

ページ	行	誤	正
73	Abstract 1	different heights of buildings	buildings of different roof heights

国立防災科学技術センター新庄支所

Wind Effect on the Daily New Snow Depth on Flat Roofs

By

Osamu Abe and Tsutomu Nakamura

*Shinjo Branch, National Research Center for Disaster Prevention
Shinjo, Yamagata-ken 996, Japan*

Abstract

Daily new snow depths on three different heights of buildings were measured in three winters in Shinjo, Tohoku area of the Japanese main island, Honshu, where we sometimes have a heavy snowfall accompanied by high air temperatures and mild wind conditions. The measurements revealed that the higher the building, the less the daily new snow depth on the building if the building is isolated from other buildings, in other words, if no building is located at the windward of the isolated building. If, however, a 5.7m tall building is located 10m to the leeward of a 9.7m tall building, then the daily new snow depth on the 5.7m tall building was almost the same as the new snow depth on the ground or slightly less than the ground new snow depth.

An equation to calculate the wind factor through which the new snow depth on the roof can be estimated, was derived from the comparison of the daily new snow depth on roofs and on the ground.

The daily new snow depth on roofs is considered to be affected by not only wind speeds but also snow temperatures.

はじめに

前報(中村, 阿部: 1978)では, 高さや規模の異なる三種の陸屋根上での積雪深の違いは, 屋根を通過してきた暖房余熱の違いによると考えた。その後6冬期間の同じ三種の建物上で

* 雪害防災研究室, ** 新庄支所

の積雪深の実測値と地上での実測値との比較の結果、吹きさらしになっている建物上では、背が高い建物ほど積雪深が小さく、その比率は、例えば、地上高が約10mの陸屋根上には平年にあつては地上値の約6割、寡雪年あるいは大雪年にあつては地上値の約8割が積もるという結果を得た(中村他:1984)。この事は、建物屋上の積雪深の違いは暖房余熱による融雪の効果もさる事ながら、日降雪深の風による影響を意味している。屋根上での積雪深の測定値から降雪深を推定し、それと風速との関係を見出そうとする試みもなされたが(阿部:未発表)、本報告では屋根上で実測した日降雪深と風速との関係を調査し風速の影響を定量的に得たのでそれを報告するものである。

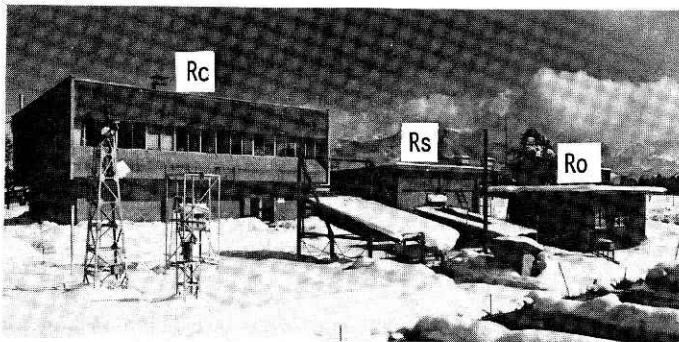


図1 降積雪の観測を行った三つの陸屋根。左から庁舎(Rc)、器材庫(Rs)、及び観測室(Ro)の各屋根。Rsの西方から撮影。

Fig. 1 Three different heights of buildings where daily new snow depths and snow depths on roofs were measured.

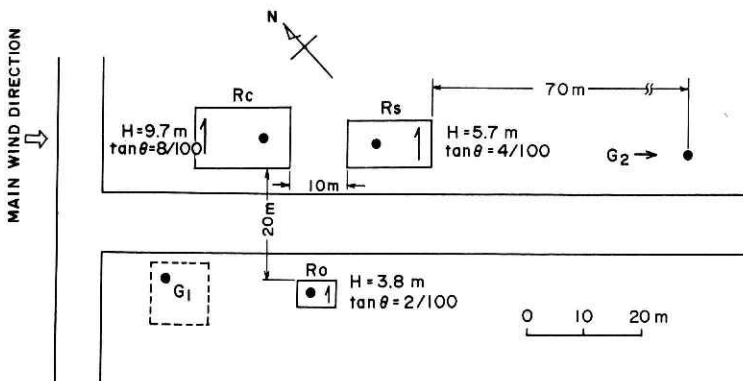


図2 庁舎(Rc)、器材庫(Rs)、観測室(Ro)及び地上観測点の配置図(●印は雪尺及び雪板の設置点)。

Fig. 2 Locations of the three buildings, Rc (central building, $\tan\theta$ of the roof is 8/100), Rs (store house, $\tan\theta$: 4/100), Ro (observational house, $\tan\theta$: 2/100) and of the ground snow measurement points (G_1 , G_2). Distances between these two buildings are: 20m between Rc and Ro, 10m between Rc and Rs, and 20m between Ro and Rs.

1. 観測場所及び方法

屋根上の降積雪観測を行った建物は、当支所構内の庁舎 (R_C)、器材庫 (R_S) 及び観測室 (R_O) である (図1, 2参照)。図2にそれぞれの相対位置、屋根の地上高、勾配及び下り勾配方向を示した。同図からわかるように、器材庫は冬の季節風下での庁舎の風下側に位置している。地上での降積雪観測地点は、1982年4月までは同図G₁の所であり、1982年11月からは器材庫 (R_S) の南東端から、矢印G₂の方向に約70m離れた所である。

それぞれの屋根上には、雪尺及び雪板を設置した (図2に設置箇所を・印で示してある)。これを用いて、休日以外の毎朝の積雪深と昨朝から今朝までの1日間の日降雪深を読み取った。これらの観測を行った時刻は、ほとんどが8時半から9時の間にあった。なお、地上での降積雪深の観測は、冬期間休みなく定刻の9時に行われた (阿部他：私信)。

