

積雪地帯での砂防技術*

青木 滋**・丸井英明**・佐藤 修**

Erosion Control Engineering in Snowy Areas
by
Shigeru AOKI, Hideaki MARUI and Osamu SATO

(Abstract)

Erosion control engineering under the peculiar conditions in snowy areas is considered. Snowy areas occupy about 52% of the whole territory of Japan. It is keenly required to prevent or mitigate the natural disasters in snowy areas. In recent years many symposiums and workshops on snow utilization and mitigation of snow disasters are held. Since several years ago avalanche control works have been carried out in the framework of the erosion control works by the Ministry of Construction. Avalanches, floods by snow melting and slush flows, slope failures, debris flows and landslides caused by snow melting belong to the remarkable natural disasters in snowy areas. The characteristics of each phenomenon are analysed on the basis of the results of some case studies. Some technical remarks are made upon the peculiar system of the erosion control engineering in snowy areas.

Key words : Snowy Areas, Avalanche, Slush flow, Snow melting.

キーワード : 積雪地帯, 雪崩, 雪泥流, 融雪

I は じ め に

本報告は積雪地帯で発生する、砂防の対象となる種々の災害について述べ、積雪地帯に特有の条件下における砂防技術の問題点について考察したものである。積雪地帯はわが国の国土の過半を占めており、そこでの種々の自然災害の防止は重要な課題である。しかしながら、以前は砂防や治山等の防災事業において、積雪地帯に特有の条件が意識的に検討されることはほとんどなかった。近年では、積雪地帯に対する関心が高まっており、利雪や克雪によって地域の振興をはかるために、雪に関する様々なシンポジウムや研究会が数多く開催されるようになってきた。積雪地帯での災害を防止・軽減し、生活の安全を保証することは地域振興のための不可欠の要件である。数年前から、居住地に対する本格的な雪崩防災対策も、砂防事業の一貫として実施されるようになった。積雪地帯における、砂防に関連した主要な災害としては、雪崩、融雪出水及び雪泥流、崩壊及び土石流、融雪地すべりが挙げられる。それぞれの現象の特性について事例を挙げて考察を加え、積雪地帯に適合した砂防技術について論述する。

* この報文は、第24回砂防学会シンポジウム (1992年10月, 新潟市) で発表したものを基礎としている。

** 新潟大学積雪地帯災害研究センター

II 積雪地帯の定義

ふつう、日本海側や北海道地域は、積雪地帯といわれているが、明らかな定義はない。法律上では、ある期間（30年以上）における累年平均積雪積算値が5,000cm日以上の地域を豪雪地帯と規定されている（豪雪地帯の指定基準に関する政令，昭和38年10月7日）。豪雪地帯対策基本計画（総理府告示，昭和63年4月5日）によれば、「豪雪地帯は、国土の約52%に及ぶ広大な面積を占め、また総人口の約18%を擁し、わが国の経済社会において重要な地位を占めているが、毎年恒常的な雪崩に見舞われ、産業の発展及び住民の生活の向上が阻害されている。また、若年層を中心とした人口の流出や高齢化が進行している地域も多い。他方、豪雪地帯は、豊かな土地、水資源や優れた自然環境に恵まれており、これらを有効に活用し、人々の定住の促進と地域の活性化をはかることが国土づくりに不可欠な課題である」。定義の問題はさておいても、図-1に示したように、最大積雪深をみると、北陸地方の山間部で大きく（日本の最大値は、新潟県板倉町で約800cm）、これらの地域では、北海道に比べると、雪の密度が大きい“重い雪”である。日本の主要部分が位置する北緯30～45度は、世界的にみると、旧大陸ではサハラ砂漠の北部から地中海にかけての位置であり、新大陸では、フロリダ付近から五大湖の中心のあたりまでの位置と同じであって、数メートルもの積雪がみられる緯度ではない。日本の積雪地帯は、世界的にみても、特異な地帯といえる（新井，1980）。このような日本海側地域で積雪量が多い要因として、次の3点があげられる（青山，田村，1991）。

- ① 北西の季節風：中緯度偏西風帯・西高東低の気圧配置。
- ② 日本海が存在：対馬暖流の存在により、①の大陸からの冷たい乾いた風に多量の水蒸気が補給され上昇気流により雪雲が発達する。
- ③ 脊梁山脈の存在：②の雪雲は、季節風によって山麓に押しやられ、さらに強制的に上昇させられる。そして、上層大気中に冷たい寒気（上空5,000mで-40℃以下）が侵入すると、38（昭和38年）、56（昭和56-57年）、59（昭和59年）などの各豪雪がこれらの地帯を襲う。

以上のような要因による積雪地帯は、いつごろ形成されたのか。新生代第四紀洪積世（200万年前から10,000年前まで）の最終氷期（今から約20,000年前）には、世界各地と同じく日本海域でも、海水面は約140m現在より低下していた。最終氷河期以降気温の上昇にともなって海水面上昇した（後氷期）。寒冷な海況の日本海へ対馬暖流が流入したのは、日本海深海底のコアの分析から、沖積世（10,000年前から現在まで）のいまから8,000年前頃と推定されている（紺野，1985）。その結果、日本海沿岸地域に積雪がはじまった。このことは、考古学からも裏付けられている。すなわち、後期石器時代（約10,000年前まで）の遺跡は、日本海側に多く立地しているが、縄文時代早期（10,000年前～7,500年前）に入ると、日本海側の多雪地帯から、遺跡数が減少し、この傾向は、縄文時代前期（7,500年前～5,000年前）までつづく。このことは、縄文時代早期以降、多雪化のため日本海側が住みにくくなったためと考えられ、多雪地帯に適應して人類の居住地が拡大したのは、縄文時代中期（5,000年前～3,000年前）に入ってからであるという（安田，1980）。

III 積雪地帯での災害

前期基本計画において、「雪による災害を防止し、安全な国土の形成を図るため、これに必要な治山、治水等による国土保全施設の総合的な整備・拡充に努める。」とうたっているが、このことは砂防の問題と深い関係がある。積雪地帯における災害には、雪による（関係）が深いものと、雪によらないものがある。以下、北陸地方または、新潟県で発生したものを中心に述べる。

