

土質工学における雪と氷

6. 雪と土木工学

なか また さぶ ろう あお やま きよ みち
中 俣 三 郎* 青 山 清 道**

6.1 はじめに

我が国の積雪地帯は国土面積の約50%にあたり、そこに全人口の約18%、2千万人の人達が生活している。土木工学が人間の文化的で豊かな生存空間の回復のための工学的技術として、積雪地帯の人々の生活の安定に寄与することが今こそ求められている時はあるまい。

雪と土木工学とのかかわりあいには、雪氷災害や防雪、除雪、融雪対策、水資源としての活用、冬期施工の問題など非常に多方面にわたっており、限られた紙面にその全容を総括することは難しいので、ここでは雪崩と斜面災害だけを重点的にとりあげた。国際土質工学分類には、S：雪と氷の力学および工学 (Snow and Ice Mechanics and Engineering) の項目があるので、今後、土質工学の分野でもこの方面の研究が一層促進されるであろう。

6.2 雪崩防止技術

6.2.1 雪崩災害と防止施設

雪国の山間部に住む人達や山奥深く建設作業に従事する人達にとって、雪崩は大きな自然の脅威であり、日常の生活面にも多大な支障を与えている。

過去の雪国の災害をみると雪崩による件数が極めて多いことに驚かされる。

1918年新潟県湯沢町三俣で一村埋没し158名の死者を出した雪崩を筆頭として、黒部川電力開発に伴って頻発した幾多の雪崩災害、近くは1981年1月新潟県北魚沼郡守門村の面発生表層雪崩(死者8名)、同郡湯之谷村下折立の全層雪崩(死者6名)など、にみられるように災害による犠牲者も多く、雪氷災害の中でも特異な存在であることが分かる。

したがってその防止対策は雪害対策の中でも重点項目のひとつにあげられていて、またそれだけに種々の防止技術が実施されてきた。

近年、山間地の開発、登山・スキーなどの冬季レクリエーション人口の増加など、新たに未知な地形との出会いが多くなり雪崩との遭遇頻度が増加したためか、今なお雪崩による災害件数が大きな比率を占めている現状にある。

雪崩防止技術(工法)の歴史はかなり古く、石積み、植

林、段などにみられるように雪国の生活では常識と考えられた方法と別に、擁壁、雪崩おおい、雪おおいなど、やや近代的な構造物が設けられるようになったのは、雪国の鉄道開発時期に関連している。したがって奥羽本線、磐越線などの開通に伴い1896~1900年ころ(明治の後半)これらの設置が記録されており、1917~1930年ころ(大正から昭和初期)鉄道沿線の各所で、現在用いている雪崩防止柵、同杭、同階段、同林、雪崩はね、雪崩割りなどの各種工法が既に実施されている。

ただ、このころはコンクリート、枕木、レールを使用したものが多かった。また林野、治山方面も昭和初期、雪崩防止を目的とした止杭、柵、へん柵、擁壁、切取り階段、誘導壁などの施工例、施工計画がみられ、この時代までに我が国の雪崩防止工法はほぼ出そろったものと考えられる。

ただしこれら施設や構造物に対する設計基準は明確でなく、当時雪崩対策の先進技術をもっていたスイス、フランスなどの施工例にならったものとみられる。

したがって工法上重要な雪崩の衝撃力、防止施設に働く雪圧など解明できず、この究明のため1942年ころから国鉄、林試を中心とした各研究者により各種の実験が行われた。その結果、雪崩防止施設に対する雪圧、衝撃力の考え方は著しく進展し、雪圧の分布形態、変動、規模、衝撃力の波形分析などがかなり解明されたが、理論的な根拠を確立するまでには至らなかった。

1962年スイスのR. Haefeli (ヘーフリー) 氏の雪崩防止理論および1966年にこれを基本とした施設の設計マニュアルが導入され、我が国の実験結果を加味して建設省、国鉄、林試、鋼管などの研究グループは1968年、「防雪工学ハンドブック」を刊行し、雪崩防止施設に対する設計指針を与えた。

