

## 地震によって発生した雪崩

東浦将夫・中村 勉・中村秀臣\*・阿部 修\*

国立防災科学技術センター新庄支所

### An Avalanche caused by an Earthquake

By

M. Higashiura, T. Nakamura, H. Nakamura and O. Abe

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

#### Abstract

An earthquake of magnitude 6.7 occurred off the coast of Miyagi Prefecture (38°45'N, 142°12'E; 50 km deep in the ground) at 13h 37m on 20th, February in 1978. The seismic intensity was IV in Shinjo area, Yamagata Prefecture, where the depth of snow cover on the ground usually reaches maximum in that period of winter. Owing to the earthquake, a slab avalanche (International code: A2 B3 C0 D1 E2 F2 G0 H1 J1) occurred at Nino-magari (38°36'N, 140°11'E, 420m M.S.L.), Okura-mura, Mogami-gun, Yamagata Prefecture, which is located about 180 km far away from the epicenter and the traffic was interrupted for about two and a half hours.

Observational results showed that the avalanche was 20 m long, 75 m wide, 1 m deep, and 1,037 m<sup>3</sup> in area. The average snow density of 1 m thick snow cover before sliding was estimated as 0.16 g·cm<sup>-3</sup> which value was measured at a place 700 m apart from the avalanche point. The sloping angle of the fracture layer of the avalanche was 35° to 40°. The fracture layer of this avalanche was confirmed to be at the 2 cm thick granular snow layer between two settled snow layers.

The force which was applied to the slid snow cover consisted of two elements: the gravity and the force due to the earthquake itself; and these were calculated. The former was 9.9 g·f·cm<sup>-2</sup> and the latter 1.3 g·f·cm<sup>-2</sup>. The total value, therefore, was 11.1 g·f·cm<sup>-2</sup> and this amount was within the range of the shear strength of snow which had been measured on the identical density of the deposited snow by many workers. In addition to the one reported here, a few other avalanches were observed to have been caused by the earthquake. The number and the area of the avalanches were limited, possibly because the force applied by the earthquake was relatively small (1.3 g·f·cm<sup>-2</sup>).

As avalanches caused by such external forces as earthquakes appear at the places

\* 雪害防災研究室

where the deposited snow is unstable, it is very dangerous to pass snowy roads through mountains. So it is important to reveal the mechanism of the avalanche release by the external force, particularly in relation to topography and structure of deposited snow.

## 1. はじめに

1978年2月20日13時37分頃、宮城県沖で、マグニチュード6.7の地震が発生した(山形県農業気象月報, 1978). 有感地域は、東北地方を中心に北は北海道から南は関東・中部地方にまで及んだ。震源は北緯 $38^{\circ}45'$ 、東経 $142^{\circ}12'$ 、深さ50kmで、震源に近い大船渡市では震度Vであった。山形県内の新庄および酒田両市では震度IV(中震)、山形市では震度III(弱震)であった。

