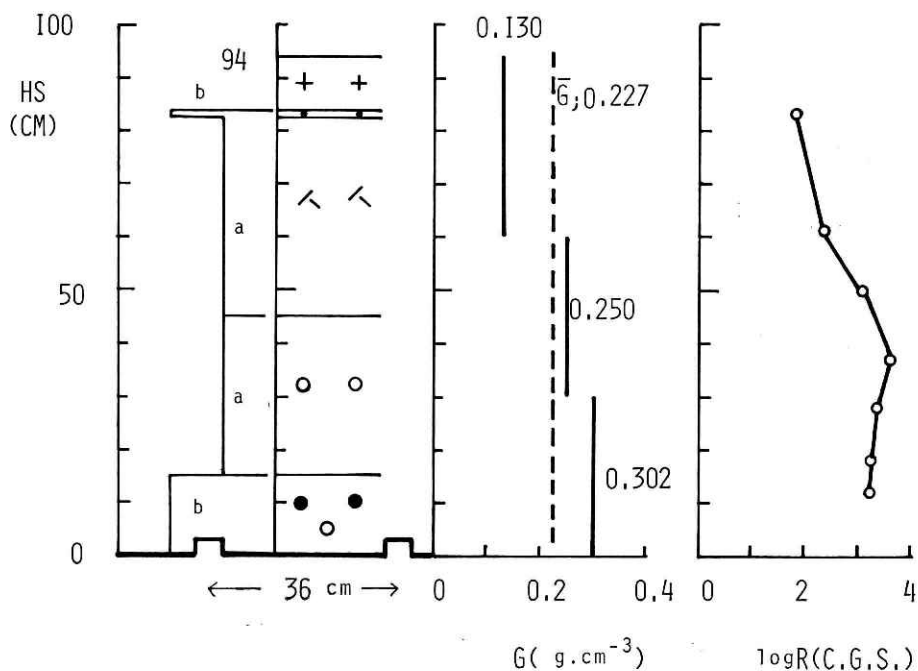


図 6 器材庫の屋根雪の断面観測結果 (記号は図 4 に同じ)
 Fig. 6 Vertical profile of the snow cover on the roof of the storehouse

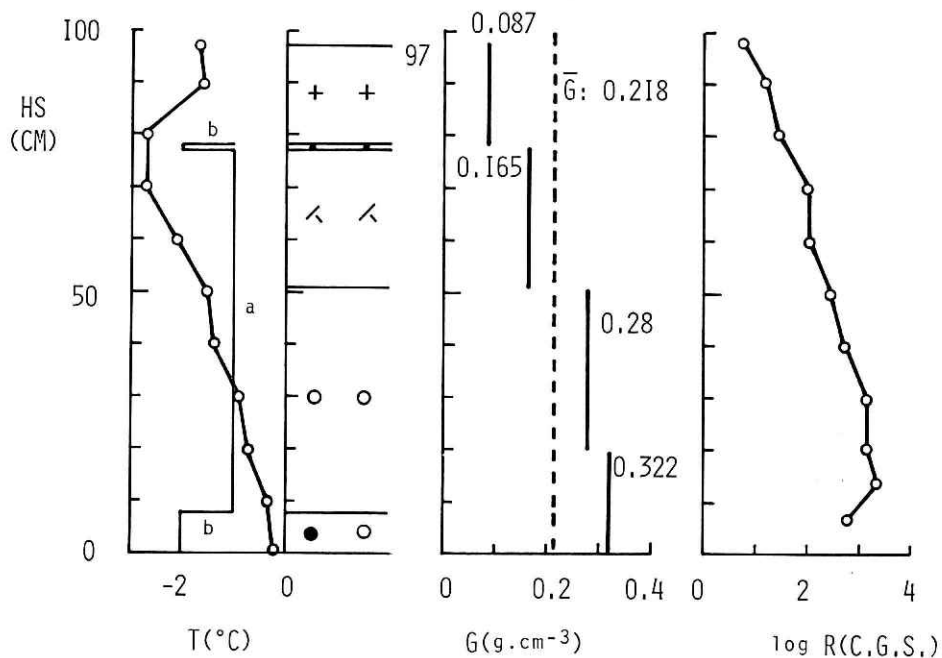


図 7 平地積雪の断面観測結果 (記号は図 4 に同じ)
 Fig. 7 Vertical profile of the snow cover on the ground.