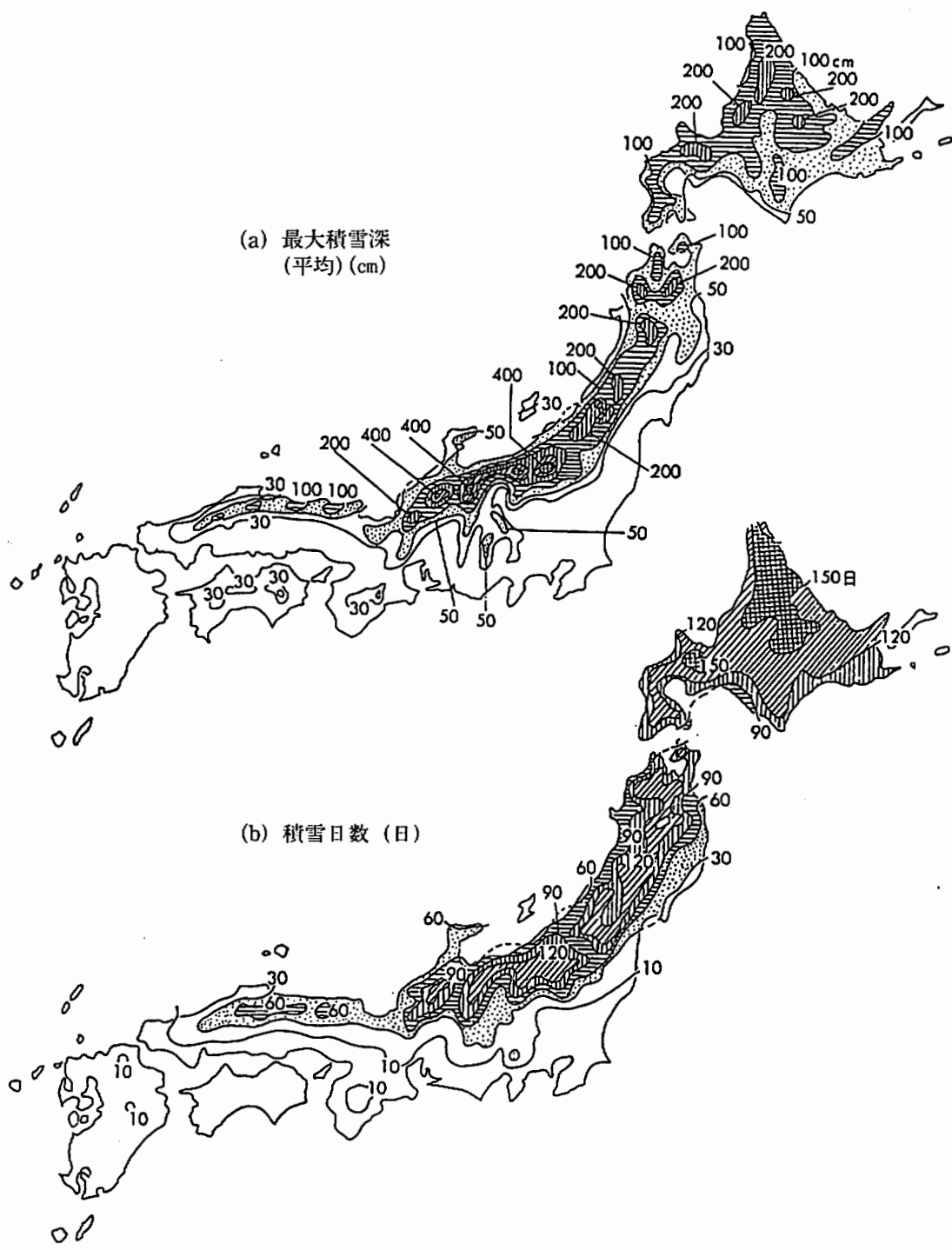


図-1 日本の積雪深と積雪日数 (新井, 1980)

Fig.1 Maximum snow depth(a) and snow cover period(b) in Japan (After Arai, 1980)

1 雪による災害（または障害）

豪雪による障害は、少し前までは、非雪国の人たちには、全くといってよいほどわからなかった。昭和56年の砂防学会シンポジウム“積雪砂防”でも、“なぜ雪の問題を砂防でとりあげるのか”といった関東圏の研究者の発言が印象に残った。しかし、最近では新潟県でも各種学会による雪のシンポジウムが毎年開かれたり、科学技術庁の研究費で、雪のテーマがふえていることをみても、時代の変化を強く感ぜざるをえない。新潟県の豪雪地域の一つ六日町役場で、昭和53年に発行した“雪害を訴える”をみると、雪による障害として屋根の雪おろし、道路の雪害、人的被害、家屋の被害、産業経済の被害等をあげている。特に屋根の雪おろしと道路の除雪は、住民の生活を守るためには不可欠であり、一方では多大の出費を必要としている。

住民の悲願にも近い雪を除く－除雪－は、意外と歴史が浅い。地元新聞（新潟日報、昭和54年2月6日）によると「昭和30年ごろでは、積雪地では住民は食糧を買いだめして家にとじこもり、バスも車庫に入って冬眠した。雪を克服できるかも知れないと思いはじめたのが、奥只見に無雪の電源開発道路が出現したときで、本格的な道路除雪が始まったのは、“38豪雪”を経験してから」だという。人力や機械で除雪する方式でやっかいな問題は、雪の捨て場、置き場である。除雪した雪を道路わきに積んだり、小千谷市のように、流雪溝に流したり、河や池に捨てるなどが行われているが、長岡市のような市街地では、除雪・排雪がスムーズにいかないケースがしばしば発生している。昭和37年からはじまった地下水を利用した消雪パイプによる道路の消雪は、またたく間に県下に広まったが、地下水位低下による地盤沈下が長岡市、六日町市、上越市、柏崎市に発生し、それに対する有効な対策は、まだたてられていない（青木、1981）。新編防雪工学ハンドブック（日本建設機械化協会、1988）によれば、雪による障害として、吹雪、吹きだまり、雪崩をあげている。いづれも道路交通と関係が深く、上記のような都市域による雪害に対して、雪崩などの防災対策は、道路や鉄道の関係機関で早くから実施されてきた。

砂防工事の目的が、流域における土砂の生産およびその流域による土砂災害を防止することから、昭和58年の新潟県の砂防計画・設計指針では、主に土砂流下（土石流を含む）と地すべりを取りあげており、雪崩はあつかっていない。しかし、最近では（昭和60年度から）国、地方自治体の砂防事業に雪崩対策が積極的にとりあげられてきている。また、最近のリゾート開発の活発化により、積雪地帯にもスキー場やゴルフ場開発の計画や工事がさかんに行われつつあり、これらの環境影響評価にも積雪地帯の災害問題がとりあげられつつある。（ただし、公式には災害予測は困難としてとりあげられていない。）以上のことから、砂防に関係した積雪地帯の災害として、①雪崩、②融雪出水と雪泥流、③崩壊と土石流、④地すべり（融雪地すべり）をここではとりあげることにする。

2 雪によらない災害

積雪地帯でも非積雪期に災害が発生している。たとえば、昭和41（1966）年8月豪雨によって新潟県北部で発生した8.28災害（水害、崩壊、土石流、死者133名）、昭和49（1974）年の焼山噴火、昭和39（1964）年6月新潟地震（地盤の液化化災害）などで、特に前二者は、砂防に関係の深いものである。豪雨、地震、火山噴火は非積雪期にも発生するが、積雪期間に発生した時の被害は、積雪の存在により非積雪地帯のそれとことなることが予想されるが、現状ではまだ検討が進められていない。また、焼山、妙高火山の周辺には過去の火砕流堆積物が広く分布しているので、九州雲仙岳の例からみても火山砂防の問題として早急にとりあげることが必要である。

IV 積雪地帯での砂防

1 雪崩 (なだれ)

雪崩は山肌に積もった雪が重力の作用によって、目に見える程度の速さで崩落する現象をいう (木下, 1988)。雪崩の動力は、斜面上に働く重力の斜面方向の成分で、支持力(積雪の圧縮, 引張り, セン断の強度や, 凹凸のある地面, 立木など)とのつりあいと破れると雪崩が発生する。雪崩の分類は普通, 表層雪崩と全層雪崩に大別されるが, 日本雪氷学会で, 表-1のような分類名称を昭和40(1965)年に発表している。また, 流れ型雪崩の速さは前面で毎秒30m以下で, ふつうは5~20m以下のものが多い。けむり型雪崩は毎秒20~70mのものが多い。雪崩は衝撃力によって建造物を破壊するなどの災害をおこすが, その大きさは流れ型雪崩で1㎡あたり40トンが観測されている (黒部峡谷)。

次に砂防事業で本格的な対策が実施された新潟県能生町雪崩 (図-2) について紹介する (小林, 1986)。この雪崩は昭和61 (1986) 年1月26日23時頃, 能生町柵口 (ませぐち) 地区の集落を権現岳 (標高1,108m) の中腹付近で発生した大規模な表層雪崩が襲い, 民家11戸が全半壊し, 13名の死者が出る惨事となった。

糸魚川土木事務所 (1988) によれば, 雪崩の概要と対策は次のとおりである。

- (1) 発生位置: 権現岳中腹標高850~900m付近。
- (2) 雪崩の種類: 面発生乾雪表層雪崩。
- (3) 雪崩の規模: 幅200m, 長さ1,800m (発生から被害末端部)。
- (4) 雪崩の量: 全発生量230,000㎡ (うち直接被害を与えた発生量は60,000㎡と推定される)。走行区360,000㎡, 堆積区30,000㎡。
- (5) 被害の状況: 死者13名, 負傷9名, 脱出22名, 全壊住家8棟, 半壊2棟, 一部半壊1棟, 非住家全壊9棟。