新庄地方はちょうど、最大積雪深の出現する時期であり、地震による積雪の破壊のために

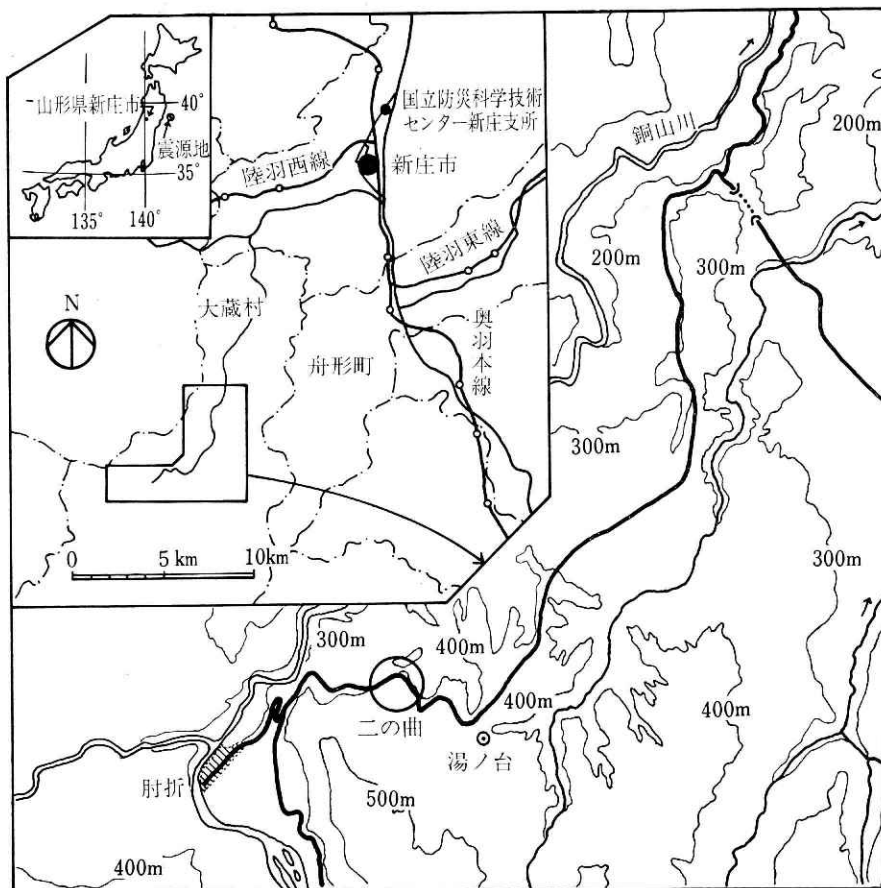


図1 雪崩の発生地点図

Fig. 1 Map showing the location of the avalanche (circle).

種々の被害が起こった。例えば、山形県最上郡大蔵村湯ノ台では地震によって発生した雪崩のために交通が途絶した。尾花沢市では、流雪溝取水用の農業用水路に発達していた雪庇が数百mにわたって落下し、流れる水をせきとめた。また、屋根の雪が崩落し、通行中の人が負傷したり、1m近い雪が積っていた小屋が倒壊したりした(山形新聞, 1978)。

積雪の破壊とは直接関係はないが、この地震のために新庄駅の窓ガラスが割れて負傷した人もいる(山形新聞, 1978)。

本報告は、地震が原因となって発生した上記の大蔵村での雪崩の、地震発生翌日(1978年2月21日)の現地調査結果および簡単な考察の結果について述べるものである。

## 2. 現地調査とその結果

この地震により、山形県最上郡大蔵村大字南山字上湯ノ台の県道新庄～大江線の“二の曲”地点(N 38° 36', E 140° 11', 標高 420 m, 肘折温泉から約 1.5 km 新庄市寄り, 図 1)

で、小規模な表層雪崩(雪崩の国際分類: A2, B3, C0, D1, E2, F2, G0, H1, J1; 雪崩発生域の面積: 約 1,073 m<sup>2</sup>)が発生し、交通は約 2 時間 30 分にわたって途絶した。この雪崩はそこを通過しようとした通行人によって発見され通報された。写真 1 は交通路確保のための除雪風景を示す。

雪崩は図 2 に見られるように、山の尾根が北東の方向に延びている斜面(円で囲んだ場所)の中腹で発生した。この斜面を取り巻く道路は、410 m の等高線に沿って急カーブしながら肘折温泉方向に下っている。

写真 2 はこの雪崩跡の全景を示す。但し斜面は凸型なので全景とはいっても左右の側端部は写っていない。斜面上方は比較的なめらかではあるが、下方はデブリによる凹凸が激しい。この写真は雪崩発生翌日に撮影されたので、道路を埋めたデ



写真 1 路上のデブリを排除中の除雪車。  
矢印は破断面を示す(1978. 2. 20 撮影)

