

滑落する屋根雪の壁面に及ぼす衝撃力. その1

中村秀臣*・阿部 修*・中村 勉

国立防災科学技術センター新庄支所

Impact Forces of Snow Blocks Sliding down from Roof against Walls. I

By

Hideomi Nakamura, Osamu Abe and Tsutomu Nakamura

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

Abstract

Impact forces of snow blocks sliding down from roof against walls were measured in order to plan guard walls to prevent accidents on a person or things by snow blocks fallen from roofs.

Measurements of the forces were carried out by means of both three experimental roofs 2 by 7m in size and three walls with several pressure plates.

Inclinations of the roof are able to be fixed at any angle between 0° and 35° by an electromotive hoist. The locations of the three walls, W_A , W_B and W_C , for the force measurements were chosen at the points 0.9, 1.8 and 2.7m respectively apart from the eaves in order to obtain the relationship between the condition of snow blocks at collision onto the wall and the magnitude of the impact force. The experiment was carried out on February 29, 1980 using the snow cover, about 40 cm in thickness, which had accumulated naturally on the roofs. Inclinations of the roofs R_A , R_B and R_C , in this experiment, were 11.2° , 11.2° and 16.7° , respectively.

From the result, it was found that the values of the maximum impact force per unit area which acted upon the pressure plates of the walls W_A , W_B and W_C were 747, 1380 and 1953 kgwt m^{-2} , respectively.

The impact forces of the individual snow block was also examined by using both the measured force and motion pictures taken at the experiment, and the following facts were obtained.

The maximum and the mean values of the impact force of the individual snow block varied from 100 to 900 kgwt and from 50 to 300kgwt, respectively, depending on the angle and velocity at the collision and the size and weight of each snow block.

The mean value of the impact force of the individual snow block was smaller than the value calculated after the equation for estimating the avalanche impact forces.

* 雪害防災研究室

1. はじめに

雪止めのない急勾配の屋根では、屋根上の雪は自然に滑落し、屋根から飛び出して地上に積る。このような屋根は、人力によらないで雪おろしができるという利点がある一方、屋根上の雪塊が、いつ滑落するかが不明のため、本来、雪が滑落しても危険のない箇所にしか用いられないという限定性をもつ。この限定性を無視してこのような屋根を造ると、それ相応の被害が生じることが予想され、事実、落下した雪塊のために構築物が破壊されたり(宮内, 1977), 人命が損われたりする例が数多く報道されている。

このような被害を、周囲に対して及ぼさないで、かつ、自然滑落によって屋根雪をおろしたい場合には、雪塊が周囲へ飛び出すのを防止するための防護壁を設ける必要がある。これを設計するためには、滑落する雪塊が及ぼす衝撃力の大きさを知らなければならない。しかしながら、運動している雪塊が及ぼす衝撃力については、なだれに関するものがいくつか報告されているものの(古川, 1957, 清水他, 1974など), 雪塊の運動形態等が、なだれとは異なる屋根雪の滑落についての報告は極めて少ない。最近、橋本他は、屋根雪の崩落に関する実験として、直上から雪塊を落下させ、下方においた角パイプのたわみ量から衝撃力を推定したが(橋本他, 1979), 衝撃力そのものを直接測定した例は見当たらない。そこで、当新庄支所では、屋根から滑落する雪塊の運動と、衝撃力との関係を明らかにすべく、1979年度から実規模大の模型屋根を使用しての実験を開始した。この研究は、今後数年間継続する予定であるが、その第一報として本稿をここに報告する。

2. 実験装置

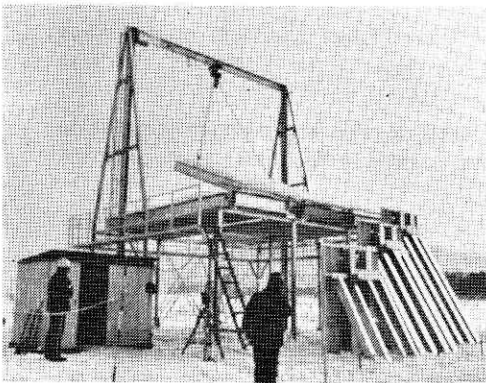


写真 1 実験風景
Photo. 1 General view of the experimental facilities.

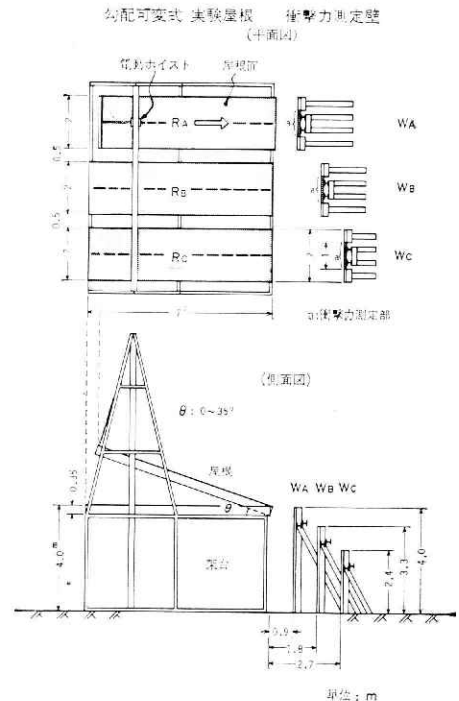


図 1 不均配可変式実験屋根及び衝撃力測定壁の配置図
Fig. 1 Plan and side view of experimental roofs and walls to measure the impact forces of snow blocks fallen from the roofs.

2.1 勾配可変式屋根

屋根雪を滑落させる装置として, 図1および写真1に示すように3面の屋根と, これらを傾斜させるための電動ホイストを組み合わせた勾配可変式の実験用屋根を作製した. それぞれの屋根は, 地上高3.65mの架台(鉄骨製, 100×100×6×8mmのH型鋼使用)の上に乗せた, 高さ0.35m, 幅2.0m, 長さ7.0mの箱の上面を, 長尺鉄板で平葺きにしたものである(写真2参照). この箱は, 四周が4×50×350mmのみぞ型鋼で出来ており, 更に箱を縦に二分するように, 棟から庇(ひさし)まで, 同じみぞ型鋼が補強材として使用されている. 箱の上面と下面は, 12mmの型わく合板(ベニヤ材)で出来ている. 箱の中, つまり屋根裏に相当する部分には, 底に厚さ25mmのグラスウールを敷きつめ, 底から50mm上方には定格100V, 500Wの電気ヒーター一線40mを蛇行して取り付け, 箱内の気温が調節できるようになっている. つまり屋根1面あたりの総発熱量は500Wである. また, 庇の部分には, 以前, 筆者の一人が考案した着脱式の雪止め(中村, 1975)の一部が改良されたものが取付けられている. 写真3及び図2に示すように, 雪止めはコの字型をしたもので, 根元のところにある回転軸(ピン)の回りに自由に半回転できる. この雪止めで雪を止めておくときには, 雪止めの腕の部分に取付けた舌状の鉄板をピンを介して屋根に固定する. この雪止め用の固定ピンには台型ねじ山が切ってある. それ故, このピンに取付けたハンドルを回転させることにより, このピンは抜き差しできる. このような仕組みによって, 雪止めは容易に着脱することが可能となる.