昭和61年冬の大雪の特徴は, 1月上旬の後半と下旬に冬型の気圧配置が強まり, 大雪のピークが2度あり, 積雪が短期間に平年の150~200パーセントとなった。そして, 1月15日から20日にかけて気温が上昇し, ザラメ雪層が形成され, その後の雨と寒気でザラメ雪層がアイスバーンとなり, アイスバーン上に積もった新雪 (2m以上) が, アイスバーン状のザラメ雪層をすべり面として一気に崩れ落ちたものである。

雪崩防災設備については, 一般的に, ①雪崩防止設備 (雪崩を発生させない方法), (2)雪崩防護設備 (動いている雪崩から守る方法) などがある。柵口地区の対策工法として, 工事の施行性, 労働安全性, 経済性などを考慮して, ①走行区上部に誘導堤を設け, ヒソノ又沢へ雪崩を誘導し, さらに雪崩を抑止するための谷止工を設置する, ②集落保護のため緩衝林帯 (防止林) を造成し, この緩衝林帯が機能を発揮するまでの対策として, 今回の災害走路上に, 減勢工 (減勢柵など), 防護工 (擁壁など) を計画・施行した (図-2)。

さらに, この地帯は地すべり地帯であるので, 構造物による地すべりを誘発しないよう排水工などの対策を行った。

2 融雪出水と雪泥流

2.1 融雪出水

冬期に積雪として大量に大地に保留されていた雪は, 春先になると融雪水として流出を始め, 下流域に大量の水資源を供給する一方で, 融雪出水 (融雪洪水, 雪代 (ゆきしろ) 洪水) として, 河川の

表-1 なだれの分類 (日本雪氷学会)
 Table 1 Classification of snow avalanches
 (After the Japanese Society of Snow and Ice)

		なだれ発生 の 形		
		点 発 生	面 発 生	
なだれ層の雪質	乾 雪	点 発 生 乾雪表層なだれ	面 発 生 乾雪表層なだれ	面 発 生 乾雪表層なだれ
	湿 雪	点 発 生 湿雪表層なだれ	面 発 生 湿雪表層なだれ	面 発 生 湿雪全層なだれ
		表 層		全 層
		す べ り 面 の 位 置		

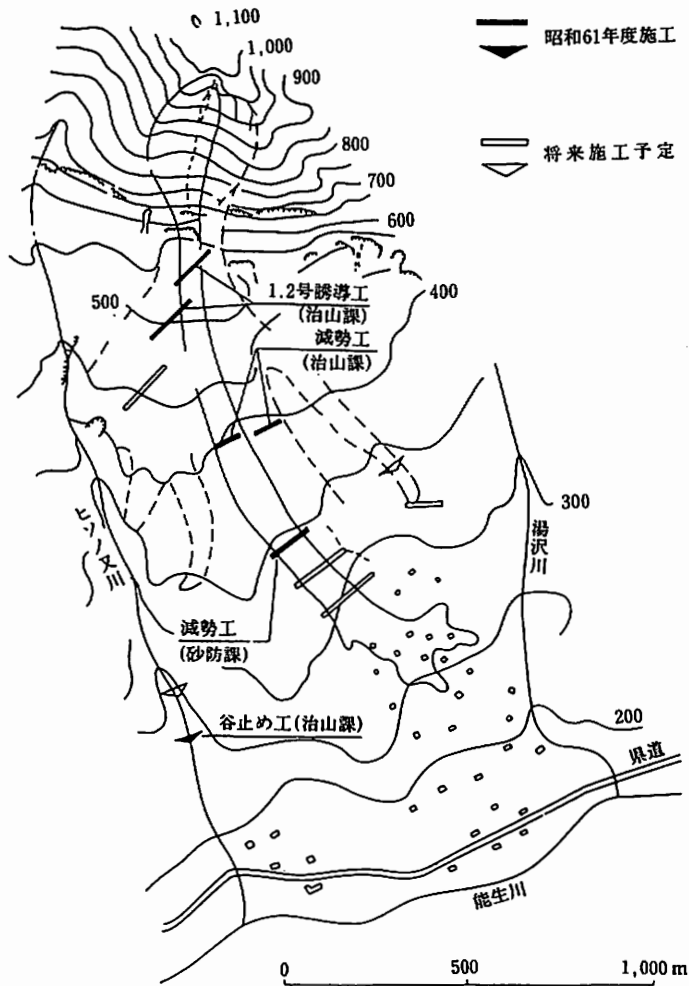


図-2 柵口雪崩対策図 (雪崩対策研究会, 1986)
 Fig.2 Countermeasures against the avalanches at Maseguchi
 (After the Society of Countermeasures against Avalanches, 1986)

工作物や農地に意外と大きな被害を与える。

新潟では、3月から5月にかけて融雪水流出によって河川流量が増大する。信濃川の例を図-3に示した。図には比較的多雪年の1977年少雪年の1972年のものを、小千谷地点と、上流の飯山地点の月平均流量 (m^3/sec) で示してある。1977年の小千谷地点流量は、同2月流量の5倍近くになっている。4月の日流量をみると、 $1,000\text{m}^3/\text{S}$ 以上の日は、17日もあり、4月17日には、 $2,377\text{m}^3/\text{S}$ のピーク流量を示している。

梅雨期の流出量は、新潟県では降雨量が少ないことを反映して、流量、連続日数ともに少ない。梅雨期以外の集中豪雨による流出の場合、ピーク流量は大きくても流出期間ははるかに短い。

融雪出水による被害は、大河川の場合、河川工作物の受ける被害額が、年間の大半を占める年も珍しくはない。これらの被害は、1週間から10日間も高水位が継続するという出水の特徴によっている。

中心河川における出水は、積雪地帯各地でみられ、なかば常習化している。昭和55(1980)年の新潟県の農地被害査定額をみると、地すべり被害14.6億円(56.4%)、豪雨被害2.5億円(10.2%)に対し、融雪水害8.3億円(33.4%)となっている。被害総額が大きいにもかかわらずあまり注目されないのは、発生件数が多いが、個々の被害規模が比較的小さいものが多いためと考えられる(吉田, 1982)。

2.2 雪泥流(スラッシュ・フロー)

平成2(1990)年2月と12月に、長野県と岩手県で融雪による鉄砲水により、各々2人ずつの人命が失われ、いずれも平坦な場所での出来事であった。これは、小林, 和泉, 丸井(1990)によると、雪と水の混合したスラッシュ(slush)流によるものであった。スラッシュ流は、もともとノルウェー、グリーンランド、アラスカなどの亜極帯において、春の雪解け時に積雪や氷河の表面が融解し、雪(氷)片間の付着がなくなって、融雪(氷)水中に浮遊したシャーベット様の雪層が斜面に沿って流下する現象をさしている(安間, 1992)。このような固液混合体で通常の水より大きな粘性を有する液体の流動は、古くから富士山麓において雪代とよばれる洪水流で知られており、単なる融雪にともなう増水ではなく、ある程度降雨を契機として発生する雪解け雪崩(スラッシュ雪崩)と密接な関係があるという。

このようなスラッシュ流を、小林, 和泉, 丸井(1991)は、融雪出水と区別して雪と氷の混合体の流動化現象を雪泥流とよぶことを提唱している。表-2に示したものは、過去の融雪水害とよばれた中で、雪泥流と思われるものを示したものである。過去最大の災害としては、昭和20(1945)年3月22日青森県鯉ヶ沢町大然(おおじかり)の赤石川から、雪ダム欠壊による雪泥洪水により87人の死者をだしたものがある(鶴田, 1988)。

最近では、平成4(1992)年3月1日の黒四-仙人谷ダムで発生した雪塊を混えた鉄砲水災害(死者1人)、同年4月8日長野県浦川支流金山沢源頭部付近の地すべりにともなう土石流(雪塊を混入)などがある。これらの事例からみても、雪泥流の発生には、流路にまとまった量の雪の存在と、流動を起こすだけの十分な水量の供給が必要である。また、雪は自然積雪、吹き溜まり、雪崩などによって、水は急激な融雪、豪雨、雪崩によるダムアップなどでもたらされ、雪と氷の混合体の安定条件が破綻したときに雪泥流が発生する。