Photo. 1 Removal of debris on the road by a snow remover. Arrow indicates the fracture surface.  
(Photo taken on Feb. 20, 1978)

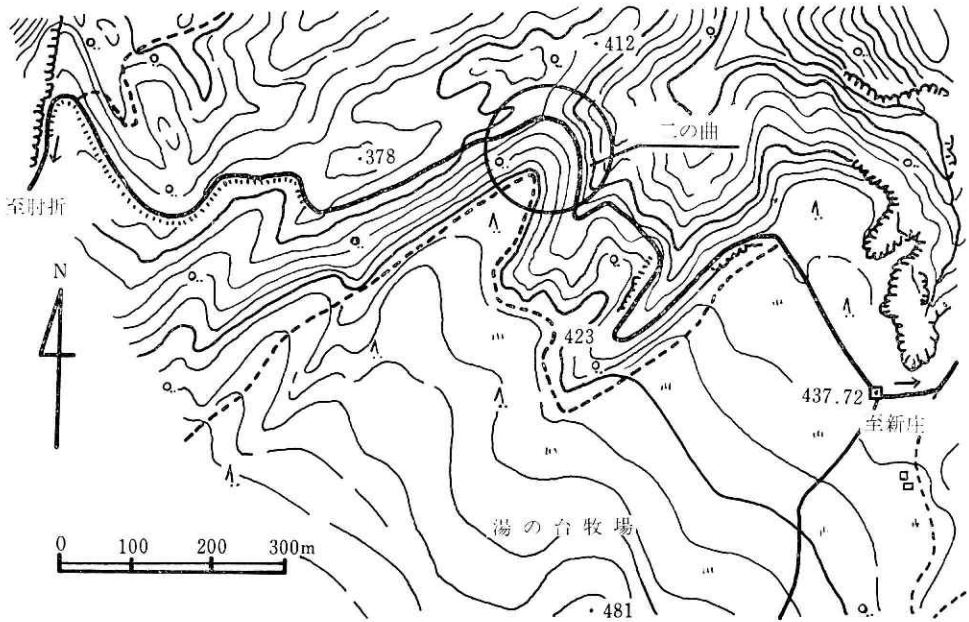


図 2 雪崩発生地点の地形図  
Fig. 2 Map showing the topography of the slope where the avalanche occurred.

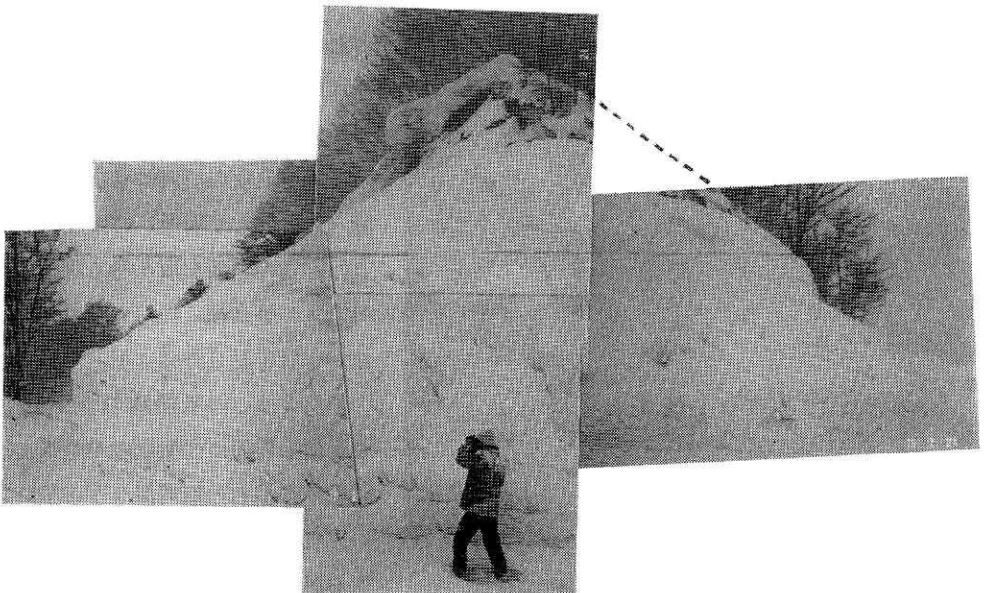


写真 2 地震によって発生した雪崩現場全景 (1978. 2. 21 撮影)  
Photo. 2 Debris and whole view of the slope where the avalanche occurred.  
(Photo taken on Feb. 21, 1978)