屋根は, 3面とも水平面から, 最大35度まで傾斜させることが可能であるが, 電動ホイストが1台であるため, 一度に傾斜させ得るのは1面だけである. なお電動ホイストが吊下げられている梁には, 300×150×8×13mmのH型鋼が,

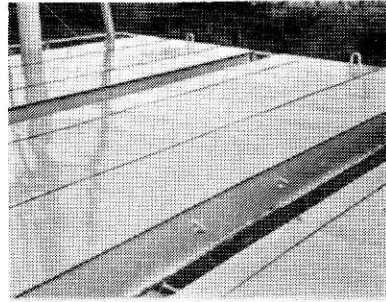


写真2 屋根の表面(庇から棟の方向を見る)

Photo. 2 Surface of the roofs.



写真3 着脱式の雪止め

Photo. 3 Snow guards which can be unfastened easily by hand.

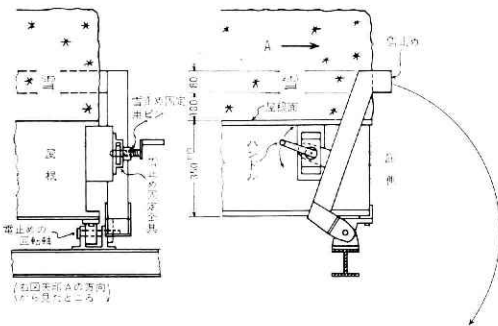


図2 着脱式雪止め

Fig. 2 Snow guard which can be unfastened easily by hand.

またこの梁を支える両側の太い柱には、 $200 \times 200 \times 8 \times 12\text{mm}$ のH型鋼が使用されている。

2.2 衝撃力測定壁

屋根から飛び出す雪塊の、衝撃力を測定するための壁を、それぞれの屋根に対応させて、合計3基作製した。これらの壁は、雪塊の衝突位置と、その時の衝撃力との関係を調べるために、図1および写真4に示すように、庇から0.9, 1.8および2.7m離して設置した。この3基の壁を順に W_A , W_B , および W_C と呼ぶことにする。

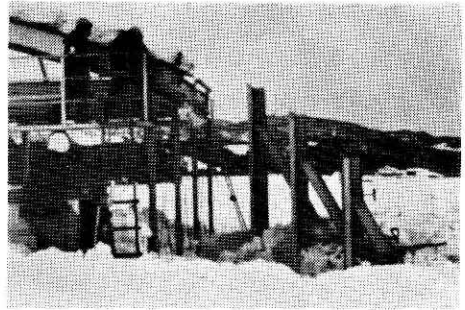


写真4 屋根と3基の測定壁の配列（後述の映画撮影地点からの眺望）

Photo. 4 Side view of walls to measure the impact force.

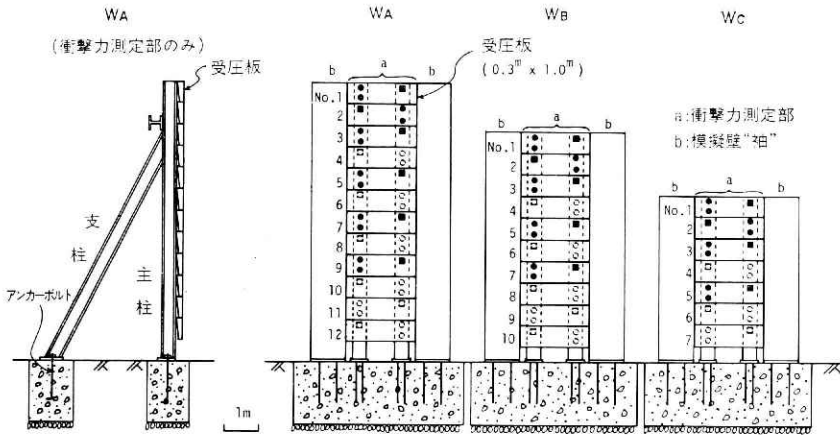


図3 衝撃力測定壁 ○, □: ロードセル取付け可能箇所 (○水平成分測定用, □鉛直成分測定用) 黒塗りはロードセルを実際に取付けた箇所

Fig. 3 Front and side views of walls to measure the impact forces. Pressure plates are arranged at the place shown by the symbol a.

これらは図3に示すように、受圧板を縦に並べた中央の部分(a)と、その両側の“袖”(b)の、互いに独立した三つの部分(共に同一平面をなす)からなり、それぞれはアンカーボルト ($16\text{mm}\phi \times 600\text{mm}$ 長)で、基礎コンクリートに取り付けられている。この中央部のみで、衝撃力を測定するわけである。その理由は、衝突する雪塊の両側端部付近では、その内側の部分と破壊の様子が異なると思われ、これを避けた方が良いと考えたからである。

中央の衝撃力測定部は、図4及び写真5に示すように、 $200 \times 200 \times 6 \times 8\text{mm}$ のH型鋼製の支柱、ならびに支柱に取り付けたロードセルおよび受圧板で構成される。受圧板には $4.5 \times 50 \times 300\text{mm}$ のみぞ型鋼 (4.5mm厚) が使用されており、力を受ける面の寸法は $300 \times 1000\text{mm}$ ($=0.3\text{m}^2$) である。

各受圧板は、水平方向の力に対しては、2個のロードセルと2個の水平なロッドの計4点で

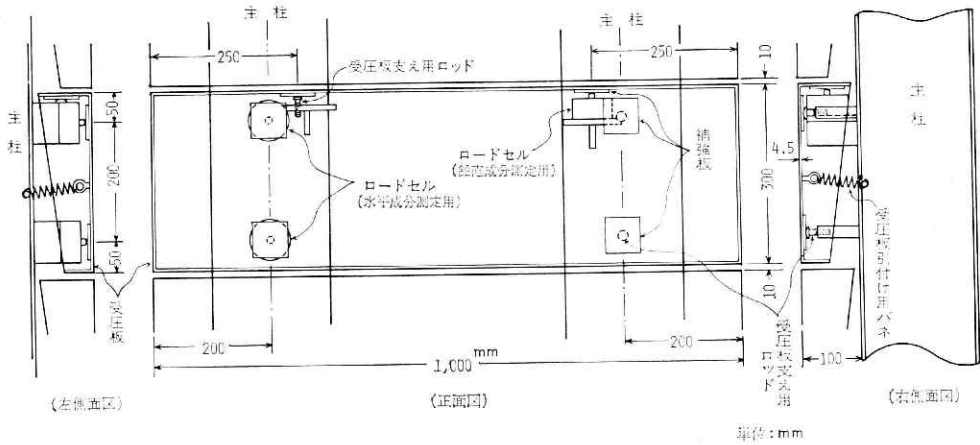


図4 衝撃力測定部(透視図)

Fig. 4 Structure of the pressure plates and locations of load cells.