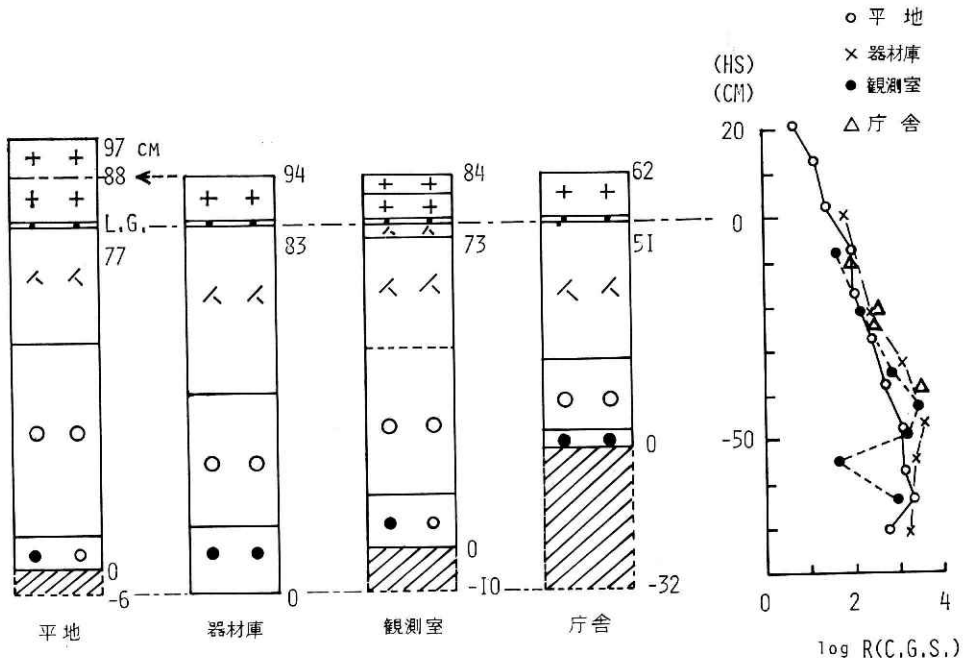


図 8 三つの屋根雪と平地積雪との比較 (記号は図4に同じ)
 HS に () をつけたのは基準面を積雪表面下 11 cm としたからである。
 Fig. 8 Comparison of the four different types of snow cover.

層の順序, 平均密度については四者ともほぼ同じであるが, 硬度と積雪深には違いがみられる。図 8 にこれらの比較を示す。幸いに積雪はいずれも表面下 10 cm ほどの所に薄いざらめ雪層 (この層を G 層と名付ける) があるので, これを比較の基準位置として図 8 を作成してある。平地での積雪深は 1 月 14 日の値であるので, 13 日から 14 日までの降雪の深さを除去した値としての 88 cm を 13 日の平地での積雪深とみなして, 今後の比較対象とする。積雪深は器材庫上の屋根雪が一番厚い。今, これを基準とすると, 積雪深は庁舎屋上では 32 cm, 観測室では 10 cm, 平地では 6 cm とそれぞれ器材庫での値よりも小さいことになる。

図 8 の右側に示してある硬度の比較図も, 上に述べた方法と同じく, ざらめ雪層 (G 層) を基準として作成してある。硬度の実測値の詳細は付録に示してある。観測室屋上の一部の値を除けば, 屋根雪の硬度は平地での値よりもやや大き目である。これは, 地上高の増加と共に風速も大となるから屋根雪は風による硬化作用を地上の雪よりもより大きく受けていることを示しているのかも知れない。