2. 観測結果

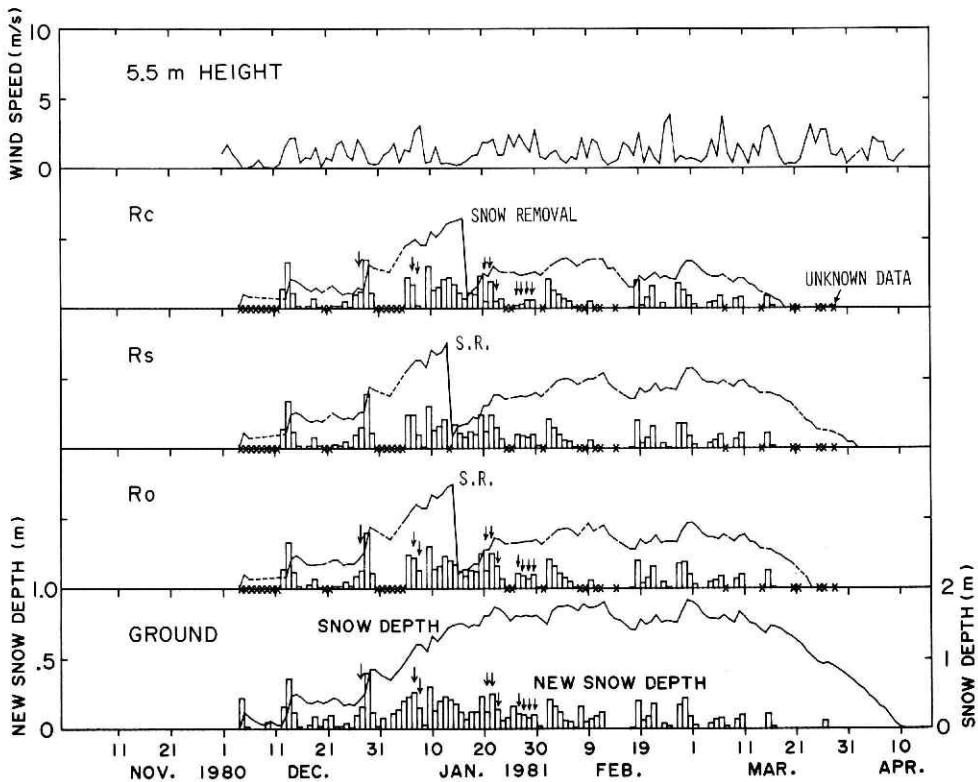


図3 日平均風速及び各屋根上と地上の降積雪深の日変化 (1980年—1981年冬期)。
 Fig. 3 Variations of daily new snow depths and snow depths on three roofs, R_C, R_S and R_O and on the ground as well as daily wind speed variation in winter of 1980 to 1981.

2.1 屋根上及び地上での降積雪深

1980年から1983年までの3冬期の各屋根上及び地上での日降雪深と積雪深の日変化を図3～5に示した。また、これらの図の最上段には、日平均風速も併せて示してある。これらの図から、大きな日降雪深が出現するのは、風速の大きい日や小さい日と様々ではあるが、風速が大きいときには、吹きさらしになっている屋根 (R_c , R_o) では、地上の日降雪深に比べて屋根上の日降雪深が小さくなっている例が多いことがわかる(例えば、図3の矢印を付けた所。矢印は1980～81年の冬期にしか付けていないが、他の年にも同じ傾向が見られる)。ただし、器材庫屋根上 (R_s) では風速の大小にかかわらず、地上の日降雪深とほぼ同じように見受けられる。

なお、1981年1月の積雪深のグラフ中(図3)の急激な下降直線は、そこで屋根雪下ろし(Snow Removal, S. R.と略記)がなされたことを示す。建物の倒壊があやぶまれたので止むを得ず雪おろしをしたのである。

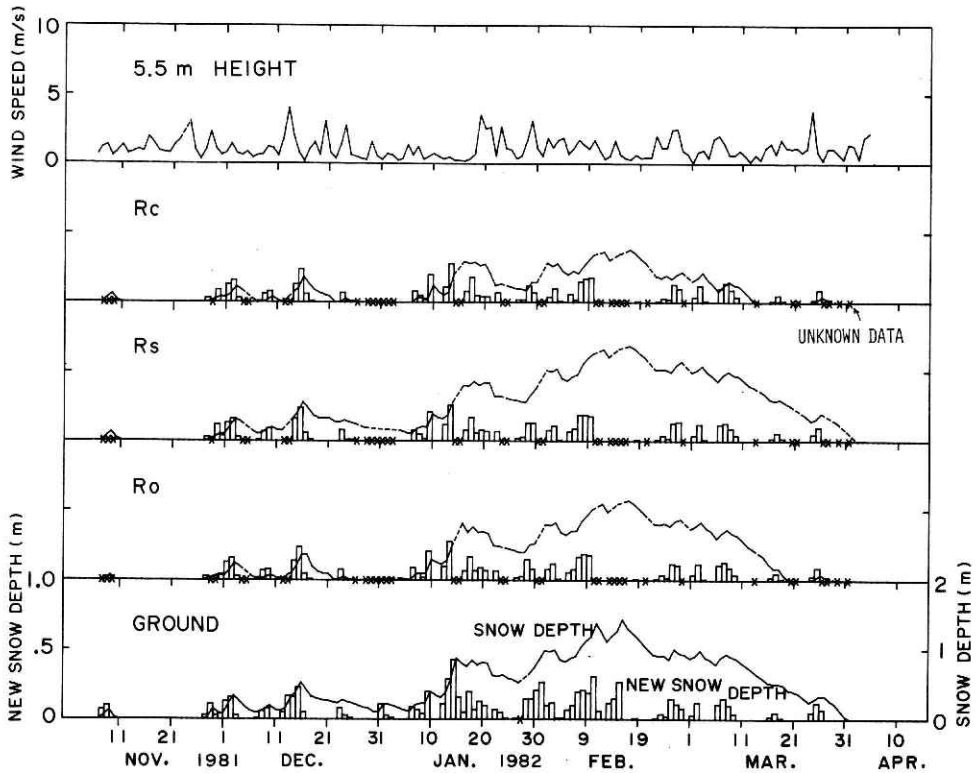


図4 日平均風速及び各屋根上と地上の降積雪深の日変化(1981年—1982年冬期)。

Fig. 4 Variations of daily new snow depths and snow depths on three roofs R_c , R_s and R_o and on the ground as well as daily wind speed variation in winter of 1981 to 1982.