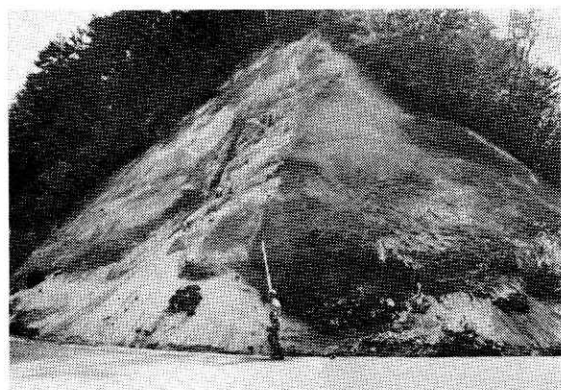


写真 3 雪崩発生現場全景 (1978. 8. 24 撮影). ポールの長さ 3 m

Photo. 3 Whole view of the slope where the avalanche occurred. (Photo taken on Aug. 24, 1978)

写真 4 地震によって発生した雪崩の破断面 (矢印). 斜面に向かって左側 (1978. 2. 21 撮影)

Photo. 4 Fracture surface of the snow cover on the slope (arrow). (Photo taken on Feb. 21, 1978)



ブリはきれいに除雪されている。写真 3 は同じ場所の無雪の状態を示す。写真 4 は斜面に向かって左上上方の、写真 5 は右上上方の斜面積雪の破断面を示す。写真 5 の下方の四角の黒っぽい部分は、斜面積雪の断面観測箇所であり、そのほぼ中央部分が雪崩の破断面である。デブリの一部は斜面上に残っており、それには写真 6 に見られるような垂直割目が何本か観察された。

雪崩発生斜面の地表は植生のない砂質凝灰岩であり、斜面の形は扇状凸形であり、その主方向は  $N 20^{\circ} E$  である。その斜面の中央付近には崩壊地形が発達している (写真 3, 図 3)。周囲の斜面は広葉雑木林となっている (写真 3)。雪崩は図 3 に示す斜線の部分で発生し、 $750 m^3$  (長さ  $75 \times$  幅  $5 \times$  高さ  $2 m$ ) のデブリが道路に堆積したという (山形県建設事務所道路維持課の話)。崩落雪は厚さ  $1 m$  の表層部分で、崩落した後の積雪斜面上の勾配は  $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$  であった (写真 4)。また、ここの自然積雪表面から深さ  $1 m$  までの平均密度は、約  $0.16$