3. 積雪底部での融出

器材庫では暖房は行わず, 観測室では時々, 庁舎では, 日曜・祭日を除く毎日昼間は暖

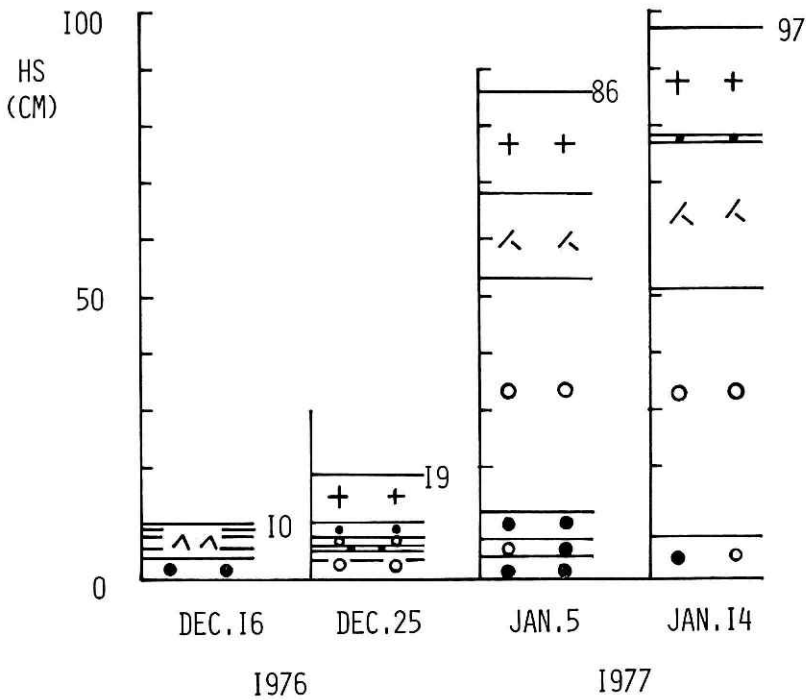


図 9 平地での積雪層の経時変化 (記号は図 4 に同じ)

Fig. 9 Metamorphoses and increase in the depth of the snow cover on the ground.

房を行っていた。平地には多少の地熱流がある。12月9日からこの観測日の1月13日までの間では、この地熱流は一定値の $6.4 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった*。それ故、前節で述べた四個所での積雪深の差の原因は、大半が積雪底面からの融出のために違いがない。雪の最下層部にわずかのざらめ雪があるのは、その一つの証拠である。

平地での積雪、特に地面付近での積雪の時間的変化の様子を知るために作成したのが図9である(東浦他による)。同図からも接地面付近では、わずかながら雪は融け去っている様子が窺える。

それゆえ、1月13日までの積雪底部での融出量を考えてみよう。その前に一般論として、今、ある期間の積雪量の収支を考える。 Q_i を収入分、 Q_o を支出分とすると、その差 ΔQ が残となる。即ち、

$$\Delta Q = Q_i - Q_o \quad (1)$$

今、 Q_i については降雪のみが、 Q_o については融出だけがあり、これ以外の現象はないものと考え、(1)式は次式のように書ける。

$$\Delta Q = \int_{t_0}^t q_p \cdot dt - \bar{q}_m(t - t_0) \quad (2)$$

* この値は当支所の気象観測露場での、熱流板を用いた実測値である。

表1 平地積雪および屋根雪に関して算出された融出量, 融雪速度および熱流束等
 Table 1 Snow depth (No.1), average snow density (No.2), water equivalent of snow (No.3), calculated amount of snowmelt (No.4), the thawing rate (No.5), amount of the heat necessary for thawing (No.6), amount of the snowmelt relative to that of the storehouse (No.7), relative thawing rate (No.8) and heat flux through the ground surface and roofs (No.9).

項 目	観測点	平 地	器材庫	観測室	庁 舎
1 1月13日の積雪深, HS (cm)		88	94	84	62
2 同日の積雪の平均密度, \bar{G} ($g\ cm^{-3}$)		0.218	0.227	0.205	0.211
3 積雪相当水量, $\Delta Q = (HS) \times \bar{G}$ (mm)		191.8	213.4	172.2	130.8
4 全融出量, $235.5^* - \Delta Q$ (mm)		43.7	22.1	63.3	104.7
5 日平均融雪速度 ($mm\ day^{-1}$)		1.2	0.62***	1.8	2.9
6 接地単位面積当りの日平均融解熱量 ($cal\ cm^{-2}\ day^{-1}$)		9.6	5.0***	14.4	23.2
7 相対融出量** (mm)		21.6	0	41.2	82.6
8 日平均相対融雪速度 ($mm\ day^{-1}$)		0.61	0	1.2	2.3
9 地熱及び屋根を通過した熱 ($cal\ cm^{-2}\ day^{-1}$)		4.9	0	9.6	18.4