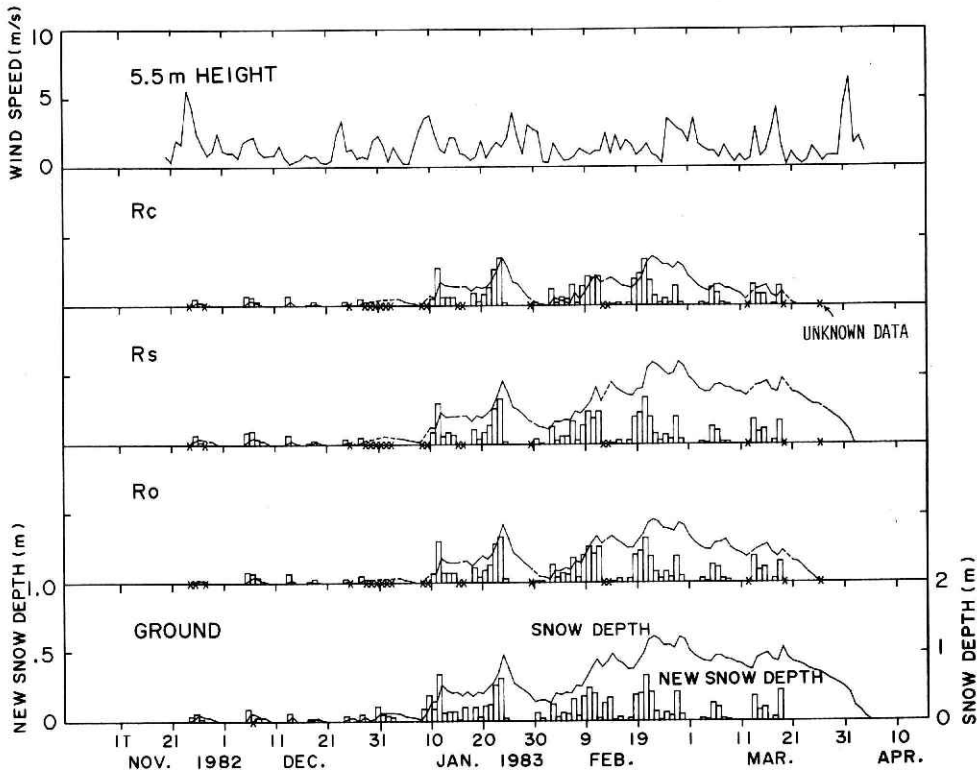


図5 日平均風速及び各屋根上と地上の降積雪深の日変化(1982年—1983年冬期)。

Fig. 5 Variations of daily new snow depths and snow depths on three roofs R_c , R_s and R_o and on the ground as well as daily wind speed variation in winter of 1982 to 1983.

2.2 地上での日降雪深と屋根上での日降雪深との関係

図6～8は、地上で測定した日降雪深と各屋根上で測定した日降雪深を対比して示したものである。これらの図で、吹きさらしになっている庁舎及び観測室では、地上より屋根上の日降雪深がより少なく、特に地上高の高い庁舎では、この傾向が強く現われている。これは、風による屋根上の降雪の飛散効果によるものであろう。しかし、庁舎の風下側において、しかも庁舎よりも地上高の低い器材庫では、この傾向は前二者ほど強くはない。このような風下側の屋根では、いわゆる“吹き溜り”現象が起これ、その結果地上に近い日降雪深になったものと思われる。

3. 地上の日降雪深に対する屋根上の日降雪深の比と風速との関係

図9は、屋根上での日降雪深の風速による影響をより詳細に調べる目的で作った図である。

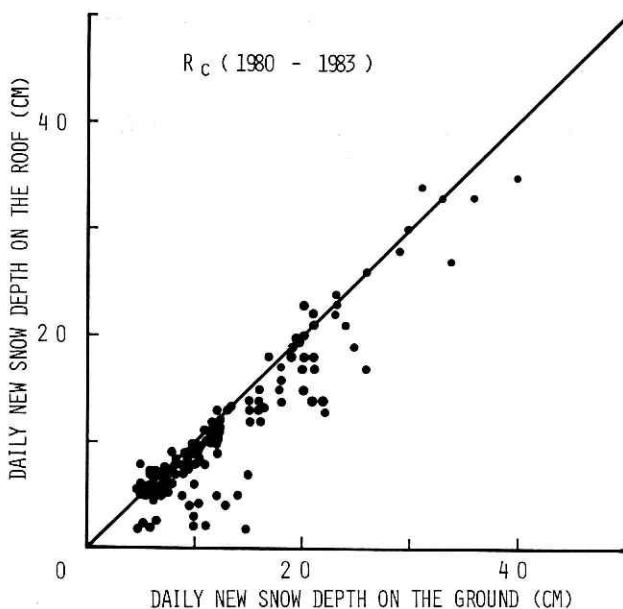


図6 地上の日降雪深と庁舎屋根上 (R_c) の日降雪深との関係.

Fig. 6 Comparison of daily new snow depth on the roof of the central building (R_c) with daily new snow depth on the ground.