雪泥流は、最近認識されたもので、実態がほとんどわかっていないので、これに対する対策は、全くとられてない。

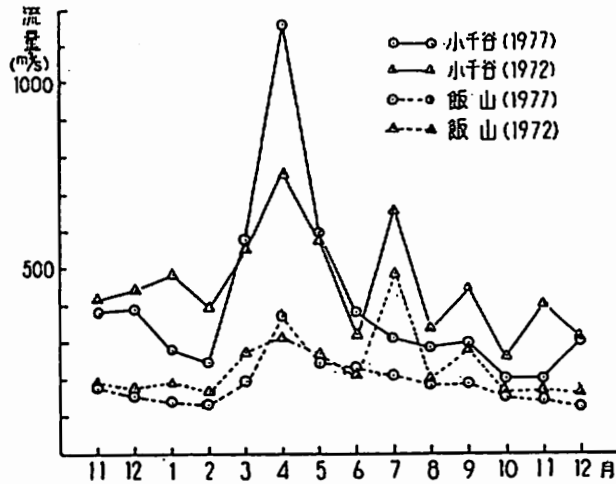


図-3 信濃川の流量(1972, 1977)
Fig.3 Discharge of Shinano River (1972, 1977)

表-2 雪泥の流出による災害
Table 2 Disasters caused by slush avalanches

年月日	場所・河川名	原因	被害
M33.12.13	新潟県犀潟村浩柿浜	吹き溜り(?)	床上浸水十数戸
M33.12.14	新潟県湯之谷村芋川・用水路	雪の堆積	浸水7戸
S 9. 3.19	新潟県高柳町岡野町・大瀧川	雪崩・土砂崩壊	床上浸水
S 9. 3.23	新潟県広神村滝之又・和田川	雪崩	床上浸水
S11. 1.17	福島県会津若松市内・小川	雪捨て・雪の堆積	床上浸水
S20. 3.22	青森県鯉ヶ沢町大然・赤石川	雪土崩壊	流出20戸, 死者87名
S20. 3	新潟県松代町室野・濁川		床上浸水
S45. 1.30	新潟県塩沢町片田・鎌倉沢川		床上13戸, 床下19戸
S55. 1	福島県西会津町・融雪溝	雪詰まり	床上浸水
S56. 3.14	新潟県牧村棚広・飯田川	雪崩・雪捨て 雪の堆積	鉄砲水 死者1名, 重傷1名
S56. 3.15	新潟県松代町田沢他近隣町村で6ヶ所・波海川		床上・床下浸水, 橋流出 国道道通行止
S59. 2.15	新潟県糸魚川市新鉄・奴奈川用水	雪詰まり	床上1戸, 床下3戸 道路交通止
S59. 2.16	新潟県糸魚川市内・下水溝	雪詰まり	床上3戸, 床下28戸 道路交通止
S59. 3.18	新潟県大島村太平・保倉川		床下浸水9戸, 県道通行止
S60. 2.19	新潟県塩沢町吉里・鎌倉沢川	雪崩・雪捨て	床上1戸, 床下2戸 道路交通通行止
S60. 2. 9	新潟県新井市小出雲・片貝川	雪捨て・雪の堆積	床上・床下浸水40戸
S60. 2. 9	新潟県上越市中ノ俣・中ノ俣川	雪捨て・雪の堆積	床上2戸, 床下4戸
S60. 2.10	新潟県新井市猿橋他・長沢川 新井市下濁川・馬場川 妙高村豊華・土路川 板倉町・大熊川	雪捨て・雪の堆積	住宅床上・床下浸水17戸 工場等床上・床下浸水3戸 車5台水没
H 2. 2.11	長野県梅池スキー場・から沢	雪の堆積	鉄砲水 死者2名
H 2.12. 4	岩手県松尾村赤川山林・赤川	吹き溜り(?)	鉄砲水 死者2名

2.3 崩壊と土石流

崩壊とは、斜面に分布する表層物質 (surficial deposits) が崩落する現象をいい、集中豪雨などによって発生することが多く、土石流をともなうことが多い。新潟県下では、昭和42 (1967) 年8月の8.28災害が有名である。別の一例として昭和53 (1978) 年に発生した妙高災害を紹介する (青木ほか, 1979, 青木, 1980)。

同年5月18日午前6時20分頃、新潟県中頸城郡妙高火山 (標高2,445.9m) の外輪山のひとつ赤倉山東斜面 (標高1,600m) で、180,000m²の崩壊が発生した。崩壊土層は、基岩の斜面を滑落し、一部は対岸にのし上がり、主流は白田切川 (南地獄谷) を土石流として約20m/秒の速度で流下し、峡谷部を過ぎて新赤倉地区で直進しつつ氾濫し、下流部の人工堤を越流し、信越線路床堤を越流して、関川に流入した。これが第1次崩壊・土石流である (図-4)。

つづいて、同日の午後1時40分頃、第1次崩壊地のの上流近接部で第2次の25,000m²の土量が崩壊し、その土砂は土石流となって関川に流入した。第1次土石流は、新赤倉地区の集落を襲い、全壊14戸、半壊8戸、死者10名の被害を発生させた。第2次土石流では、調査中の役場職員3名の人命が失われた。

この白田切川流域では、昭和46 (1971) 年12月31日に、今回の崩壊箇所よりもっと上流部の地すべりによる土石流が発生し (死者1名)、昭和に入って数回発生したといわれるが、正確な記録はのっていない。また、北部の大田切川でも、大正3 (1914) 年5月20日に土石流が発生し、川の付近にいた石工3名を死亡させている。

今回の妙高災害の発端となった斜面崩壊については、次のような特徴がみとめられる。

- (1) 1次崩壊面では、基岩 (南地獄谷溶岩流の角礫凝灰岩) 上に崖錐堆積物が、第2次崩壊面では、旧支谷底堆積物が被っていて、両崩壊とともにこれらの表層堆積物が崩壊した (図-5)。
- (2) この付近の地下水は、崩壊斜面上方の凹地の融雪雨水を涵養源とし、旧支谷沿いに流下するものと、1次崩壊面下部の変質基岩の割れ目から湧出するものにわけられるが (図-5)、両者のトリチウム濃度は、現在の雨水のそれと大差がない。
- (3) 崩壊前の状況は、崩壊斜面の中部に昭和44 (1969) 年、幅3.6mの作業用仮設道路 (通称林道) が設けられ、池ノ平、妙高温泉に給湯するための温泉パイプが、70cmの深さに埋設されていた。地すべり研究家の高野秀夫は、林道建設前の昭和27 (1952) 年に、斜面に埋設してあった温泉パイプの破損状況から、この斜面の土塊が地すべり性の動きをしているものと判断し、昭和44 (1969) 年建設省土木研究所発行の地すべり分布図 (縮尺50,000分の1) で、この箇所を現活動地形として図示した。
- (4) 崩壊約1年前の写真 (城北中学黒田一武撮影) では、すでに斜面の崖錐に、崩壊面頭部と一致する位置に亀裂が発生している (図-5)。崩壊前にすでに、上述の温泉パイプを流下する温泉水に異常が認められていることから (池ノ平)、第1次崩壊面の崖錐は、上記の亀裂を境に移動し、地下水の流路をふさいだため、土塊内部の間隙水圧が急激に上昇し、崩壊にいたったと考えられる。
- (5) 崩壊当日の気象条件は、中俣 (1979) によると、融雪が異常に促進し、すくなくとも20mm/日以上融雪水が10数日間供給された。この点からみても、この崩壊は、“融雪崩壊”といえる。