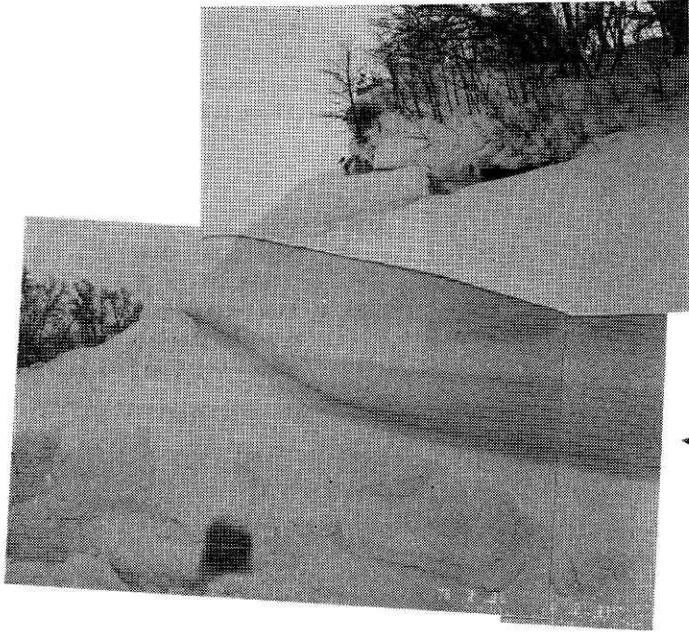


写真 5 地震によって発生した雪崩の破断面(矢印). 斜面に向って右側(1978. 2. 21 撮影)

Photo. 5 Fracture surface of the snow cover on the slope (arrow). (Photo taken on Feb. 21, 1978)

←破断面

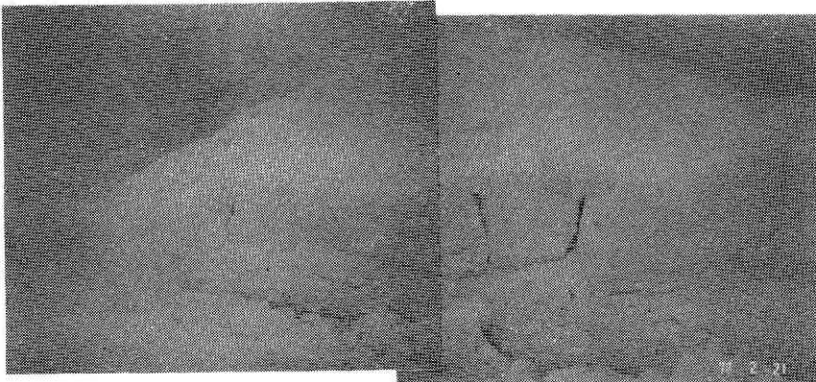


写真 6 すべり落ちた斜面積雪中の垂直割目(1978. 2. 21 撮影)

Photo. 6 Vertical cracks in the debris on the slope. (Photo taken on Feb. 21, 1978)

$\text{g/cm}^3$ と推定された〔雪崩発生地点から約700m南東方向にある沈降力測定点(当支所で測定中)での、2月21日の積雪表面から深さ125cmまでの平均密度 $0.16 \text{ g/cm}^3$ と同じとみなした〕。

この雪崩のすべり面の位置を追跡した結果、この面は二つのしまり雪層の間にあった厚さ2cmのざらめ雪層であることが判明した(写真7)。しかし、このすべりがざらめ雪層の内部で発生したものか、それともざらめ雪層としまり雪層の境界面で発生したものかは不明である。なお、この雪崩の質量階級〔 $\log_{10} m$ ,  $m$ : デブリの質量(トン)〕は2.2, ポテンシャル階級〔 $\log_{10} m \cdot h$ ,  $m$ : デブリの質量(トン),  $h$ : デブリの重心間落差(メートル)〕は

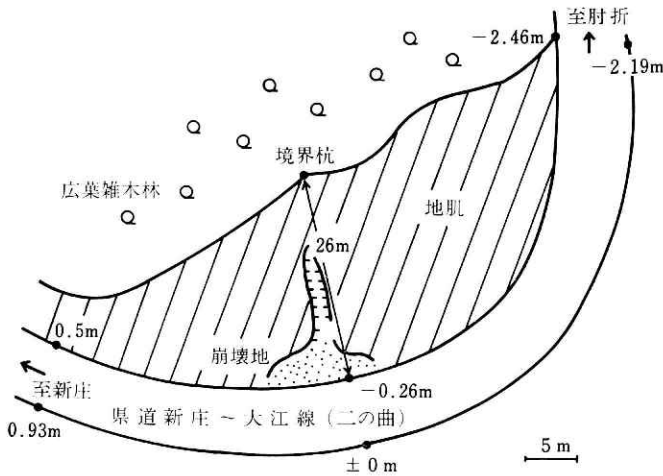


図 3 “二の曲” 地点実測平面図 (1978. 8. 24 測定)  
Fig. 3 Plan around the spot where the avalanche occurred (surveyed on Aug. 24, 1978).