支えられ、鉛直方向の力に対しては、1個のロードセルと1個のロッド(計2点)で支えられており、雪の衝突時のはずみで外れることのないように、バネで軽く支柱側に引付けられている。このとき、四つの支点(ロードセル2個、ロッド2個)が受圧板の鉛直面と均等に接している必要があるため、各ロッドは高さが10mm程度調節できるようになっている。ロードセルやロッドの先端が受圧板に接する部分には、受圧板側に、厚さ6mmの鉄製の補強板を貼付けた。なお、各受圧板には、図3に示したように番号を付けた。

使用したロードセルは、共和電業製のLC-200KF(水平成分用)及びLC-100KF(鉛直成分用)である。ただし、ロードセルは全ての受圧板に備わっているわけではなく、図3に黒塗りで示した部分のみに取り付けてある。ロードセルのない受圧板には、ロードセルのかわりに、これと同じ高さのロッドを取り付け、すべての受圧板の受圧面が同一平面をなすように調整した。

袖は9×90×250mmのみぞ型鋼を2枚縦に並

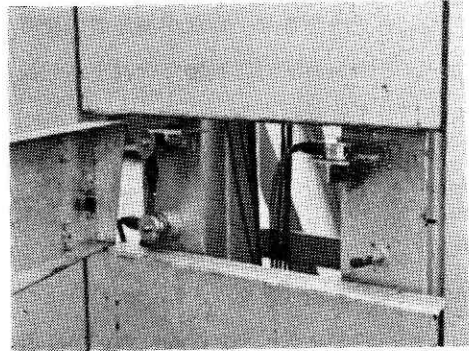


写真5 支柱に取り付けたロードセル。左側の2個が水平成分測定用、右上方のものが鉛直成分測定用

Photo. 5 Load cells attached to main pillars. Two load cells at the left-hand side are for the measurement of horizontal forces, and the right, for vertical forces.

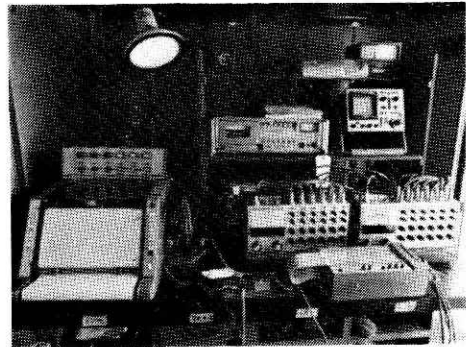


写真6 動歪測定器および記録装置

Photo. 6 Apparatuses to amplify and record the electric signals of strain from load cells.

べたもので、これを200×100×5.5×8mmの支柱（H型鋼製）で支えてある。

2.3 記録部及び解析装置

ロードセルからの信号は、動歪測定器(共和電業製DPM-6E)を通して、データレコーダ(ティアック製R-81)に記録する(写真6参照)。記録された信号は、アナログの波形信号であるから、波形解析装置(岩通製SM-1300)によって数値化した。その時のA/D変換精度は7bit(0.8%)であり、サンプリング間隔は5msとした。

一方、雪塊の運動状況は、16mm映画撮影機を用いて記録した。撮影速度は1秒間に50駒である。

3. 実験方法

まず屋根面を水平に保ち、この上に降雪が自然に積るのを待つ。適量積ったら、その深さ、密度、硬度及び雪質を調べたのち、屋根を既定の勾配まで傾斜させる。そして、雪止めを外し雪を滑落させ、雪塊が測定壁に衝突する際の、衝撃力と雪塊の運動状況を、データレコーダと16mm映画撮影機でそれぞれ記録する。更に、壁に衝突した雪塊が、落下して出来た堆雪の密度分布も測定する。

ところで、雪止めを外しても、必ずしも雪が直ちに滑落を開始するとは限らず、実験遂行上実に具合が悪い。そこで、雪止めを外すと、すぐに雪が落下し始めるかどうか、予め確認するために、次のような所作を行なった。すなわち、屋根を傾ける前に、底部分の積雪の先端を少し除去し、雪止めとの間にわずかに隙間を作っておく。そうすれば、屋根を傾けた時の雪の動き具合から、雪止めを外した時に直ちに滑落を開始するか否かの判定が、予めできて好都合である。また、雪塊の側面には、スプレーで1m間隔に日印を付けたが、これは後で、画像から雪塊の運動を解析するのに非常に有効であった。この雪塊の運動の解析には、フィルム編集用のビューラーを用いた。すなわち、そのスクリーン上に写った雪塊の画像を、半透明のビニールシートに写し取り、それを用いて解析した(図5参照)。

4. 実験期日

1980年2月29日(これ以外にも実験は行なったが、この報告書にはこの日だけのものを述べ

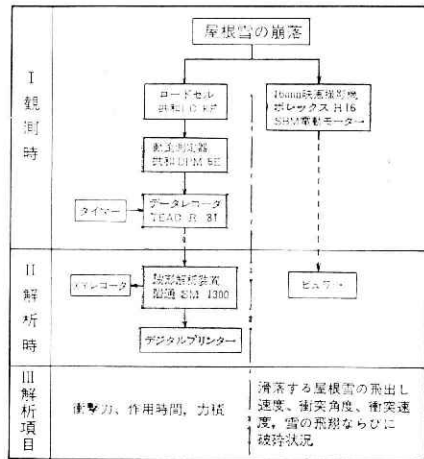


図5 計測のブロックダイアグラム
Fig. 5 Block diagram for the measurements and the analyses of the impact forces of snow blocks fallen from roofs.

る).

5. 実験結果および考察

実験に使用した屋根雪の断面観測の結果は、図6に示すとおりである。雪は全層ぬれており、雪質としては、ほとんどがざらめ雪で、硬度からもわかるように、比較的壊れやすい雪であった。なお、屋根 R_A での雪に関する測定値が示されていないが、これは、 R_A と R_B を水平にしておいた時期が全く同じで、したがって、 R_A 上の雪は R_B 上の雪と同じと考えて差しつかえないと判断し、測定を省略したからである。

屋根の傾斜は、 R_A , R_B については 11.2 度 ($2/10$ 勾配) に、 R_C は 16.7 度 ($3/10$ 勾配) に設定して実験を行なった。 R_C のみ勾配を少しきつくしたのは、 R_A , R_B での実験中に観察された雪塊の飛翔状況から、同じ勾配では、雪塊は壁 W_C まで到達しないのではないかと思われたからである。

それぞれの屋根から、雪塊が飛び出す時の速度を図7に示す。この図の中で、横軸は滑落する前にその雪塊が位置していた場所を示し、庇から棟に向う距離で

表示したものである。また、縦軸は、水平から屋根の傾斜角 θ だけ下を向いた方向の速度である (図9参照)。これによると、積雪条件や屋根の勾配が等しいと、滑落状況もほとんど同じになっていることがわかる。この点は、今後実験を行なう上で大切なことである。