この地域の砂防復旧工事については、新潟県土木部 (1982) に述べてあり、ここでは省略する。

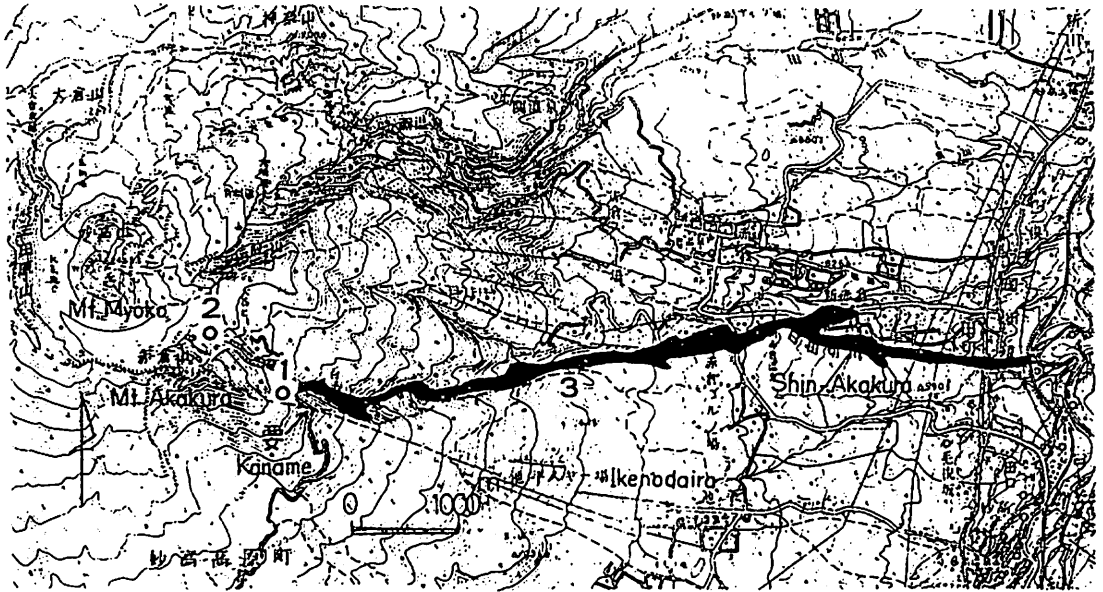


図-4 妙高土石流発生時の崩壊箇所位置図

1 昭和53年5月18日崩壊箇所, 2 昭和46年12月31日崩壊箇所, 3 今回の土石流分布
 Fig.4 Location map of the slope failures (1978, 1971) and the debris flow (1978) at Myoko.

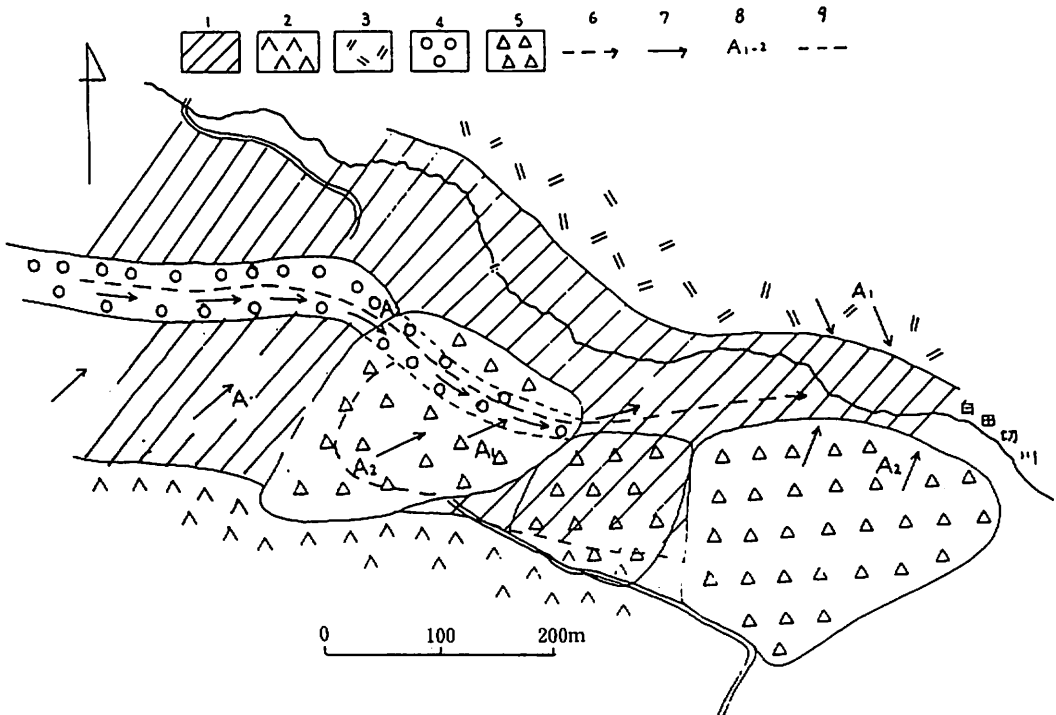


図-5 崩壊前の地質・地下水条件

1 : 南地獄谷溶岩類, 2 : 赤倉山溶岩類, 3 : 大谷泥石流堆積物, 4 : 旧支谷堆積物,
 5 : 崖錐堆積物 (ただし1次崩壊地東側隣接部はきわめて薄い), 6 : 旧支谷,
 7 : 地下水流動方向, 8 : 水質型, 9 : 古亀裂

Fig.5 Geological and hydrogeological conditions before the slope failure (1978).

2.4 地すべり（融雪地すべり）

すべり面を境に、上位の土塊が移動する現象を地すべりという。移動土塊の大半は、過去に移動したものである。

積雪地帯とくに北陸地域は、全国でも有数の地すべり地帯で、毎年のように地すべり災害が発生している。新潟県における月別発生件数をみると、融雪期の3、4月で年間全体の38%と圧倒的に多く、6、7月集中豪雨期が16%、11、12月のみぞれ時期が16%となっている（図-6）。融雪期に集中していることから、この時期の地すべりを融雪地すべりとよんでいる。

融雪水は、冬期間に堆積した積雪の大半から供給されるので、毎冬の最大積雪水量（新潟県十日町市）と3～5月の融雪期に新潟県で発生した地すべり件数との関係を示すと、図-7のようになる。これによれば、最大積雪水量が多くなる程、地すべり発生件数は多くなっている。以下、新潟県下の地すべりの事例について、発生時の融雪状況をのべる（和泉、小林1988）。

(1) 虫亀地すべり

昭和55（1980）年4月9日、新潟県古志郡山古志村虫亀で、幅150～200m、長さ1,500m、面積25万㎡、推定崩積土量120万㎡の地すべりが発生した（藤田ほか、1981）。図-9に昭和55（1980）年3月28日から4月10日までの融雪量、雨量、気温、積雪深の変化を示した。これによると、地すべり発生5日前の4月4日頃から気温が急上昇している。これに応じて融雪量も増加し、6日には雨量25mmと合わせて、65mmにも達した。（なお、融雪量の求め方は、次章でのべる。）

(2) 蓬平地すべり

昭和59（1984）年5月15日、長岡市蓬平町で幅130m、長さ250m、深さ15m、推定崩積土量約50万㎡の地すべりが発生した。図-10によると、地すべり発生の10日前に気温が急上昇し、融雪量も増加している。このあと消雪まで1日50～60mmの融雪水と雨水が継続的に地盤に供給されている。

(3) 玉ノ木地すべり

昭和60（1985）年2月15日、新潟県西頸城郡青海町玉ノ木地区で、推定崩積土量5万㎡の地すべりが発生し、10名が死亡した。この年は、60年豪雪とよばれるように12月から1月にかけて、大雪となったが、2月にはいと気温が上昇し、厳冬期にもかかわらず融雪が進んだ。図-11に示したように、2月1日から15日までの間で、合計290mmの融雪水と雨水が供給された。

以上の3例とも、地すべり発生前には融雪水と雨水が継続的に地盤に供給され、あたかも降雨が継続したと同じようになっており、発生の何日か前に供給量が急増した日があることが共通している。また、玉ノ木地すべりのように、厳冬期でも融雪期と同様、多量の融雪水が供給される場合があることに注意する必要がある。

つぎに、これらの融雪水の供給が、地すべり地内の地下水流動や地すべり発生とどのように結びつくかについて、2、3の観測例から得られた結論を、要約してみる（佐藤、1988；青木、佐藤、1989）。