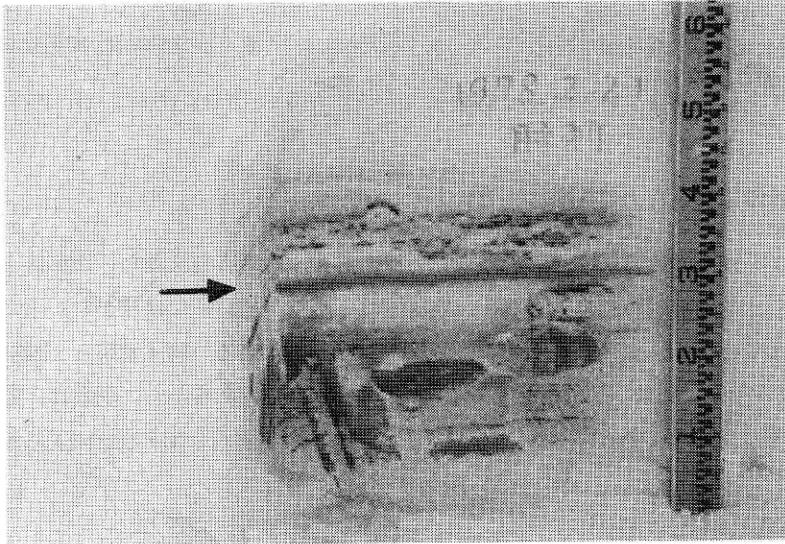


写真 7 雪崩のすべり面の積雪断面。矢印の位置がすべり面で、厚さ 2 cm のざらめ雪層が認められた (1978. 2. 21 撮影)  
Photo. 7 Cross section of the snow cover. Its upper part (above the arrow) slid down and its lower part did not. Between the upper and lower parts, a granular snow layer, 2 cm thick, was observed. (Photo taken on Feb. 21, 1978)

3.0 となる。

この地震によって発生した雪崩の調査結果を表 1 に示す。

なお、山形県西村山郡西川町大字志津 (上記の発生日点“二の曲”の南西 20 km 地点、標高約 400 m) でも、同じ地震によって雪崩が数カ所で発生したのが観察されたという (小林文明, 1978)。

表 1 地震によって発生した雪崩の調査結果  
Table 1 Observational and calculated results of the avalanche caused by the earthquake.

項 目	内 容	項 目	内 容
(1) 発生年月日	1978年2月20日 13時37分頃	滑 走 区	尾根の凸部, 扇状
(2) 発 生 地 名	山形県最上郡大蔵村大字南山字 上湯ノ台 (県道新庄~大江線, 二の曲)	堆 積 模	雪のみ, 道路上 長さ 20 m, 幅 50 m, 厚さ 1 m 面積: 1,073 m <sup>2</sup>
(3) 標 高	410 ~ 430 m	質 量 階 級	2.2 (雪の密度: 0.16 g·cm <sup>-3</sup> )
(4) 災害の種類	道路交通障害 (2.5 時間交通途 絶) のみ	ポテンシ ャル階級	3.0 (重心間落差: $\frac{26}{3} \sin 38^\circ$ )
(5) 平地での積 雪深	3 m 37 cm (2月20日9時, 肘 折)	発 生 誘 因	地震 (新庄: 震度 IV)
(6) 気 温	平均 -3.0°C (2月20日, 最高 -0.4°C 肘折) 最低 -5.1°C	(8) 斜 面 発 生 地 点	中腹
(7) 雪 崩 種 類	面発生表層なだれ	裸 地	平均勾配 45° (雪中のすべり面 の勾配: 35° ~ 40°)
すべり面の 位置	積雪内部 (厚さ 2 cm のざらめ雪層)	向 き	N 20° E
		形	凸形
		地 表 状 態	砂質凝灰岩, 植生なし
			(調査年月日; 1978. 2. 21, 1978. 8. 24)