また、壁に衝突した雪塊が、壁の下方に形造る堆雪の形状と、密度分布とを図8に示す。この図から、それぞれの壁際での堆雪の密度を比較してみると、 W_A の場合が一番大きく、 W_C の場合が一番小さい。 W_A で密度が大きい理由は、雪塊が落下する以前に、すでに壁際にあった積雪形状が、小さなポケット状になっていたため、落下した雪塊の運動範囲がその分だけ拘束され、“つめ込まれた”形になったためと考えられる。

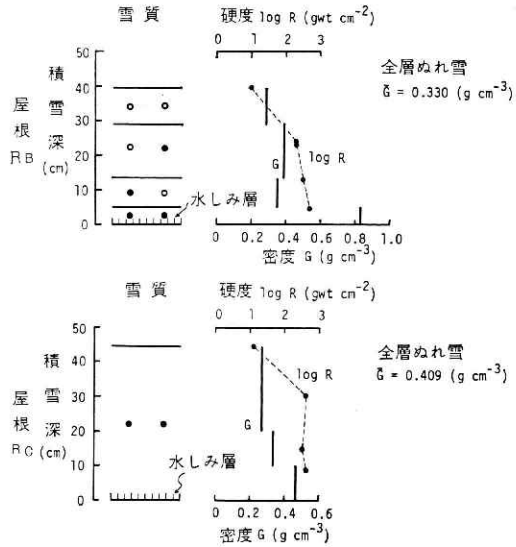


図6 実験に使用した屋根雪の断面観測 (1980年2月29日14時)

Fig. 6 Vertical profiles of snow cover on the experimental roofs (14h, Feb. 29, 1980).

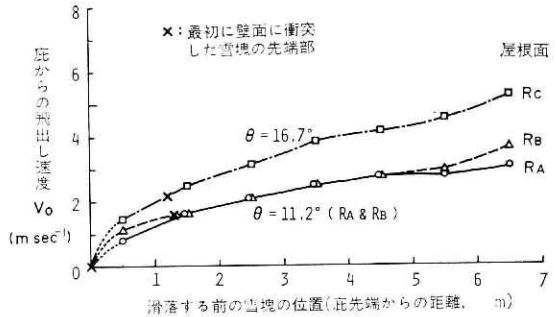


図7 庇(ひさし)を離れる時の雪塊の飛出し速度

Fig. 7 Speed of snow blocks on passing through the eaves. Abscissa shows the location of the snow block on roof just before sliding down.

次に、屋根から雪塊が落下し、壁面に衝突する様子を写真7～9（末尾に掲載）に示す。これらの写真は、16mm 映画撮影機で得られたフィルムを、5こまごと（1/50秒×5=0.1秒ごと）に焼き付けたものである。写真に添えた数字は写真の番号を示すと同時に、雪塊が壁に衝突し始めた時を原点（0秒）とする経過時間を表わす。これは、次に述べる図10～12の時間と一致している。なお、0秒以前の写真には負符号を付けた。

これらの写真を見ると、屋根雪はつながったまま庇からせり出し、数十 cm の長さとなった時に始めて折れ、ブロック状となって、進行方向の下向き（写真に向かって右回り）にゆっくり回転しながら落下している。このため、壁に衝突する時、雪塊の底面の傾斜角度（水平面となす角度）は、その時の屋根の傾斜角度よりも大きくなっている。そして、衝突角度や衝突速度によっては、雪塊は壁面をこするように衝突し、破壊されている（特に W_A 、 W_B に於て）。破壊されて細くなった雪塊は、下方のみならず、側方にも飛散している。また、数個の雪塊が壁面に衝突した後は、壁面上に厚さ5～10cm 位の雪丘ができる。これは、最後の雪塊が落下し終わった後にも残っており（1秒以内）、やがて自重で落下するのが見られる（例えば写真7の3.0～3.3）。このような現象は、後続の屋根雪による衝撃力が、あらかじめ出来たこのような雪丘を介して受圧板に伝えられているに違いないことを示している。写真7（壁 W_A ）の1.9以降の雪塊の衝突の様子は、他の壁とは異なっており、雪塊が絶え間なく、流れるように壁に衝突していて、雪塊同士の衝突も見られ、このため、個々の雪塊本来の衝撃力が作用しているとは思われない。

なお、壁 W_C では、衝突時に雪塊の一部が、壁の上端を乗越えるのが見られた（0.8～1.3の間）。

各壁で測定された衝撃力の水平成分の時間的

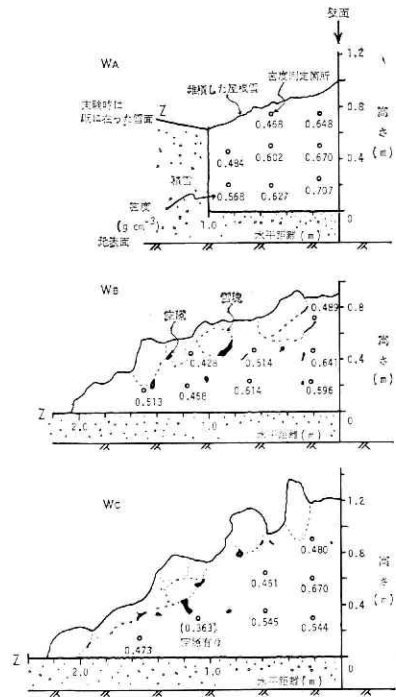


図8 測定壁の下部に出来た堆雪の形状と密度分布

Fig. 8 Shape and density distribution of the deposit snow in front of the walls.

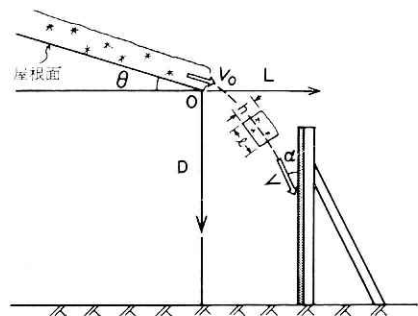


図9 図10～13および表1に使用した記号
Fig. 9 Symbols used in Figs. 10～13 and Table 1.

滑落する屋根雪の壁面に及ぼす衝撃力. その1—中村(秀)・阿部・中村(勉)

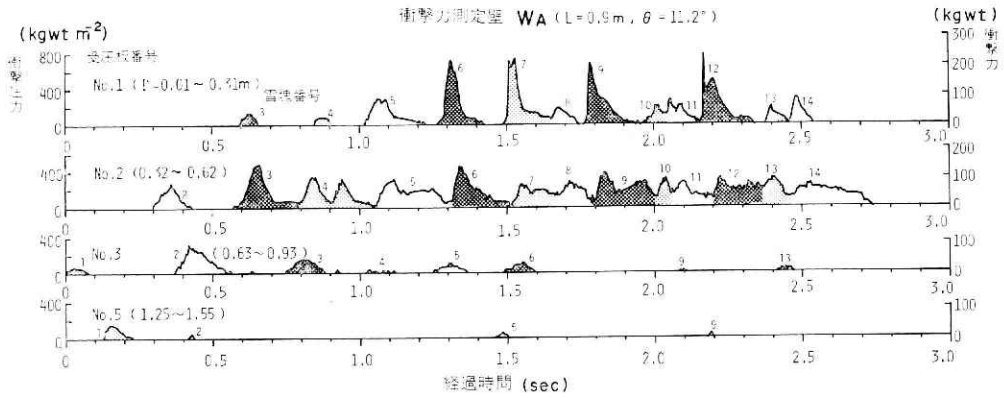


図10 測定壁 WA で測定した衝撃圧力 (横軸は, 衝撃力を感知し始めた時点を中心とした)
 Fig.10 Impact forces measured at the wall WA.