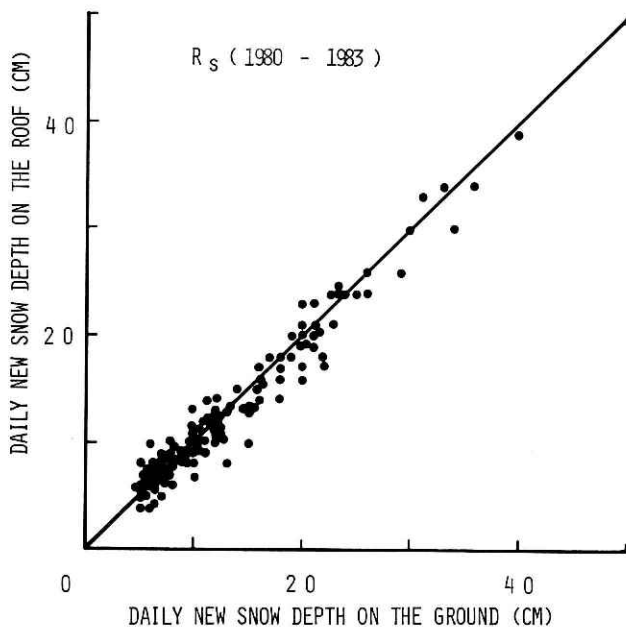


図7 地上の日降雪深と器材庫屋根上 (R_s) の日降雪深との関係.

Fig. 7 Comparison of daily new snow depth on the roof of the store house (R_s) with daily new snow depth on the ground.

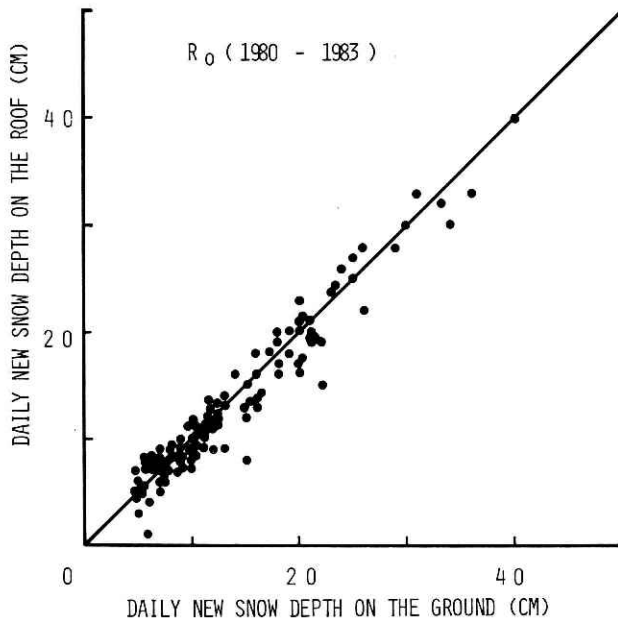


図8 地上の日降雪深と観測室屋根上(R_0)の日降雪深との関係.
 Fig. 8 Comparison of daily new snow depth on the roof of the observational house (R_0) with daily new snow depth on the ground.

すなわち、地上での日降雪深に対して屋根上での日降雪深が風速と共にどう変わっているかを示した図である。図では、測定日の日平均気温が 0°C 以上の場合と、氷点下の場合とに区別してプロットしてある。これらのデータは庁舎と観測室屋上で得られた値のみを用いている。器材庫屋上での値には、“吹き溜り”の効果も入っていると思われたので、これは除外してある。また、地上の日降雪深が5 cm未満のものについても除外した。これは、日降雪深が小さいと、測定時の読み取り誤差が大きく作用するので、それを避けるためにとった処置である。

風速は、庁舎または観測室屋上の地上高での値に換算したものであるが、この値の算出にはWILLIAMS (1975) による次式を用いている。

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1/7} \quad (1)$$

ここで、 V_2 、 V_1 は、それぞれ地上高 h_2 、 h_1 の平地における風速である。風速の実測値としては、当支所での地上高5.5 mでの測定値を用いている。

これらのプロットを全体的にみると、かなりのばらつきはあるものの、風速の影響が表われていることがわかる。すなわち、ある建物のその高さでの風速が 6.5 m/s 以上では、その