① 地すべり地内の地下水は、水質の異なる2層の水が存在する（図-8）。

② 浅層水は、電気伝導度（EC）の低い（2.21～2.42ms/cm） SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} を主成分とする塩類濃度の低い水で、深層水は、ECの高い（5.09～5.13ms/cm） Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ を主成分とする塩類濃度の高い水が存在する。

③ 浅層水は、常時、地表に湧出し、流動的な地下水で、深層水は、地すべり発生時に、すべり部分の末端部で流出してくる停滞水である。

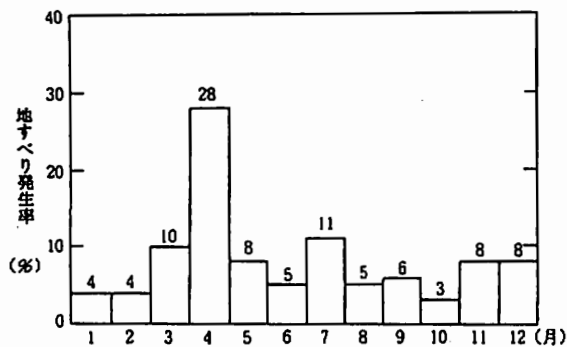


図-6 新潟県における地すべり発生件数の月別頻度
(昭和24年~61年:計3,042件,新潟県砂防課資料による)

Fig.6 Monthly frequency of landslide occurrence in Niigata Prefecture.
(1949~1986/the total number of landslide occurrence : 3,042)
(After the Department of Erosion Control of Niigata Prefecture)

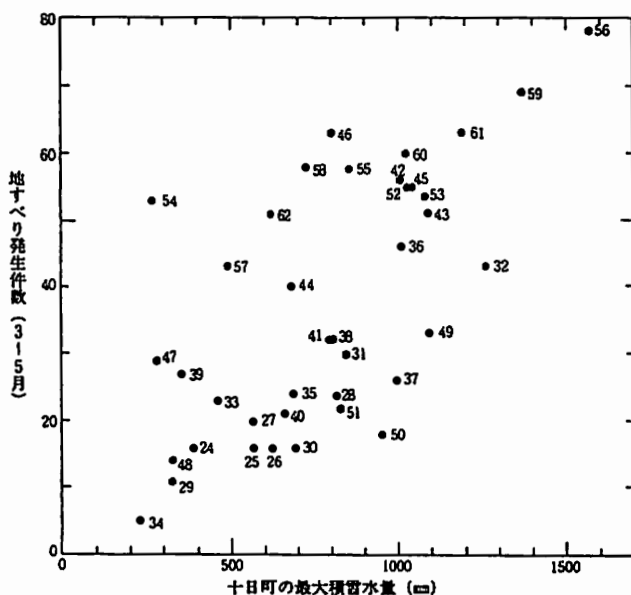


図-7 十日町における最大積雪水量と3~5月における新潟県下の地すべり発生件数の関係 (図中の数字は昭和年を示す)

Fig.7 Relationship between the maximum water equivalent of snow and the number of the landslide occurrence from March to May in Niigata Prefecture.
(The numbers besides dots indicate the year according to Showa era.)

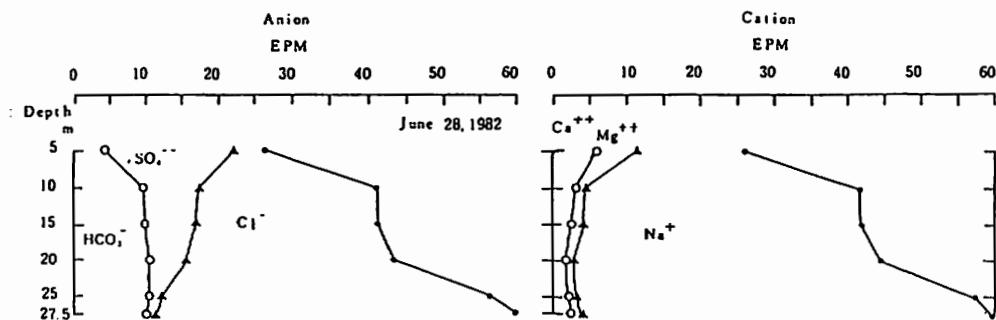


図-8 虫亀地すべり地のボーリング孔内水の水質の垂直変化

Fig.8 Cercical variation of water quality in the bore hole in Mushigame landslide area.

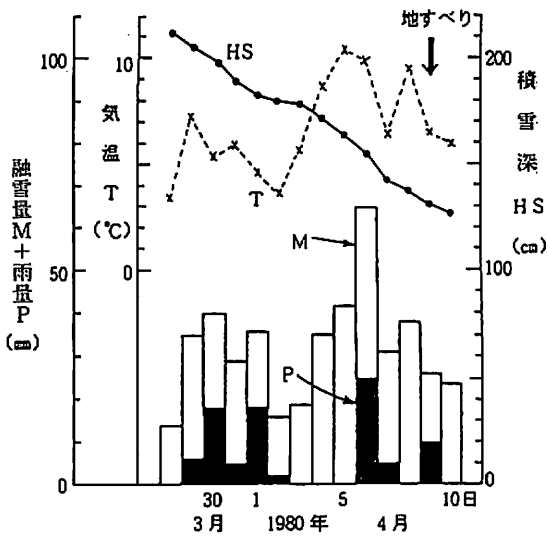


図-9 虫亀地すべり前の融雪・気象状況
(気温、雨量は長岡のAMeDASの値、
積雪深は山古志村役場のデータ)
Fig.9 Snow melting and weather conditions
before the occurrence of Mushigame
landslide.

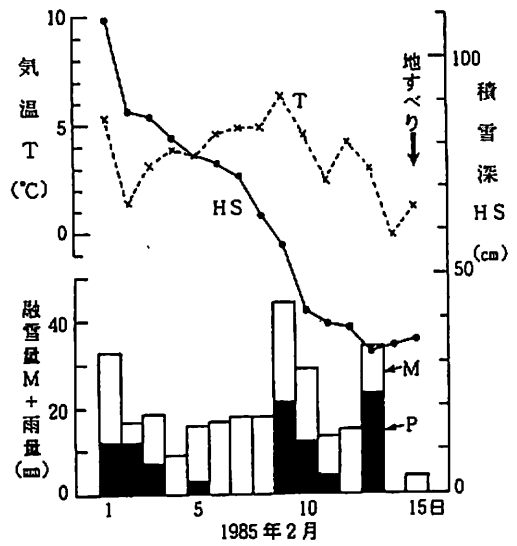


図-11 玉ノ木地すべり前の融雪・気象状況
(気温、雨量、積雪深は泊のAMeDASの値)
Fig.11 Snow melting and weather conditions
before the occurrence of Tamanoki
landslide.

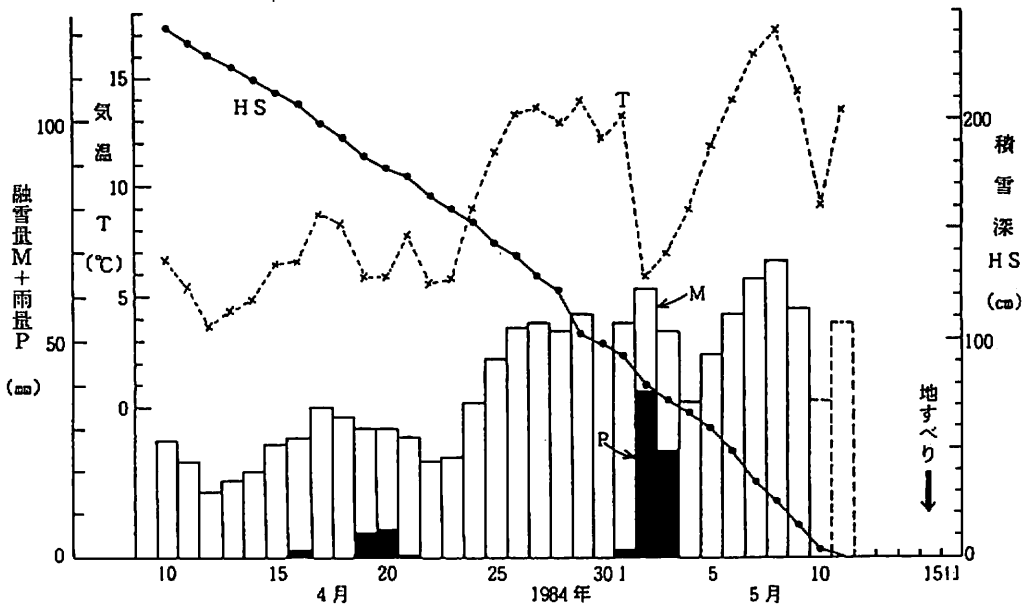


図-10 蓬平地すべり前の融雪・気象状況
(気温、雨量は山古志中学校での観測値、積雪深は山古志村役場のデータ)
Fig.10 Snow melting and weather conditions before the occurrence of
Yomogihira landslide.