またこれに先立ち1955年ころから雪崩防止施設について改良、新たな試みが各方面で行われ、雪崩止柵の部材にH型、溝型、角型、ガードレールなど型钢を使用し、つり柵、つり枠、ネット等の新工法も出現した。

特に施設構造の軽量化と防止工法の基準化の方向を目指した時期であった。

スイスから直輸入のマニュアルは我が国の多雪高温地帯の施設に対し必ずしも適用し難い点もかなり含まれていた。約10年余の実施結果から補正して1977年、「新防雪工学ハ

*新潟大学教授 積雪地帯災害研究センター

**新潟大学助教授 積雪地帯災害研究センター

講座

表-6.1 雪崩防止施設の種類と役割

分類	施設	役割
雪崩予防施設	柵, 林	山頂の雪び防止, 斜面の吹だまり防止
	柵, 林, 群杭, 階段, つり棒, つり柵, ネット	グライド防止による斜面積雪の安定化
雪崩防護施設	柵, 林, 雪堤, 杭, アースマウンド	雪崩の運動勢力の減衰 小勢力の雪崩阻止
	スノーシェッド, 洞門, 誘導堤, 誘導柵, 雪崩割り, 溝	雪崩進路の誘導
	擁壁	大勢力の雪崩阻止

ンドブック」を刊行し、現在雪崩防止技術の指導書として技術者の利用に供している。

6.2.2 雪崩防止施設の種類と用途

現在実用に供されている雪崩防止施設をその用途別に分類し表-6.1に示す。

雪崩発生を未然に防ぐ予防施設と、発生後雪崩を直接阻止するか、あるいは運動方向をそらす、または勢力を弱める、それぞれの役割をもつ防護施設に分類できる。

あらかじめ雪崩の発生を想定できる場所に対しては、雪崩から護る対象の種類、防止目的に対応して表-6.1に示す予防・防護いずれかの施設を選択する。

6.2.3 雪崩予防施設

6.2.3.1 予防施設の概要

雪崩の予防施設は柵・群杭・林・階段が最もよく用いられる。特別な例として、地すべり地・崩積土地形に見るように雪崩発生源の土質が軟弱で十分基礎強度を確保できない場所、基礎打込みが困難な急傾斜の岩山など、山頂のアンカーに取りつけたワイヤーロープによって柵や枠組みをつり下げる方式すなわちつり柵・つり棒を用いる。

これら予防施設は斜面に設け、積雪のクリープおよびグライドを阻止して斜面積雪の安定化をはかる目的に使用する。したがって斜面雪圧を考慮した強度設計が必要である。また雪崩の原因がりょう（稜）線に発達した雪び（底）の崩落による場合、りょう線に近い上部斜面に生じた異常吹だまりによる場合は、上述のグライド防止を目的とした施設と異なり、雪び・吹だまり防止機能を主体に考えた柵や林を使用する。これらは山頂またはりょう線付近に設け雪圧よりも吹雪に対する制御機能を主として設計する。目的により吹だまり柵、吹き払え柵など用いる。

6.2.3.2 予防施設の配置

雪崩予防施設は本来雪崩を発生させないことを目的とするから、雪崩発生源に設けることが原則である。

発生源はりょう線近く急斜面が多いため施設の部材・基礎コンクリート原料・工事器材の運搬に困難が伴う。このため発生源を離れて雪崩走路中に、または堆積地となる山ろくに設けがちであるが、この場合衝撃力を受け屈曲、倒壊する例が多く、また最初に発生した雪崩で埋没し、次期発生の雪崩に対し防止機能を果たせないことになる。

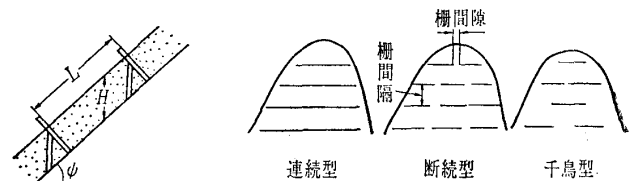


図-6.1 予防柵の配置

予防施設本来の目的は斜面積雪の安定化にあるので、施設の強度は斜面雪圧のみを対象としており、一たん発生した雪崩運動を阻止するだけの強度は考えない。ただし防護施設用に特殊設計した柵・杭などは対象外となる。