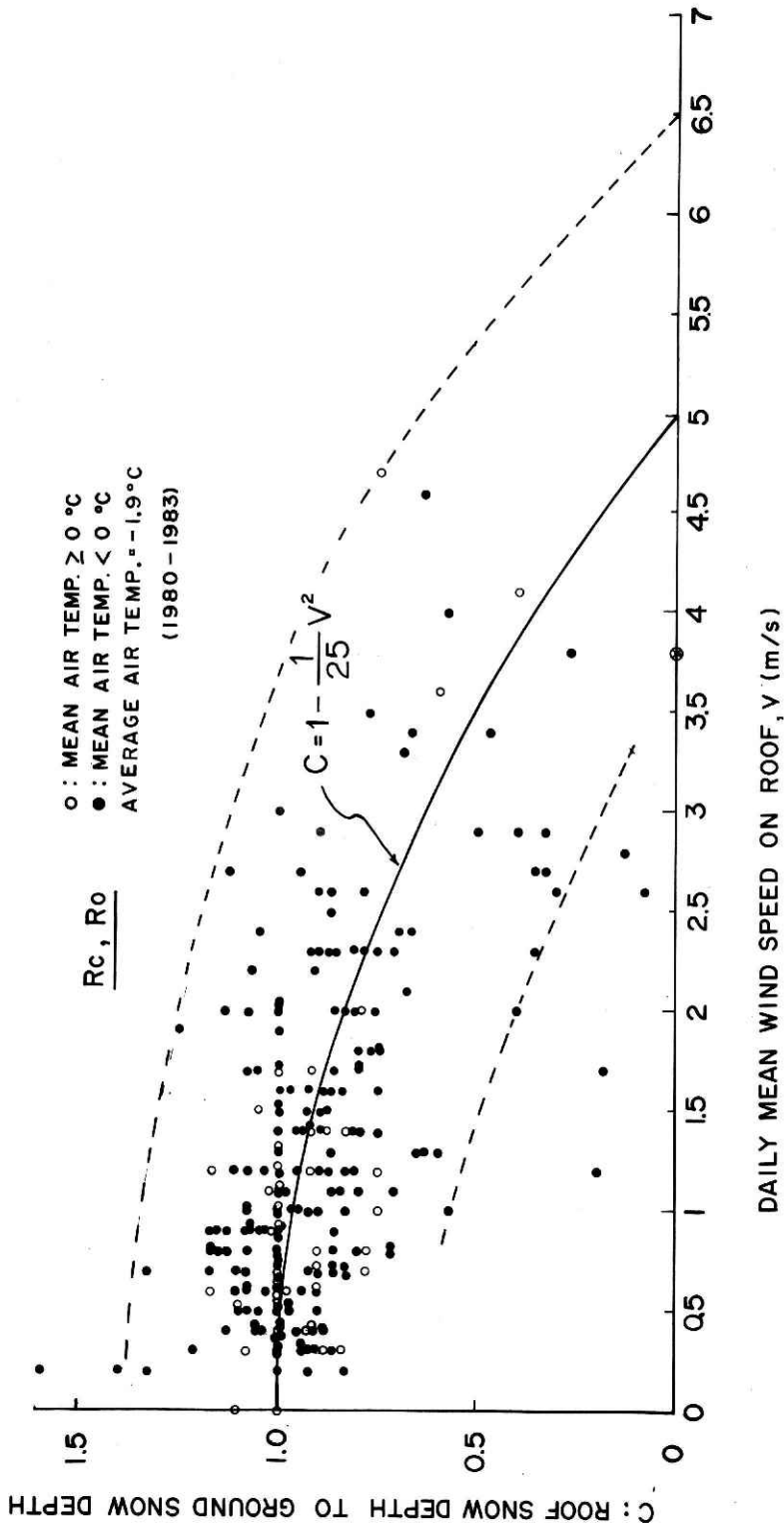


図9 地上の日降雪深に対する屋根上の日降雪深の比（風力係数C）と風速（V）との関係。

Fig. 9 Variation of the wind factor, C against daily mean wind speeds on roofs.

屋根上には雪が積もらないことを意味している。このように、測定点にはばらつきはあるが、明らかに風速との相関があるので、地上の降雪深に対する各屋根上での降雪深の比を風力係数、 C と名づけ、これの風速との関係を求めたところ、それは、次式で表わされた。

$$C = \frac{H_R}{H_G} = 1 - \frac{1}{25} V^2 \quad (T_a \geq -3^\circ\text{C}). \quad (2)$$

ただし、 H_R 、 H_G はそれぞれ屋根上あるいは地上での日降雪深、 V は建物の高さにおける平均風速 (m/s)、 T_a は日平均気温である。この式は図9の全データの平均値であるから、これらのデータの平均気温 -1.9°C のときのものと考えらるべきである。そうすると、この式によれば、風速が 0m/s の時には、屋根上では地上と同じだけの雪が積もり、風速が 5m/s 以上になると屋根上には雪が積もらないということを表わしていることになる。この風速 5m/s の値を臨界風速と呼ぶことにする。しかし、気温によっては、風速の項の係数を変える必要があると思われる。この図をよく見るとわかるように、風速が 1.5m/s 以上では平均気温が 0°C 未満のものがこの曲線の下方に位置する傾向がある。なお、東浦(1977)は、送風

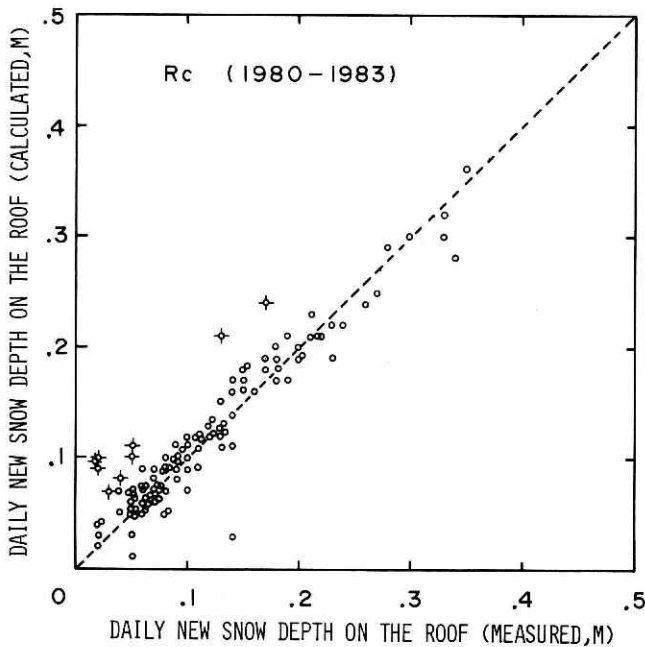


図10 庁舎屋根上での日降雪深の実測値と計算値の比較。丸印に+印をつけたものは図12の同じ印と対応している。

Fig. 10 Comparison of the calculated daily new snow depth on the roof of the central building with the measured daily new snow depth on the same roof. Plots with spikes are data measured in stronger wind speeds. More detailed explanation will be seen in Fig. 12.