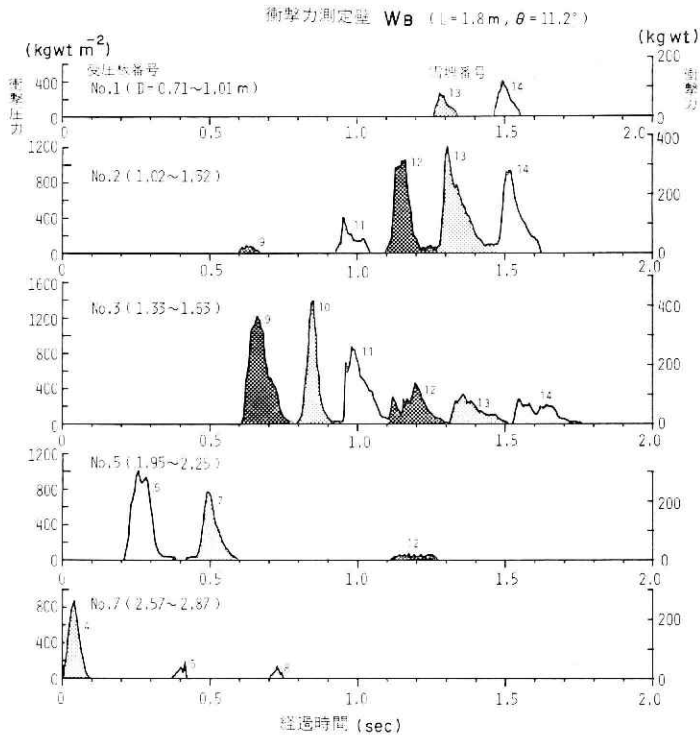


図11 測定壁 WB で測定した衝撃圧力 (横軸は, 衝撃力を感知し始めた時点を中心とした)
 Fig.11 Impact forces measured at the wall WB.

変化を 図10~12 に示す (記号については 図9 を参照). 横軸は, それぞれの壁において, 最初に力を感知した時点を中心とした. このため, 写真7~9 で, 数字の前にマイナスがついている場面は, 雪は落下しているが, 力は作用していないことを表わす. 測定壁 WA では,

図10で示したものの他に No.7, No.9 の受圧板でも測定を行なったが、その大きさはほとんど零であったのでここでは省略した。図10~12の右側に示した衝撃力とは、受圧板1枚にかかる衝撃力を表わし、これは2個のロードセルで測定した力を平均し、4倍したもの（受圧板は4点で支えられているから）である。また衝撃圧力とは、この衝撃力を受圧板の面積(0.3m²)で割ったもの、すなわち、単位面積当りの衝撃力のことである。便宜上、今後の衝撃力については、衝撃圧力を用いて議論を進めて行くことにする。

図10~12から、壁の位置が底から離れるに従い、衝撃圧力が大きくなること、いずれの壁でも、雪塊の壁への衝突地点の高さが、時間的に下方から徐々に上方へ移ってゆく様子がわかる。これらは雪塊の飛び出し速度が時間の経過と共に大きくなる(図7参照)からである。後者

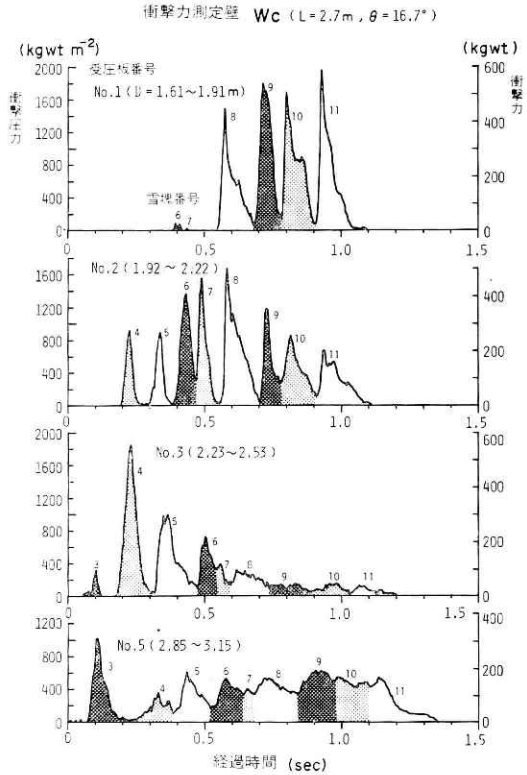


図12 測定壁 Wc で測定した衝撃圧力 (横軸は、衝撃力を感じし始めた時点と原点とした) Fig. 12 Impact forces measured at the wall Wc.

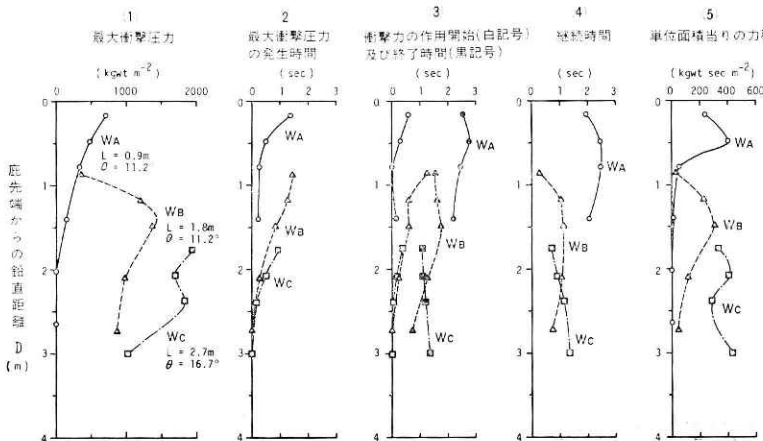


図13 各測定壁に及ぼされた衝撃圧力の作用状況 Fig. 13 Vertical distribution of the impact forces.

(1) The maximum impact forces. (2) Time from the beginning of the collision on the wall until the impact force becomes maximum. (3) Time of the beginning (white symbol) and the end (black symbol) of the collision. (4) The time interval between the beginning and the end of the collision. (5) Sum of the whole impulses, per unit area. The individual impulse was obtained by the integration of each impact force signal on the abscissa.