イ) 今予防柵の配置例を図-6.1に示す。

柵間隔（傾斜線方向の斜距離）は一般に次式を用いる。

$$L = \frac{2H \cdot \tan \varphi}{\tan \varphi - \mu}$$

L : 柵間隔 (m)

H : 斜面積雪の深さ (鉛直方向) (m)

φ : 斜面傾斜角度

μ : 雪と地表との摩擦係数 (0.5~0.6) (スイス示方書)注1)

隣接する柵間の距離（柵間隙）は2~6(m)を採る。

ロ) 予防杭の配置

群杭を斜面に千鳥型に建植する。杭間隔は斜面上の位置を水平面に投影したとき正三角形を構成するような配置が、これまでの国鉄の施工結果から支配的である。正三角形の一辺は表層・全層雪崩の防止目的に応じて1.5~4mとする。全層雪崩を対象とした場合、40°斜面で杭間隔6mの配置条件で十分効果をあげている実験例もみられる。

ハ) 階段工の配置

階段の間隔は一般に次式で求める。

$$L = \frac{0.5 \times b \times \sigma_s}{W_s \cos \varphi (\sin \varphi - \mu \cos \varphi)}$$

L : 上下階段間の水平距離 (m)

b : 階段の敷幅 = 0.8 $H_{\max}$ (m)

W_s : 斜面積雪重量の最大値 = (0.3~0.35) $\times H_{\max}$ (tf/m²)

σ_s : 階段切取り面 AB 区間の積雪の抗せん力 (tf/m²)

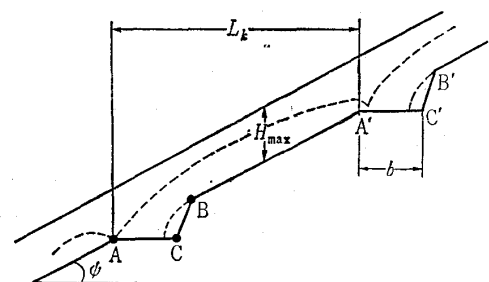


図-6.2 階段工

注1) Lawinenverbau im Anbruchgebiet Richtlinien für den permanenten Stützverbau Herausgegeben durch Eidg. Inspektion für Forstwesen, Bern (1961)

全層雪崩発生時期の雪質を考慮して $\sigma_s = 3 \sim 5$

μ : 積雪と地表との摩擦係数

グライドの大きい斜面を対象として $\mu = 0.2 \sim 0.3$

6.2.3.3 予防施設に対する設計荷重

斜面に設ける予防施設は、斜面積雪のクリープおよびグライド（地上すべり）を阻止することで大きな雪圧を受ける。これを斜面雪圧と称している。予防施設はこの雪圧に耐える構造物でなければならない。

雪崩発生源は一般に大きな立木や凹凸が少なく、すべりやすいすき、かや、笹(ささ)、草などに覆われているか、あおき、うつぎ、つばきその他低木の植生帯が多い。滑らかな岩肌の露出も代表的な発生源であるが、このような場所は斜面積雪のグライド速度が大きい。斜面雪圧はグライド速度に対応するグライド係数に比例して増大する。したがってこの係数値を決定することは積雪深の大きさと同様重要な要素となる。

これまで予防施設に対する設計強度を決める際、スイス国立雪崩研究所が指導したマニュアルに基づくグライド係数値を適用してきた。しかし北陸の湿雪、多雪地帯ではマニュアルの適用値の2倍近い値を筆者らの実測結果から得た。したがって安全を期するためにはマニュアルに基づく強度設計は（係数の適用値は）慎重を期さなければならない。