### 3. 斜面積雪に働いた力の算定

静止していた斜面積雪に地震時に働いた力は、重力の斜面方向成分と、地震による力の合力とである。無地震時の力を考えると、崩落雪の下端部（道路）には雪がなかったから、斜面上の雪はその底面と上端面だけで支持されていたことになる（図4参照）。上端面の面積（50 m<sup>2</sup>以下）は底面積（1,073 m<sup>2</sup>）に比べると5%以下であるから、崩落雪は底面でのみ支持されていたとみなせる。今、質量  $M$ （底面積  $S$ ）の積雪が勾配  $\theta$  の斜面上にあり、これ

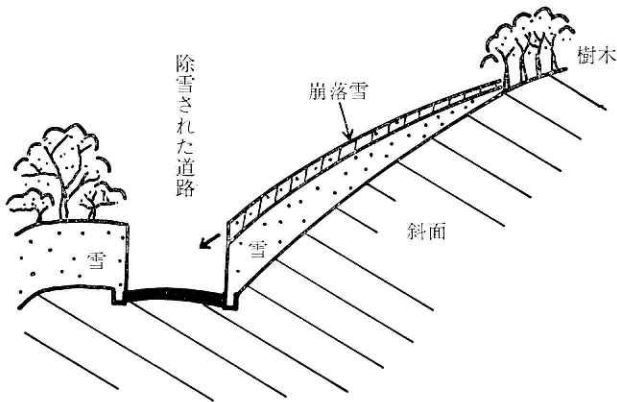


図 4 雪崩発生地点の断面図  
Fig. 4 A schematic cross section of the avalanche point.



に地震による力が加わったとすると斜面積雪の単位底面積に作用した力 $f$ は次式で表わされる。

$$f = (M \cdot g \cdot \sin \theta + M \cdot \alpha \cdot \cos \theta) / S \quad (1)$$

但し、 $\alpha$ は地震による加速度であり、 $M = \rho Sh$ である ( $\rho$ は密度、 $h$ は崩落雪の厚さ)。

質量  $M = \rho Sh = (0.16) \times (1073 \times 10^4) \times (10^2)$  グラム、 $\alpha$ は震度 IV で 25~80 gal といわれている (浅田, 1972) が、山形県西村山郡河北町内の河北橋 (北緯  $38^{\circ}26'$ 、東経  $140^{\circ}09'$ 、雪崩発生地点からほぼ南東方向 24 km 地点) で測定された最大加速度は、南北方向 100 gal、東西方向 87.5 gal、上下方向 12.5 gal であった (強震観測事業推進連絡会議, 1978)。この加速度は橋脚上で測定されたものではあるが、その付近の地盤も同程度の加速度で振動したに違いない (強震観測事業推進連絡会議, 1978)。またこの加速度測定地点と当雪崩発生地点とは震源地を中心とする同一円周上にあると見なせるので、ほぼ同一の加速度で雪崩発生

地点もゆれたと考えられる。一方当雪崩発生地点での地盤の振動方向は不明ではあるが、当斜面の最大傾斜方向が北東であるから、少なくとも 100 gal 相当の地盤振動が斜面積雪にも作用したと考えられる。すべり面の平均勾配は 38 度と測定されたから、これらの数値を上式に代入すると  $f$  は 11.1 g 重/cm<sup>2</sup> となる。

もともと積雪には静荷重として 9.8 g 重/cm<sup>2</sup> の力が働いていた上に、更に、地震により 1.3 g 重/cm<sup>2</sup> の力が加わったと考えられる。そして、ちょうどその時この合力 (11.1 g 重/cm<sup>2</sup>) が、この時の積雪の剪断破壊強度の限界値を越したために表層雪崩が発生したものと考えられる。