* 235.5 mm は 1976年12月9日0時から1977年1月13日12時までの降水量の総計

** 器材庫屋上の屋根雪融出量を零とみなした時の値

*** 器材庫が吸収した日射エネルギーと大気から受けた熱エネルギーの総和のうち、積雪の融解に用いられた熱量およびそれによる融雪速度

但し、 q_p : 1日の降雪量, \bar{q}_m : 1日の平均融出量, t : 時間である。簡単のために、降雪量は水に換算した値を以後用いることにする。

(2)式中の q_p は時間 t の関数であり、その形を決めるのは難しいけれども、その積分値は、毎日の降雪量の測定値を合計することにより求められる。即ち、12月9日以降は平地では連続積雪状態であったから、 t_0 を12月9日、 t を1月12日として、(2)式右辺の第一項を雨量計を用いた測定値から求めると、それは 235.5 mm となる。これは 1976年12月9日0時から1977年1月13日12時までの35.5日間の値である。

他方、(2)式の第二項は各観測点の測定値 ΔQ と上記の第一項との差として求められる。ここで ΔQ は積雪相当水量であり、積雪深と雪の密度との積で求められる。この結果は表1に示してある。

各観測点での日融雪速度は、庁舎屋上では 2.9 mm もあり、観測室屋上、器材庫屋上、平地ではそれぞれ 1.8, 0.62, 1.2 mm と算出された。これらの値に相当する積雪量をとかすために必要な熱量は表1の第6番目の項目に掲げてある。この熱量の計算時には、積雪を 0°C にまで昇温させるために必要な熱量は無視してある。

上記の融雪量が、勾配のゆるい屋根面を伝わって流出していたことになる。

ところで、器材庫には暖房が無いから、この屋根雪の融解は、建物が吸収した日射エネルギーと大気から受けとった熱エネルギーによると考えられる。それぞれの建物が受けるこの熱エネルギーは、建物面積、表面材質、方位によって異なる。しかし今仮りに、三つの建物とも同じ量だけ受けたとすると、表1の第7番目の項目に示したように、器材庫での融出量を零とおくことによって、平地にあっては地熱だけの、観測室と庁舎にあっては暖房熱の余

表 2 各種の熱源を用いた時の屋根雪の融雪量比較 (暖気導入式, 電気ヒーター, 温水パイプ方式による測定結果は新庄での測定結果であり, 詳細は文献 (2) を参照されたい)

Table 2 Thawing rates of the snow cover on roofs by different melting methods.

熱源 と 方式	暖房余熱			電気ヒーター		温水パイプ 循環方式 40~60°Cの温水
	自然のまま, 室温 20°C		暖気導入式	敷込み式	上乗せ式	
	庁舎	観測室	室温 20°C	150 W・m ⁻²	200 W・m ⁻²	
融雪量 l・m ⁻² ・day ⁻¹	2.4	1.2	7.5	24~36	22~29	12~38

熱流入だけによる融出量 (これを相対融出量と呼ぶ) が算出される。

これらの値に相当する積雪をとかすためには熱が必要であったわけで, 平地では 4.9 cal cm⁻²day⁻¹ の地熱流が, 観測室と庁舎にあっては, それぞれ 9.6 と 18.4 cal cm⁻²day⁻¹ の天井から屋根面を通過した熱流束があったことになる。この計算方法で求めた地熱流 4.9 cal cm⁻²day⁻¹ は, 先に述べた当支所構内での測定値 (6.4 cal cm⁻²day⁻¹) と良く一致する (誤差 23%)。

庁舎および観測室屋上で融ける雪の量は, 電気ヒーターや温水パイプ方式によって融ける量の約 1/10~1/20 の程度であるが, 暖気導入方式によって融ける量とオーダーは同じである。表 2 には各種の熱源による屋根雪の融雪量の比較を示してある。

ま と め

今冬 (1976~1977 年冬期), 三種類の陸屋根上の雪のいわゆる “断面観測” を行い, これらの結果と平地での測定値との比較をした。

屋根雪の積雪層の構造は, 平地での積雪層の上層部と似ているが, 積雪深にはかなりの違いがあった。いずれの観測点においても, 積雪底面にはざらめ雪が見出された。即ち多少の差はあれ, 建物の屋上から出る熱のために積雪の接地部では融解がおこり, 人間が昼間住んでいる建物 (庁舎) では, 35 日間の平均値ではあるが, 毎日約 3 mm (水柱換算値) もの融雪があり, これだけの量を融かすために必要な熱量は 23 cal cm⁻²day⁻¹ となる。この融解した水は屋根面を伝わって流出していたことになる。