機による屋根上での降雪の吹き飛ばし実験から、カラー鉄板上における臨界風速を3.8 m/sと求めている(図9の横軸上に⊗印で示した)。この値が、本報告で求めた値(5 m/s)より小さいのは、降雪の着地する表面の相違によるものと思われる。すなわち、カラー鉄板よりも積雪表面の方が、降雪粒子に対する付着力が大であるため、臨界風速が大きくなったと考えられる。

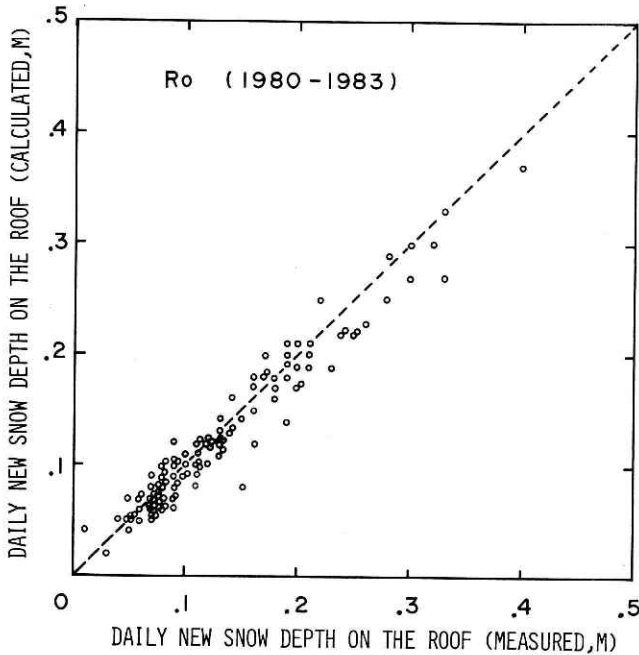


図11 観測室屋根上での日降雪深の実測値と計算値の比較。

Fig. 11 Comparison of the calculated daily new snow depth on the roof of the observational house with the measured daily new snow depth on the same roof.

ところで(2)式は、庁舎と観測室の両方の屋根から求めた実験式である。もし、この実験式が汎用性のものであれば、どの屋根にもあてはまるべきである。それで、個々の屋根ごとに、地上の日降雪深と風速とから(2)式を用いて算出した屋根上での日降雪深の計算値と、それぞれの屋根上での測定値とを比較してみたのが図10と図11である。その結果、庁舎、観測室共に計算値と実測値はほぼ合致しているので、地上高の種々異なる屋根においても、(2)式がほぼ適用できるものと思われる。(2)式は、吹きさらしになっているほぼ平らな形状の屋根上で測定されたデータに基づき導き出されたものではあるが、どの程度の勾配のそして形状の異なる屋根にまで適用されるかは将来の調査に待たねばならない。

4. 気温が風力係数Cに及ぼす効果

気温が 0°C 近傍になると、降雪粒子の表面に液状の被膜ができ付着力が増大すると信じられている。そのため、気温が 0°C 以下でも、 0°C に近づくにつれ、たとえ風速が同じであっても、降雪が屋根上に積もり易くなることが考えられる。そこで、実際に屋根上で測定した日降雪深(H_m)と地上の日降雪深及び風速から(2)式を用いて計算した屋根上の日降雪深(H_c)との差 ΔH ($H_m - H_c$)の気温依存性について調べた。図12は、 ΔH と日平均気温(T_a)との関係を庁舎及び観測室屋上それぞれの日降雪深について示したものである。この図を大まかに見れば、庁舎、観測室共に ΔH は気温にそれほど影響されていないようである。これは、地上と屋根上での気温の差はわずかなものであると思われるので、それぞれにおける降雪粒子と雪面との付着状態にほとんど差がなく、そのため、地上での日降雪深に基

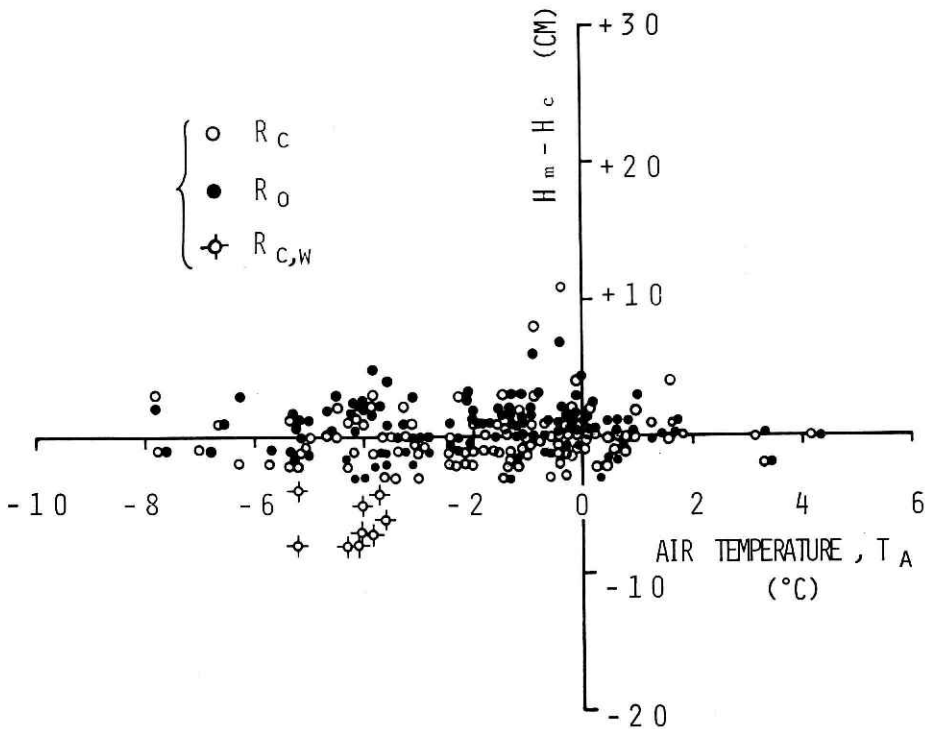


図12 庁舎(o)及び観測室(●)屋根上での日降雪深の実測値と計算値の差の気温依存性。

Fig. 12 Effect of the temperature against the daily new snow depth on roofs of the central building (R_c) and of the observational house (R_o) with weak or no wind. Plots of $R_{c,w}$ are data measured in the stronger wind condition where wind speeds of 3.4m/s were recorded. The wind speeds are the average of the max. wind speed during the previous 24 hours at the height 5.5m above the ground surface. Differences between the measured depth H_m and calculated depth H_c are plotted against air temperatures.