- ④ 融雪水は、地すべり地内には、ほとんど浸透せず、融雪期における地下水位の上昇は、深層水の上昇による。
- ⑤ 融雪水の浸透は、滑落崖上方の亀裂を通して行われる。この浸透により裂か水の圧力伝播が発生し、深層水の水圧を高め、すべり面に対して揚圧力が働き、地すべりが発生する。
- ⑥ 地すべり発生によって深層水が排出され、ある期間を経て深層水が貯留されるまで地すべりは発生しない（地すべりの周期性）。この点は、地下水のトリチウム濃度からも推定される。

従来、地すべり発生の機構として、融雪水、雨水の地すべり地内の浸透により、飽和度の上昇とそれによる土のせん断強度低下によるものと考えられ、各種の対策工が実施されてきたが、上記の観点から対策を見直すと、(1)上記深層水の排水（水圧低下）(2)融雪水浸透の場である地すべり地上方斜面の亀裂内排水が検討されることを望みたい。

V 積雪地帯での砂防技術の問題点

積雪地帯での砂防技術は、特に災害の点から非積雪地帯でのそれと比較してみると、最も大きな特徴は、雪との関連である。そして、発生期、発生現象からみると、積雪期（厳冬期）に関したものは雪崩（特に表層雪崩）であり、全層雪崩、融雪出水、雪泥流、崩壊、地すべりは、主として融雪期の融雪現象と深い関係をもっていることが指摘できる。以下、砂防計画に関係の深い問題点について2、3のべてみる。

1 雪崩の予知

雪崩の対策としては、短期的には、情報システムの整備により、雪崩の予知を行うこと、長期的には、危険箇所の選定と、防災計画の策定である。

表層雪崩については、予知はかなりむずかしいという（小林俊一氏談）。その発生予知には気象条件が深く関わりあっているため、それらのデータを集積しなければならない。和泉（小林、和泉、丸井、1991）は、雪崩発生を地震計で観測し、発生前後の気象条件との比較研究をすすめている。全層雪崩は、融雪期に発生するが、発生場所は大体きまっており、被害は比較的少ない。発生予知としては、雪面のクラックの発生などが知られているが、発生危険箇所については、過去の事例、地形、植生などから、ハザード・マップの作成が必要であろう。

2 融雪量の予測

一般的に言えば、積雪地帯では、降水に加えて春のある期間、融雪水という“連続降雨”が大地に供給されるという特徴がある。その量については、電力関係などで、積雪深、気温、積雪分布などから、融雪流出量の予測を行っているが、災害との関連をみる場合には、きわめてラフな方法といえよう。平均的な融雪の状況から短期間の融雪量を求めるには、現場での観測が必要である。ここでは、新潟県古志郡山古志村で、地すべりとの関連で行った昭和57（1982）年からの山古志村における気象観測、積雪調査の結果を要約する（和泉、小林、1988）。

- (1) ここでは最大積雪深が2～4 mで、過去13年間の平均値は321cmである。気温は3月に入ると上昇し始め、融雪は、3月中旬以降に本格的に起こる（図-12）。
- (2) 積雪水量は、3月10日頃に最大1,150mmに達し、その後46日かかって消雪する（図-13）。いいかえれば水量で1,000mmを越える積雪が1日30mm弱、約1ヵ月半かけて消雪するのがこの地区の融雪の平均的な様子といえる。

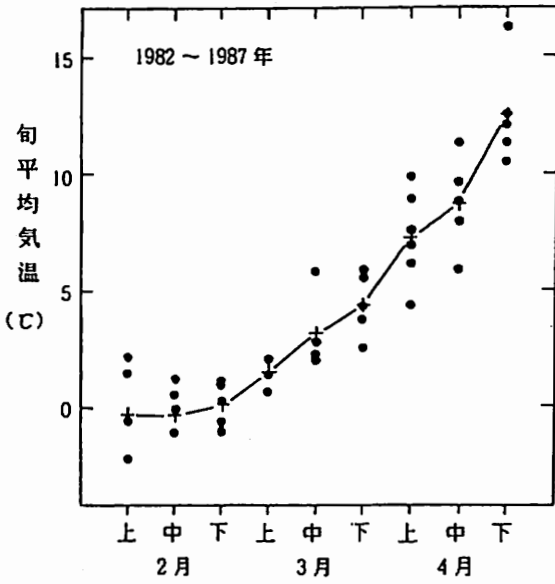


図-12 旬平均気温の季節変化 (山古志中学校)
 (実線と+印は1982~1987年の平均値を示す)
 Fig.12 Seasonal variation the days mean
 temperatures.
 (at Yamakoshi junior high school)
 (The linear and the + symbol indicate
 the mean values from 1982 to 1987.)

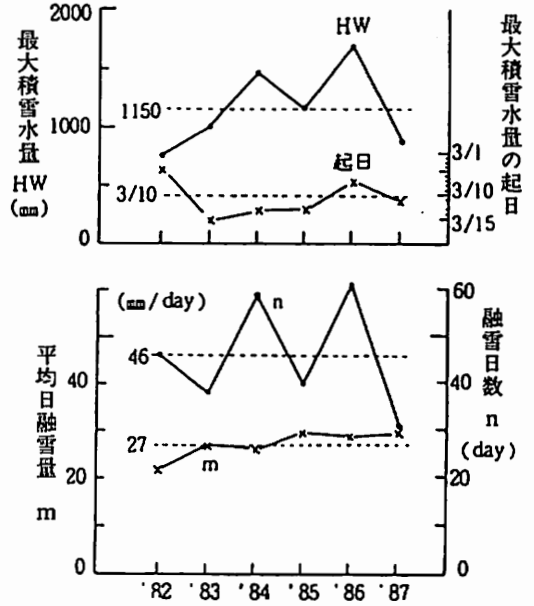


図-13 最大積雪水量と融雪状況の経年変化
 (山古志中学校) (破線は平均値を示す)
 Fig.13 Variation of the maximum water
 equivalent of snow and the snow
 melting for years.
 (at Yamakoshi junior high school)
 (The interrupted lines indicates
 the mean values.)

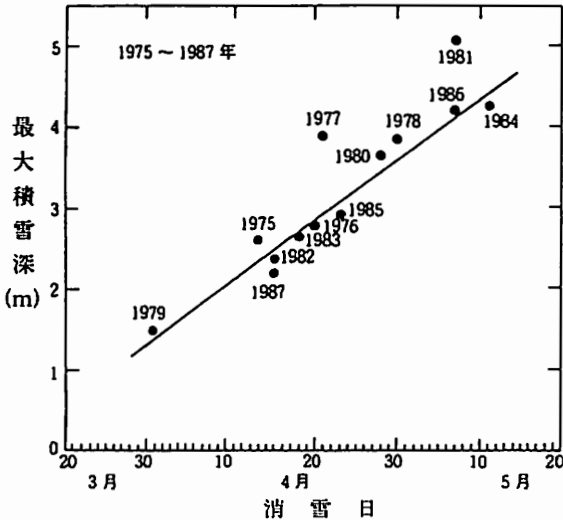


図-14 最大積雪深と消雪日との関係
 (山古志村桂谷)
 Fig.14 Relationship between the maximum
 snow depth and the snow cover
 disappearance date.