ここで、この地震による表層雪崩発生時の積雪の剪断破壊強度の推定値 (計算値, 11.1 g 重/cm<sup>2</sup> 以下) の妥当性について検討してみる。

図 5 は今までに測定された積雪の剪断破壊強度の範囲と密度との関係 (防雪工学ハンドブック, 1968) を示す。また同図には勝谷 (1940) が“大粒積雪”について求めた曲線

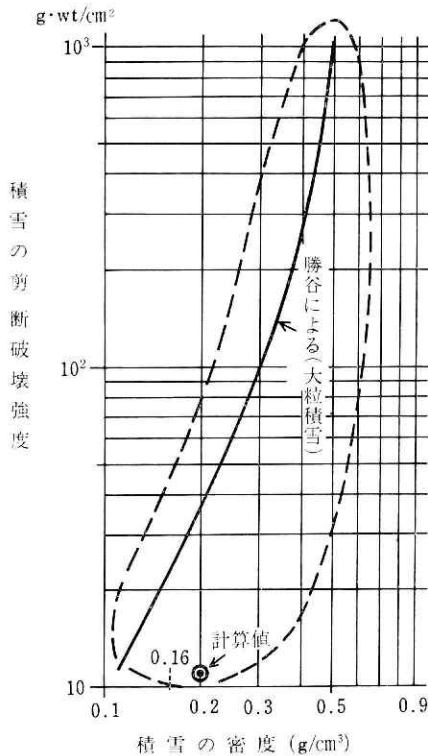


図 5 これまでに測定された積雪の剪断破壊強度と計算による推定値との比較

Fig. 5 The calculated force which was applied to the snow cover on the slope by the gravity and the earthquake and the range of the shear strength of the deposited snow ever measured.

も示してある。同図から分かるように、剪断破壊強度は単に密度の関数として一義的には決まらない。しかし計算により推定した値 ( $11.1 \text{ g 重/cm}^2$ ) は図示した通りであり、今までの測定範囲内にあるから上の推定値は妥当といえよう。もしこの値 ( $11.1 \text{ g 重/cm}^2$ ) が同図中の剪断破壊強度範囲よりも大きい値だったとすれば、当然雪崩は随所に発生したことであろう。

#### 4. おわりに

今回調査した地震によって発生した雪崩は、雪崩を起こそうとする力が増加しなくとも積雪の支持力が弱まって崩れる場合の雪崩発生機構とは異なり、一見安全と思われるとき、すなわち積雪層が安定しているかに見える状態でもわずかの外力で雪崩が発生するという事を示した好例である。雪の多い山岳地帯の道路も、今では除雪されるようになり、多くの人達がそこを通っているが、異常多雪になった時には危険な斜面も生じることになる。地震多発国である日本では、将来地震による雪崩災害にも注意を向けてゆく必要がある。

#### 5. 謝 辞

写真1を提供して下さった永井建設株式会社(新庄市五日町)、ならびに夏期の現地調査および有益な議論に参加された当新庄支所の沼野夏生研究員に感謝するものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 浅田 敏 (1972): 地震-発生・災害・予知-. 東京大学出版会, 242pp, 31 ページ参照.
- 2) 勝谷 稔 (1940): 積雪の密度, 硬度, 抗張力及び抗剪力測定成績. 日本雪氷協会論文集, 第1巻 44-66.
- 3) 小林文明 (1978): 私信.
- 4) 強震観測事業推進連絡会議 (1978): 強震速報 No. 14, 1978年2月20日宮城沖の地震. 国立防災科学技術センター, 2 ページ参照.
- 5) 日本建設機械化協会編 (1968): 防雪工学ハンドブック. 日本建設機械化協会, 268 pp. 16-17 ページ参照.
- 6) 山形地方気象台 (1978): 山形県農業気象月報. 昭和53年2月.
- 7) 山形新聞社 (1978): 山形新聞. 1978年2月21日朝刊.

(1978年12月14日 原稿受理)