づいて算出した計算値と屋根上での実測値とがうまく適合したのではないかとと思われる。

しかし、図12の T_a が -3°C 以下の領域には、庁舎の点 (○印) の H のみがマイナス側 (図の下方) に大きく片寄った一群 (9点, 図の縦軸の値が -4 cm 以下) がみられる。これらには、特に丸印に十文字の印を付けて表わしてある。同じデータは図10にもプロットされていて、これらの9点はやはり45度の軸からずれている。これらの点の日平均風速を調べてみると、 $0.9 \sim 2.6\text{ m/s}$ と比較的大きな値を示していた (地上高 5.5 m での風程計による測定値)。このように、(2)式は低温でかつ風速が大となると一見実測値に合わなくなるようである。観測室屋上ではこのような片寄りは見られない。

以上の原因としては、このような気象条件では地吹雪が発生する領域内となり、これが庁

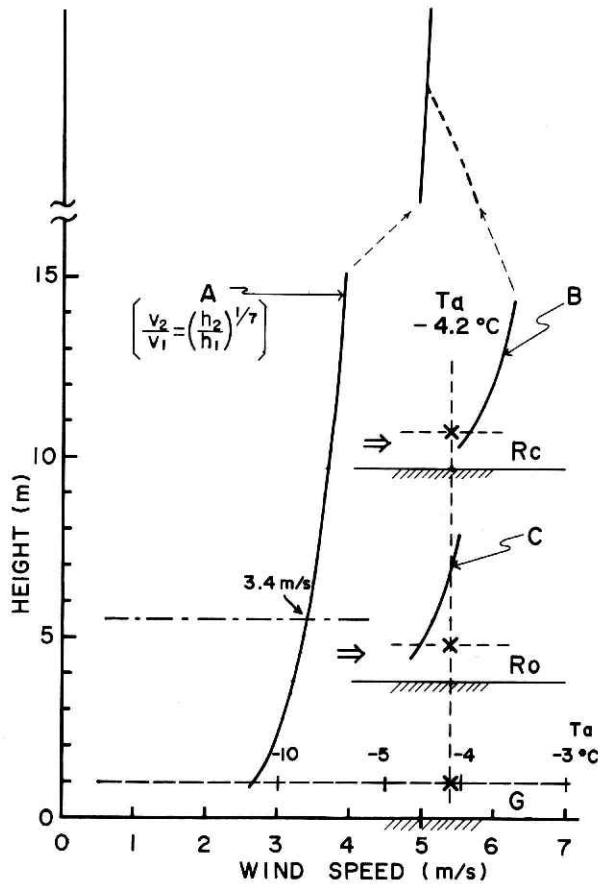


図13 平地上での風速の高度分布と建物による気流の収束効果を考えたときの建物上での風速。

Fig. 13 Calculated (A) and estimated (B and C) wind speed profiles on the flat ground surface and on buildings (R_c and R_s), respectively.

倉屋上でのみ起こったのではないかと思われる。地吹雪の研究(佐藤:1962)によれば、地吹雪が発生するときの限界風速は、そのときの気温によって変化し、 -3°C で約 7m/s (地上高 1m での風速)、 -4°C では約 5.5m/s と気温が低くなるにつれ、限界風速は小さくなる。この関係を図13の下方に示した。上述の9点全部の平均気温は -4.2°C であったから、図13の下方の関係を使えば、このときの限界風速は約 5.4m/s と求まり、地吹雪が発生するには、これ以上の風速が必要となることになる。しかし、これらの点の日平均風速は $0.9\sim 2.6\text{m/s}$ であり、これでは地吹雪は発生し得ない。だが、これらの最大風速をみると、平均で 3.4m/s であるから、一時的にはかなり強い風が吹いていたことがわかる。しかもこの値は地上高 5.5m の所での値なので、これをWILLIAMS(1975)の式により屋根上、すなわち高さ 10m のところで風速に換算すると 3.7m/s となる。さらに、実際の屋根上では、気流が収束するから、これ以上の強い風が吹いていたことが考えられる。図13は以上のことからをまとめて描いたものである。すなわち、地上高 5.5m における風速 3.4m/s (当支所での実測値)の風が、庁舎屋上の高さでは 3.7m/s 程になり(風速分布、A)、さらに気流の収束効果により風速が大となる。もし、庁舎(Rc)屋上で -4.2°C のときの地吹雪発生のための限界風速を越えていたとすれば、その風速分布はBのようになっていたであろう。他方、観測室(Ro)屋上でも気流は収束するが、建物が庁舎より低いので、その効果は庁舎よりも少ないものと考えられるから、限界風速には達していないものと想定すると風速分布はCようになる(地上ではもちろん限界風速以下である)。このように考えると、庁舎屋上でのみ一時的に“地吹雪”現象が発生していたため、降雪深の実測値が計算値よりも小さくなったのであろう。すなわち、気温が低い場合には、地吹雪の効果が働くので、方程式(2)は実測値よりも小さい方にずれることになり、使用に際しては注意を要する。方程式(2)中に平均気温が -3°C 以上という条件をつけたのはこの地吹雪発生の影響を考慮したためである。将来、屋根上への降雪の積もり方を表現する式に気温の要因が入った方程式の導出が望まれる。