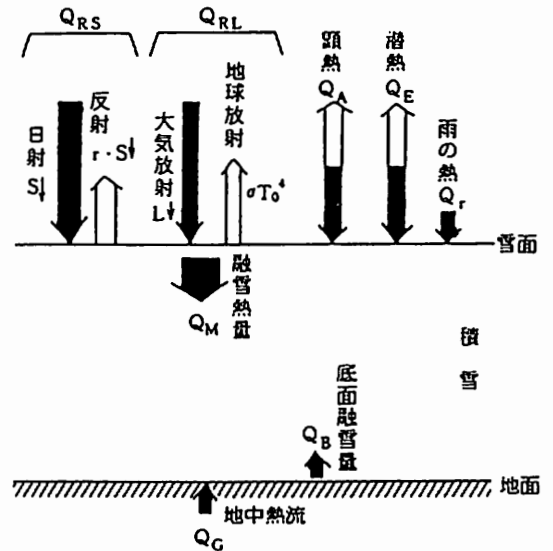


図-15 融雪時の積雪層における熱収支の
 模式図
 Fig.15 Schematic diagram of the heat
 balance in the snow layer at the
 timing of melting.

- (3) 図-14に示したように、最大積雪深が大きくなればなるほど消雪日がおそくなり、豪雪の年程融雪する総量が多い上に、融雪末期の融雪速度が大きくなる(図-13)。
- (4) 融雪量は、積雪層に種々の形で出入りする熱エネルギーを評価することで求められる(模式図を図-15に示す)。しかし、山間地で熱収支法を適用するには、大きな労力と設備が必要である。
- (5) 気象要素の中で気温を指標として、融雪量を求めるdegree・day法が一般に用いられており、この適用を検討した。調査の結果、図-16の原点を通る回帰式は、 $m=4.3T$ と求められ、この地区の融雪量は、融雪係数を4.3 (mm/°C day)として気温から算定されることがわかった。
- (6) 図-15の破線は、大沼(1956)が山形県新庄で、1点鎖線は、小島ほか(1933)が札幌において調べた結果で、同じ温度に対する融雪量が多いのは、融雪に及ぼす日射の影響によるものであろう。
- (7) この結果は、新潟県の似たような山間地(標高200~300m)でも同じ値が得られている。

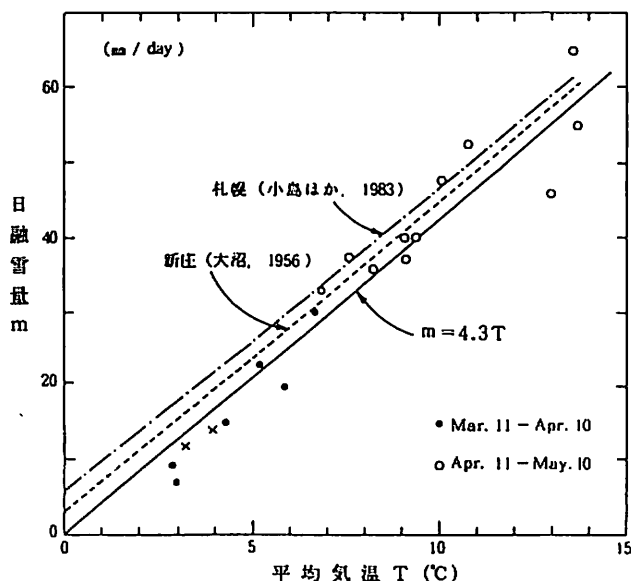


図-16 日融雪量と平均気温との関係
(山古志中学校)

Fig.16 Relationship between daily snow melting and the mean temperature.
(at Yamakoshi junior high school)

VI お わ り に

積雪地帯において多発する災害を防止・軽減するための砂防技術について論述した。積雪地帯における、砂防の対象となる主要な災害として、雪崩、融雪出水と雪泥流、崩壊及び土石流、融雪地すべりを取り上げ、幾つかの事例を考察することによって、それぞれの現象の特性を示した。これらの現象は非常に広い範囲に渡っており、またそれぞれの現象そのものがかなり複雑であり、それらの発生のメカニズムの解明には今後の研究を要するものが多い。特に、雪泥流はこれまでほとんど認識されていなかった、新しい見方であるが、さまざまな規模と形態で積雪地帯の各地で発生していることが分ってきた。雪泥流に関する研究には今後積極的に取り組んでいきたい。

文 献

- 青木 滋・藤田至則・霜鳥重雄・島津光夫・吉村尚久・高浜信行・早川嘉一・北野 康・鈴木幸治(1979) :
1978年5月18日妙高災害(1)―斜面崩壊について, 新潟大災害研研究年報, 1, 1-1.
- 青木 滋(1980) : 観光開発と土石流災害―妙高の例―, 環境情報科学, 9(3), 31-36.
- 青木 滋(1981) : 消雪パイプと地下水, 土と基礎, 29(10), 95-96.
- 青木 滋・佐藤 修(1989) : 融雪期における地すべり地内の地下水の挙動, 地すべり学会新潟支部17回シンポジウム, 「地すべりと地下水について」, 1-8.
- 青山清道・田村伸夫(1991) : 雪―消える地盤, 土と基礎, 39(3), 4-17.
- 新井 正(1980) : 日本の水―その風土の科学―, 三省堂, 1-278.
- 安間 荘(1992) : 富士山におけるスラッシュ(雪解け)なだれの特徴, 日本雪水学会, 雪水分科会レター, 10, 7-12.
- 藤田至則・茅原一也・青木 滋・鈴木幸治(1981) : 新潟県古志郡山古志村における虫亀地すべりの形態とその形成過程, 新潟大災害研研究年報, 3, 1-12.
- 糸魚川土木事務所砂防課(1988) : 柵口雪崩対策事業の概要, 新潟県砂防課資料, 10-26.
- 和泉 薫・小林俊一(1988) : 山古志村地すべり地の融雪, 新潟大災害研研究資料, 3, 47-56.
- 紺野義夫(1985) : 日本海の高底構造と最終氷期以降の海況変化に関する最近の研究, 海と空, 60(2), 105-111.
- 木下誠一(1988) : 雪と水のはなし, 技報堂, 1-261.
- 小林俊一(1986) : 新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究, 文部省科学研究費(No.60020051) 自然災害特別研究発表成果, NoB-60-8, 1-90.
- 小林俊一・和泉 薫・丸井英明(1991) : わが国における雪泥流災害の問題, (田崎篤郎, 災害情報伝達過程の迅速化・正確化に関する研究, 文部省科学研究費(01601016 022-0114)研究成果報告書, 60-64).
- 小島賢治・本山秀明・山田芳則(1983) : 気温等単純な気象要素による融雪予測について, 低温科学, 物理編, 42, 101-110.
- 雪崩対策研究会(1986) : 雪崩とその対策, 全国治水砂防協会, 1-208.
- 中俣三郎(1979) : 妙高土石流発生源に対する積雪面からの考察, 新潟大災害研研究年報, 1, 43-56.
- 日本建設機械化協会(1988) : 新編防雪工学ハンドブック, 森北出版, 1-527.
- 新潟県土木部(1982) : 5.18妙高高原地すべり災害―白田切川土石流災害復旧概要, 新潟県資料.
- 大沼匡之(1956) : 山地積雪に関する研究, 第1集, 農業総合研究所, 4, 1-45.
- 佐藤 修(1988) : 虫亀地すべり地の地下水の水質, 新潟大災害研資料, 3, 73-80.
- 鶴田要一郎(1988) : 岩壁(くら)―昭和20年・大然部落遭難記録―, 青沼社, 1-175.
- 安田喜憲(1980) : 環境考古学事始―日本列島2万年, NHKブックス, 1-270.
- 吉田昭治(1982) : 新潟農業土木の今後の研究課題―積雪地域の農業土木を探る―, 農業土木学会誌, 50, (7), 43-50.