一方, 小島 (1976) は北海道札幌市内にある大学の建物の一寸勾配のコンクリート製屋根上での融雪量として, 1976 年 1 月 27 日から 2 月 12 日までの 17 日間で 3.1 g cm⁻² の値を, これに引き続く 13 日から 3 月 1 日までの 18 日間で 6.6 g cm⁻² の値を求めている。これから算出された日平均融雪量はそれぞれ 1.8 と 3.7 mm day⁻¹ であり, これらの値は本稿の観測室および庁舎屋上の屋根雪について得られた値, 2.9 と 1.8 mm day⁻¹ と同じ程度である。

昼間常時暖房のある建物 (庁舎) とない建物 (器材庫) とでは, 屋根雪の融雪速度に 2.3 mm day⁻¹ の差がある。今これを, 家屋の耐荷重性という観点からとらえてみると, 1 月 13 日現

在器材庫では 1 m^2 あたり 210 kg 重 余りもの積雪荷重があるのに対して、融解流出の激しい庁舎にあっては、その約6割位の荷重の 130 kg 重 しかない。即ち屋根雪荷重としては、 80 kg 重 m^{-2} の差が生じていたことになるから、この値は建築物設計時に考慮されねばならぬ値と考えられる。

この冬期の12月から1月中旬までの、平地積雪底部での融出量は平地積雪断面観測結果から約 0.62 mm day^{-1} (水柱値) と算出された。この融雪は全て地熱による結果であるとみなして、その地熱流を計算すると、その値は $4.9\text{ cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ であり、実測値の $6.4\text{ cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ に良く合致した。

三つの屋根雪の間で、積雪の平均密度を比べてみると、一番大きいのが庁舎の風下側にある器材庫上の値で 0.227 g cm^{-3} 、次いで一番風上側の庁舎屋上の雪の値の 0.211 、一番密度が小さいのは屋根の高さが一番低い観測室屋上の雪の値(0.205)であった。平地での値は 0.218 で、庁舎又は器材庫での値により近い。このように四者の密度には大差なく、それらは $0.21\sim 0.23\text{ g cm}^{-3}$ の範囲にあった。

風による硬化作用のためか、屋根雪は、平地の雪よりも多少硬度が大きかった。

参 考 文 献

- 1) 東浦将夫他：(私信)新庄における気象および平地積雪断面観測，1976年～1977年冬期。防災科学技術研究資料に印刷予定。
- 2) 科学技術庁研究調整局(1975)：都市の雪害防止に関する総合研究報告書。184頁，144～147頁参照。
- 3) 小島賢治(1976)：無落雪屋根上の積雪とその融解。日本雪氷学会秋季大会予稿集(221番)。
- 4) UNESCO(1970)：Seasonal Snow Cover. pp.1～38. (1977年12月26日原稿受理)

付録 積雪の硬度(屋根雪の値は、四手井式硬度計で測定した数値を木下式硬度計での値に較正表¹⁾で換算したもの。平地積雪の値は木下式硬度計による。)

Appendix Hardness of the snow cover.

庁 舎 屋 上			観 測 室 屋 上			器 材 庫 屋 上			平 地 上		
HS (cm)	R ($\text{g}\cdot\text{f}\cdot\text{cm}^{-2}$)	$\log_{10}R$ (C.G.S.)	HS (cm)	R ($\text{g}\cdot\text{f}\cdot\text{cm}^{-2}$)	$\log_{10}R$ (C.G.S.)	HS (cm)	R ($\text{g}\cdot\text{f}\cdot\text{cm}^{-2}$)	$\log_{10}R$ (C.G.S.)	HS (cm)	R ($\text{g}\cdot\text{f}\cdot\text{cm}^{-2}$)	$\log_{10}R$ (C.G.S.)
41	54	1.7	65	50	1.7	73	64	1.8	98	5.4	0.73
42	35	1.5	52	130	2.1	61	240	2.4	90	15	1.2
41	82	1.9	37.5	700	2.9	50	1200	3.1	80	27	1.4
40	94	2.0	30	3000	3.5	37	4300	3.6	70	100	2.0
29	330	2.5	24	1500	3.2	28	2500	3.4	60	107	2.0
28	240	2.4	18	52	1.7	18	1900	3.3	50	300	2.5
29.5	330	2.5	9.5	800	2.9	12	1700	3.2	40	530	2.7
27	290	2.5							30	1370	3.1
10	2400	3.4							20	1430	3.2
11.5	2000	3.3							14	2050	3.3
12	2900	3.5							7	610	2.8
12.5	2700	3.4									

備考 HS: 積雪深, R: 硬度, 使用した四手井式硬度計は 101号器