については、写真7～9からもよくわかる。各壁における衝撃圧力の最大値は $W_A : 747$, $W_B : 1380$, $W_C : 1953 \text{kgwt m}^{-2}$ であった。また、それぞれの波形に見られる周期が0.1～0.2秒の山は、16mm 映画の解析から、各雪塊の衝突に対応していることが判明した。

図10～12を整理して求めた、各壁における受圧板別の最大衝撃圧力や、その発生時間および衝突時間を図13—(1)～(4)に示す。図13—(2), (3)の横軸の原点は、それぞれの壁において、最初に力を感じた時点とした。また、図13—(5)は、衝撃力波形を積分して求めた力積である。

5.1 最大衝撃圧力とその発生時刻

図13—(1)によると、各測定壁における受圧板別の最大衝撃圧力は、上方にゆくに従って増加すること、しかし、ある高さからは逆に減少することがわかる(W_A , W_C の壁では、仮に、もう少し上方で測定すれば、雪塊が衝突する高さには上限があるので、最大衝撃圧力は減少し零になると思われる)。また、図13—(2)によると、受圧板別最大衝撃圧力の発生時間は、雪塊の衝突位置が、時間の経過とともに次第に上昇してゆくことを反映して、上位の受圧板におけるもの程遅くなっている。

5.2 衝突時間

また、図13—(3), (4)によると、 W_A で最も長時間、衝突が続いているのに対し、庇から遠い W_B , W_C では短時間で終了していることがわかる。この理由は、 W_A では衝突速度の平均値が小さいのに対し、 W_B , W_C では大きい(後述の表1を参照されたい)ということと、 W_B , W_C では、壁まで到達しない雪塊があり、そのため、衝突する雪の量が少なかったことの二つの理由による。

5.3 受圧板別の力積

図13—(5)に示した力積は、各受圧板における衝撃圧力の0.005秒ごとの値と、その持続時間すなわち0.005秒の積を、衝突開始から終了まで積算したもので、言い換えれば、図10～12で示した衝撃力波形と、時間軸(横軸)とで囲まれる面積の総和である。これによると、それぞれの壁において、ある高さに最大の値を示す場所があり、例えば、 W_A の場合は $D=0.5\text{m}$ 付近で、その大きさは約 $400 \text{kgwt sec m}^{-2}$ である。力積が最大になる位置と、最大衝撃力が最も大きくなる位置とは必ずしも一致していない。 W_C では、 $D=2.1\text{m}$ 付近と 3.0m 付近に極値が見られる。両者はその発生原因が異なり、 2.1m 付近のものは、雪塊が直接壁に衝突した時に生じたもので、 3m 付近のものは、次に述べる雪塊の二次的・間接的な衝突に起因するものである。すなわち、 $D=3\text{m}$ というのは、地上高で言えば 1m に相当する。そこでは、写真9の0.7以降に見られるように、先に衝突し落下した雪が堆積しており、このため、後続の雪塊は、この堆雪に衝突することになる。この時、雪塊は堆雪によって運動方向を家屋側(図8では向かって左側)に変更させられるが、堆雪もまた反対方向への力を受けることとなり、それが壁にまで及ぶのであろう。このため、図12のNo.5の後半

表 1 雪塊別の物理的
Table 1 Size, mass, velocity, impactf

項 目 Article		(1)雪塊の長さ Length	(2)雪塊の質量 Mass	(3)衝突角度 Collision angle	(4)衝突速度 Velocity of collision	(5)衝突位置 No. of plate
雪塊番号 No. of snow block		$l(m)$	$m(kg)$	$\alpha(^{\circ})$	$V(m\ sec^{-1})$	(受圧板番号)
屋 根 RA 上 の 雪 塊 $h=0.33m$ $d=1.00m$ $G=410kg\ m^{-3}$	1	0.57	77	11	4.0	No. 2~4
	2	0.76	103	44	2.6	1~3
	3	0.40	54	(54)	(3.4)	1~2
	4	0.59	80	63	2.4	"
	5	0.81	110	56	2.6	"
	6	0.52	70	59	3.1	"
	7	0.58	78	(59)	(3.4)	"
	8	0.32	43	58	2.9	"
	9	0.67	91	59	4.4	"
	10	0.30	41	(55)	(4.4)	"
	11	0.42	57	51	4.7	"
	12	0.56	76	53	2.5	"
	13	0.38	51	58	2.4	"
	14	0.35	47	41	3.7	"
屋 根 RB 上 の 雪 塊 $h=0.38m$ $d=1.00m$ $G=410kg\ m^{-3}$	1	0.43	67	—	—	—
	2	0.89	139	9	8.0	9以下
	3	0.50	78	14	7.7	7~8
	4	0.82	128	13	7.4	6~8
	5	0.66	103	27	6.4	5~7
	6	0.50	78	26	6.4	3~5
	7	0.52	81	28	6.6	4~6
	8	0.48	75	29	6.0	—
	9	0.69	108	30	4.9	3~4
	10	0.63	98	34	5.9	3~4
	11	0.69	108	32	5.9	2~4
	12	0.65	101	36	5.6	1~3
	13	0.93	145	37	4.9	"
	14	0.91	142	43	5.4	1~2
屋 根 RC 上 の 雪 塊 $h=0.43m$ $d=1.00m$ $G=330kg\ m^{-3}$	1	0.88	125	—	—	—
	2	0.61	87	—	—	—
	3	1.09	155	20	10.2	4~6
	4	0.89	126	22	7.2	2~5
	5	0.86	122	40	7.8	2~4
	6	0.56	80	32	7.4	2~4
	7	0.30	43	33	7.2	2~4
	8	0.91	129	40	9.5	1~3
	9	0.65	92	44	6.3	"
	10	0.73	104	37	8.1	"
	11	0.67	95	42	9.4	1~2

注) () を付したものは、フィルムの画像が不鮮明のため測定精度が悪い。

滑落する屋根雪の壁面に及ぼす衝撃力. その1—中村(秀)・阿部・中村(勉)

ならびに力学的諸量
 orces, etc. of each snow block.