上の議論は、建物の影響による気流の収束による風速の増加、換言すれば、より大きい風速分布を仮定したが、定量的なことは不明であった。今後、屋根上の実風速がどのようになっているかを調査することが必要であろう。

5. 結論と考察

1980年から1983年まで当新庄支所構内の三種の陸屋根上で、降雪深の測定をほぼ毎日行い、これらの値と地上での値とを比較したところ次の事が判明した。すなわち、地上高約 10m で風上側に位置している庁舎屋上にあつては、地上での降雪深と同じ時もあるが、大半は地上での値よりも小さかった。地上高約 4m の独立建物(観測室)については、屋上の降雪深は地上のそれよりもやや小さいか、時には地上の値を上まわる。しかし、この小ささ

の程度は地上高10mの建物ほどではなかった。地上高10mの建物の風下側にある建物（器材庫）は、上記の二つの建物の中間位の程度であった。すなわち地上と同じ降雪深か、それよりもやや少ないか、時には地上での値よりも大である。

これらの高さの異なる建物上への雪の積もり方の違いは、風速の影響であろうと考えて、降雪深の地上での値に対する屋根上での値の比を風速の関数として表示したところ、測定点にかなりのばらつきはあるものの、風速が大きくなると、屋根上での降雪深は少なくなり、風速が約6.5 m/sとなると雪は屋根上に積もらないということが判明した。これらのデータを基に、降雪深の風速依存性を表わす風力係数Cを定義し、この係数を表わす式を求めたところ、次式で表現できた。すなわち、

$$C = 1 - \frac{1}{2.5} V^2 \quad (T_a \cong -3^\circ\text{C}). \quad (3)$$

ただし、Cは無次元量、Vは屋根上の高さでの風速 (m/s)、 T_a は平均気温である。

しかし、気温が低くなってくると、この式を使って求めた計算値は実測値よりも大きくなることがわかったが、これは雪温の影響と考えられる。すなわち、地吹雪発生時の気温は -3°C 以下といわれているが気温の低下に伴い雪温もそれに応じて低くなるから、たとえ同じ風速であっても、屋根上から風により飛散させられる量が多くなるため、その分だけ実測値が小さくなるのであろう。すなわち、地吹雪現象のため雪が飛散されると考えられる。地吹雪現象を考える時には、気温すなわち雪温を考えねばいけないので、将来気温のファクターを入れた計算式の導出が望まれる。

屋根上における風速を求める際に、地上高5.5 mの平地での風速をWILLIAMS(1975)の方程式に代入して導出した。しかし、前にもいささか触れたように、この式は平地上での高さによる風速の違いを表わすものであるから、上の議論には建物の形や高さによる屋上での気流の収束による風速の増加分については考察されていないことになる。それゆえ、屋根上に雪が積もるかどうかの臨界風速として平均気温 -1.9°C で5 m/sという値を得てはいるが、実際にはもう少し大きい風速であると考えるべきであろう。

中村他(1984)は、庁舎屋上での積雪深は決して地上での積雪深を越えることはなかったと報告しているが、日降雪深の場合には地上での値と同じときがある。屋根上での積雪深が常に地上での値よりも小さいことは、融雪の効果によるものと思われる。建物屋上での融雪量の詳細については次報にゆずるが、初年度の積雪の断面観測結果から求めた暖房余熱による融雪量は、庁舎にあっては $2.4 \ell \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 、観測室にあっては $1.2 \ell \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ である(中村・阿部:1978)。札幌地方のビルディング上での積雪量の少ないことについては、遠藤(1978)も観測しており、その理由として、我々同様、屋上では降雪量が少ないこと及び暖房余熱による融雪の効果があるためであろうと述べている。

上述の風力係数を用いて計算した結果、高さの異なる屋根上における計算値が実測値とう

まく適合したので、今後この式から屋根上の日降雪深を推定できよう。そうすれば、これと地上での降雪の密度とから、屋根雪荷重を推定することができるから、屋根上での降積雪観測を直接行わなくても、雪荷重を推定できようから、雪おろしの時期の判断や他の防雪計画に役立つものと思われる。しかし、当地方よりも寒冷で風が強い地方においては、屋根上の降雪深がこの式で求められた計算値よりもさらに小さくなることが考えられるので、より一層の調査が望まれるところである。

謝辞

この研究を推進するにあたり、蔭ながらご協力して下された中村秀臣研究室長ならびに観測の補助をされた鈴木克彦、大津政良両君に深く感謝するものである。また、英文を通読された T. E. ラング教授に御礼を述べる。

参 考 文 献

- 1) 阿部 修・東浦将夫・沼野夏生・中村秀臣・中村 勉(私信)：新庄における平地積雪観測。防災科学技術研究資料に印刷予定。
- 2) 遠藤明久(1978)：中高層建築物ろく屋根上の積雪性状。北海道工業大学研究紀要，第6号，303-315。
- 3) 東浦将夫(1977)：屋根雪処理の研究(その8) — 送風式除雪の可能性について(2) — 。昭和52年度日本雪氷学会講演予稿集(223番)。
- 4) 中村 勉・阿部 修(1978)：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，第19号，219-228。
- 5) 中村 勉・阿部 修・中村秀臣・東浦将夫・沼野夏生(1984)：三種の陸屋根上での積雪深と地上積雪深との比較。国立防災科学技術センター研究報告，第32号，55-72。
- 6) 佐藤正一(1962)：吹雪時の線路警戒の限界について。雪氷，vol. 24, No. 2, 21-26。
- 7) WILLIAMS, G. P. (1975)：Surface heat losses from heated pavements during snow melting tests. Technical Paper No. 427, Division of Building Research, NRC, Canada, 1-35。

(1983年11月21日 原稿受理)