(6)最大衝撃力 Maximum impact force F_m (kgwt)	(7)力 積 Impulse P (kgwt sec)	(8)作用時間 Impact time duration of one snow block T (sec)	(9)衝撃力の平均 値 Mean impact force \bar{F} (kgwt)	(10) F_m/\bar{F}	(11)衝撃力の計算 値 Calculated impact force F_c (kgwt)	備 考 Note
—	—	—	—	—	—	
108	13.3	0.275	48	2.3	45	
168	16.5	0.315	52	3.2	(104)	
148	13.3	0.320	42	3.5	63	
164	22.7	0.345	65	2.5	64	
184	21.9	0.325	66	2.8	97	
276	20.2	0.190	106	2.6	(117)	
232	9.3	0.125	72	3.2	84	
208	25.6	0.290	88	2.4	195	
152	7.1	0.100	71	2.1	(179)	
284	10.8	0.145	72	3.9	183	
160	23.2	0.210	110	1.5	55	
148	9.0	0.095	90	1.6	57	
96	16.9	0.280	60	1.6	81	
—	—	—	—	—	—	壁に衝突 せず
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	受圧板に 当らず
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
392	28.0	0.170	165	2.4	174	
404	37.9	0.220	172	2.3	120	
376	33.1	0.265	123	3.1	218	
—	—	—	—	—	—	壁に衝突 せず
—	—	—	—	—	—	〃
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
680	59.1	0.185	311	2.2	540	
900	45.8	0.195	229	3.9	277	
706	49.3	0.230	214	3.3	344	
750	47.4	0.310	153	4.9	573	

部に見られるように、ある程度の力を常に受けることになり、その結果、力積が大きくなったものと解釈される。

5.4 雪塊別にみた衝撃力

次に、個々の雪塊の運動とその衝撃力について見てみよう。まず、各雪塊に番号を付け、それぞれの長さ l 、質量 m 、厚さ h 、幅 d 、密度 G 、衝突角度 α および衝突速度 V を表1に示した(記号については図9参照)。この中で l 、 α および V は16mmの画像から求め、 h 、 G は屋根上での観測値を用いた。 d としては、雪塊の実際の幅ではなくて、受圧板の(幅1.0m)を採用した。これは、受圧板に衝突する部分の衝撃力を対象としたからである。 h には、各屋根上で数箇所ずつ測定した値の平均値を使用した。また、雪塊が衝突した位置を画像から調べ、その場所の受圧板の番号を表1—(5)に示した。

一方、図10~12には、個々の雪塊が及ぼしたと思われる衝撃力波形を、雪塊毎に区分けし、それぞれの波形に対応する雪塊の番号を添えた。雪塊と、それによる衝撃力波形の対応づけは、次のようにして行なった。すなわち、まず映画の両像から、雪塊が衝突した時刻と位置(受圧板)を読み取り、それと同時刻、同位置での衝撃力を図10~12から捜し出し、その変化の様子を、再び画像と照合した。この同定は、孤立した衝撃力波形については、比較的簡単に行ない得たが、連続した波形、例えば、 W_A のNo.2の受圧板や(図10参照)、 W_C のNo.4の受圧板(図12参照)では、それぞれの波形の後半部に判断に迷うところがあった。

滑落する雪塊はその厚さが約40cmあったこと、および衝突の仕方によっては、一つの雪塊が2枚以上の受圧板に同時にぶつかることがあったことなどの理由から、一つの雪塊が、壁に及ぼす力を考察するときには、2枚もしくは3枚の受圧板を、1枚の受圧板とみなして、考察を進める必要がある。そこで、各壁において、No.1~No.3の3枚の受圧板に衝突した、一つの雪塊による力のうち、最大の衝撃力 F_m と、その雪塊の力積とを求め、表1—(6)、(7)に示した。 F_m は3枚の受圧板(No.1~No.3)に作用した衝撃力の、同時刻のもの同士の代数和のうち最大のものを指す(図14参照)。また力積は、その雪塊が3枚の受圧板(No.1~No.3)に与えた力積の総和とした。これ以外の受圧板に衝突した場合は、衝撃力に測定漏れの危険性があるため除外した(No.4やNo.6等の受圧板にはロードセルが備わっていない)。

また、表1—(8)には各雪塊の作用時間 T も示してある。 T は図13に示したように、その雪塊による衝撃力が、最も早く作用した板の作用開始時刻と、最も遅くまで作用した板での作用終了時刻との間の時間差とした。

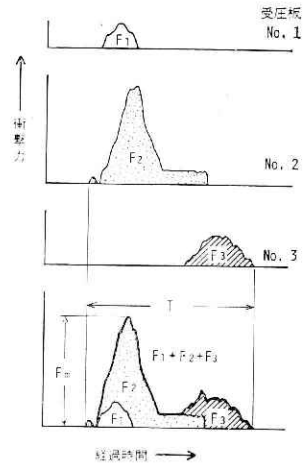


図14 一個の雪塊が3枚の受圧板に与える力から最大衝撃力 F_m および作用時間 T を求める方法

Fig. 14 Composition of the maximum impact force, F_m from the three forces, F_1 , F_2 and F_3 , which were measured on the plate No. 1, No. 2 and No. 3, respectively.

力積を作用時間で割ると、衝撃力の平均値 \bar{F} が得られ、その値を表1—(9)に示した。また表1—(10)には、雪塊別の最大衝撃力 F_m と \bar{F} との比も示してある。これによると、ほとんどの場合 F_m は \bar{F} の2～4倍であることがわかる。

ところで、ある雪塊が及ぼす衝撃力の平均値 \bar{F} は、この雪塊と同じ雪塊が次々と同じ速度、同じ角度で衝突するなだれを想定すれば、そのなだれの衝撃力と等しいと考えることができる。そこで、なだれの衝撃力を求める式(日本建設機械化協会, 1968)を用いて、各雪塊の衝撃力 F_c を計算した。その計算式は次のとおりである。

$$F_c = \frac{G}{g} S V^2 \sin^2 \alpha \quad (\text{kgwt})$$

ここで

F_c : 受圧面に直角に働く衝撃力 (kgwt)

G : なだれ雪の密度 (kg m^{-3})

g : 重力の加速度 (m sec^{-2})

S : なだれ方向に直角な作用断面積 (m^2)

V : なだれの衝突速度 (m sec^{-1})

α : 衝突角度 (度)

である。その計算結果を示すと、表1—(11)のようになった。 \bar{F} と F_c とを比較してみると、全体的に F_c の方が大きくなっているようである。この差が生じた原因の一つに、次の点が考えられる。すなわち、われわれの実験では、雪塊は空中を飛翔し、衝突時には上下左右に飛散することが可能であるのに対し、なだれの場合には、雪塊は斜面上を滑り落ち、衝突時には下方への飛散が妨げられ、それが衝撃力の増加となって現われるのかも知れない。

6. む す び

屋根から滑落する雪塊によって生ずる被害を、未然に防止するための基礎資料を得るために、滑落する雪塊の衝撃力を測定した。

実験には、実規模大の勾配可変式の屋根3面と、3基の衝撃力測定壁を使用した。

ここに報告したものは、1980年2月29日に行なった実験結果である。実験に用いた雪は、全層ぬれ雪で、雪質としては、殆どがざらめ雪であった。

この雪が及ぼす最大衝撃圧力は、屋根の勾配、底と壁の距離等で違っているが、おおよそ $700 \sim 2,000 \text{kgwt m}^{-2}$ であった。

また、雪塊別の最大衝撃力 F_m 、平均衝撃力 \bar{F} も求めた。これらの値も、無論、雪塊の大きさ、衝突速度、衝突角度等によって変化しているが、その分布範囲は F_m が $100 \sim 900 \text{kgwt}$ 、 \bar{F} が $50 \sim 300 \text{kgwt}$ 程度であった。また、 F_m/\bar{F} は2～4程度であった。

なだれの衝撃力を求める式を用いて計算した衝撃力 \bar{F}_c と F とを比較すると、 \bar{F} が F_c を下回っていた。これは、筆者達の実験が、空中を飛翔する雪塊を取扱っていることから、衝

突時に雪塊が、より大きな自由度を持って破壊できることから生じた差だと思われる。

なお、本実験は特別研究「生活関連雪害防止技術の開発研究」の一環として行なったもので、今後、雪質や屋根の勾配等を種々変えた実験を継続して行なり予定である。

おわりに

本実験を行なうに当たり、実験準備、実験実施等に多大の助力を賜った東浦将夫主任研究官および沼野夏生研究員に謝意を表す。

参考文献

- 1) 古川巖(1957)：なだれの衝撃力。雪氷，Vol.19，No. 5，12—13.
- 2) 橋本勇二，藤村成夫，葛日英夫(1979)：防雪柵に関する研究 その1 雪塊の衝撃実験。昭和54年度調査研究報告集，北海道立寒地建築研究所，153—156.
- 3) 宮内信之助(1977)：自然落下方式による屋根雪処理の現状。雪氷，Vol.39，No. 1，7—14.
- 4) 中村秀臣(1975)：庭先雪処理について。克雪，山形県克雪技術研究協議会，3巻，5号，4—5.
- 5) 日本建設機械化協会(1968)：なだれの衝撃力。防雪工学ハンドブック，73—74.
- 6) 清水弘他(1974)：黒部峡谷高速なだれの研究Ⅲ。低温科学，物理篇，第32輯，113—127.

(1980年12月24日 原稿受理)

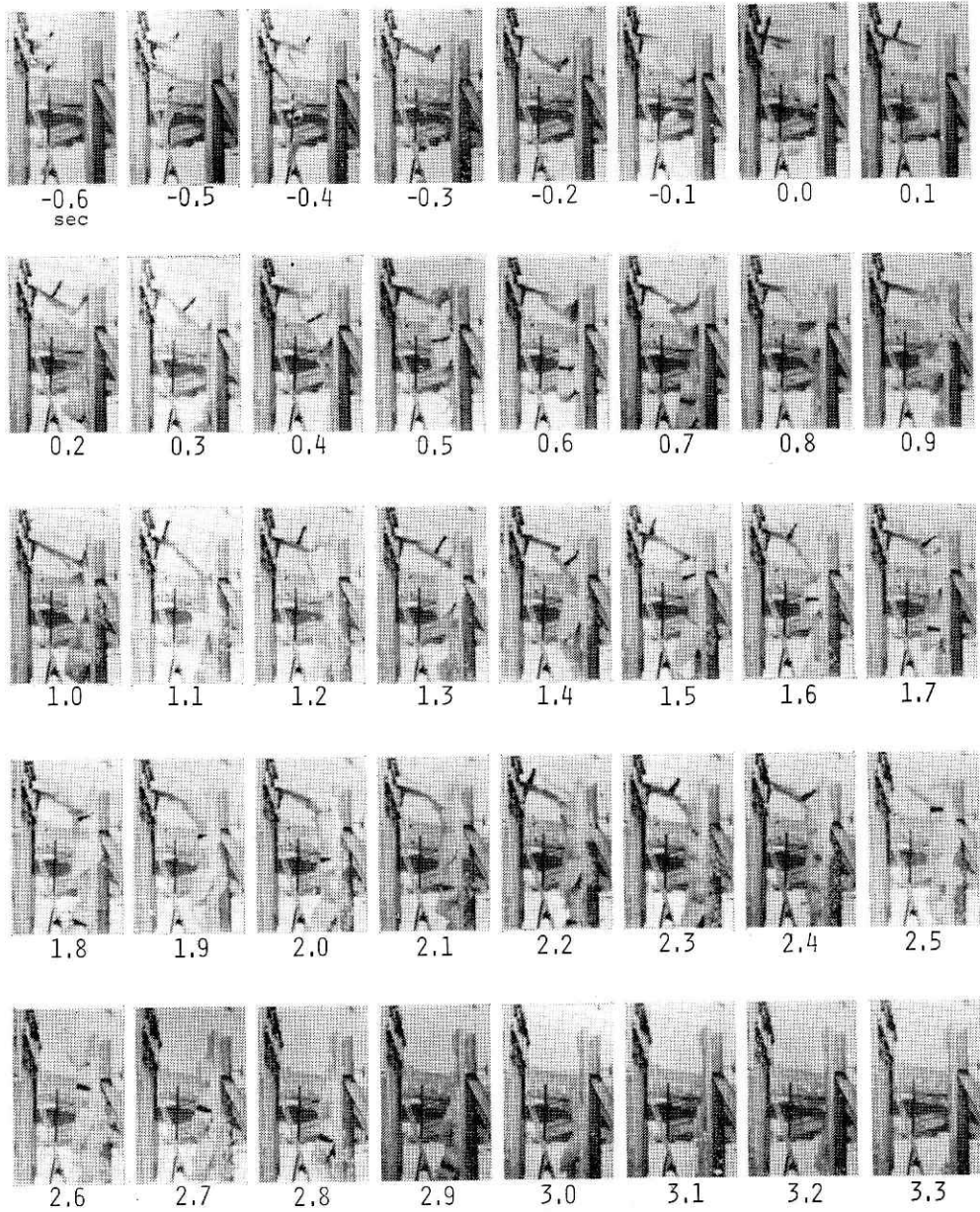


写真 7 屋根 R_A から滑落する雪塊が測定壁 W_A に衝突する状況. 下の数字は写真番号を示すと同時に経過時間 (単位: 秒) を表わし, 図10の時間軸に合致させてある.

Photo. 7 Sequence of the movements of the snow blocks sliding down from the roof R_A . Numbers show the time from beginning of the collision in second and correspond to the time graduations on the abscissa in Figs. 10~12.



写真 8 屋根 R_B から滑落する雪塊が測定壁 W_B に衝突する状況。下の数字は写真番号を示すと同時に経過時間（単位：秒）を表わし、図11の時間軸に合致させてある。
Photo. 8 Sequence of the movements of the snow blocks sliding down from the roof R_B . Numbers show the time from beginning of the collision in second and correspond to the time graduations on the abscissa in Figs. 10~12.

滑落する屋根雪の壁面に及ぼす衝撃力, その1—中村(秀)・阿部・中村(勉)



1.1
sec



1.2



1.3



1.4



1.5



1.6



1.7



1.8



1.9



2.0



2.1



2.2



写真 9 屋根 R_c から滑落する雪塊が測定壁 W_c に衝突する状況。右肩の数字は写真番号を示すと同時に経過時間（単位：秒）を表わし、図12の時間軸に合致させてある。

Photo. 9 Sequence of the movements of the snow blocks sliding down from the roof R_c . Numbers show the time from beginning of the collision in second and correspond to the time graduations on the abscissa in Figs. 10~12.

滑落する屋根雪の壁面に及ぼす衝撃力. その1—中村(秀)・阿部・中村(勉)