今、斜面に直角に建てた予防柵に作用する斜面雪圧は次式で求められる。ただし柵の単位長に作用する値とする。

$$S_N = \rho \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (\text{tf/m}) \cdots (1) \text{式: 斜面方向の雪圧}$$

$$S_Q = \frac{a \cdot S_N}{N \cdot \tan \varphi} \quad (\text{tf/m}) \cdots (2) \text{式: 斜面と直角方向の雪圧}$$

ρ : 斜面積雪の平均密度 (t/m^3)

H : 斜面積雪の深さ (m)

K : クリープ係数: $\rho = 0.3 \sim 0.45$ の範囲内で $K = 0.8 \sim 0.9$

N : グライド係数: 斜面地表の粗滑状態で決まる係数

$N = 1 \sim 3.2$ (スイス示方書)

$N = 1 \sim 5$ (中俣)

φ : 斜面の傾斜角度

a : 積雪のポアソン比(ν_c)によって決まる係数、

$a = (1 - 2\nu_c) / 2(1 - \nu_c)$ で示される。

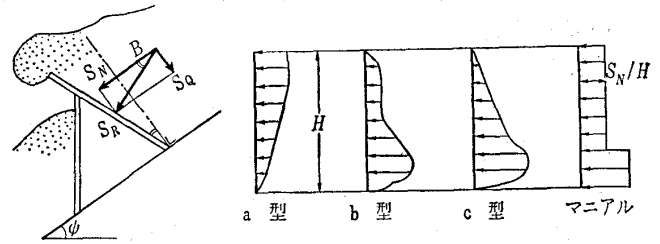
(1), (2)式とも H , ρ は次の条件で適用が異なる。

$H = H_{\max}$ (最大積雪深) を適用したとき $\rho = 0.3 \sim 0.35$ (t/m^3)

$H = (0.7 \sim 0.8) H_{\max}$ (積雪重量の最大時の積雪深) を適用したとき、 $\rho = 0.4 \sim 0.45$ (t/m^3)

積雪の圧縮ポアソン比は斜面雪圧が最大に達するころの雪質条件から $0 \sim 0.35$ 程度が適用され、特に湿雪ではほとんどゼロになる。したがって a は $0.5 \sim 0.23$ と考えてよい。

雪崩発生源は 40° 前後の傾斜が多く、またグライド係数



図—6.3 柵に作用する雪圧とその高さ方向の分布

も2以上のすべり条件を想定しなければならない。これらの条件から $S_Q/S_N = a/N \cdot \tan \varphi \leq 0.3 \sim 0.13$

したがって $S_Q/S_N = \tan \beta$ とおくと $\beta \leq 17 \sim 7^\circ$

すなわち雪崩防止柵に作用する雪圧は図—6.3に示すように S_N , S_Q の合成ベクトル S_R で、斜面方向と β の伏角をもつ。このため柵の建植角度は S_R に直角に建てるのが力学的に有利であるが、北陸の高温多雪地域では図—6.3に示すように上部に堆積した雪が雪び状にはり出し崩落しやすくなる。この崩落が原因で雪崩を誘発した例もあり、 β だけ谷側へ倒して建植することは必ずしも良策とはいえず、むしろ斜面に直角に建植する程度が望ましい。

またグライド速度の大きい斜面では S_N の値は S_Q に比しはるかに大きい。このため斜面方向の雪圧 S_N のみを対象に簡易設計を行う場合も多い。

柵の高さ方向の雪圧分布は図—6.3に示すように a, b, c の各型に分類される。最大雪圧が作用する時期は c 型が多く土圧同様三角型の分布と考えてよい。マニュアルは均一散布荷重 $S_n = S_N/H$ を適用し、特に柵の下部 1/4 区間に付加荷重を考慮することで補正している。積雪が柵の高さを超える場合は別途考慮する。

なお多くの柵は有限長であり、その両端部に辺縁力が作用する。欧米の設計マニュアルはこれらについて詳細な記述がみられるが、筆者らの得た結果から端部に $2 S_N$ が作用するものと見なせば実用的に処理できよう。

6.2.4 雪崩防護施設

6.2.4.1 施設の概要

表—6.1に示したように直接雪崩を受けとめるもの、その勢力を弱めるもの、進路方向をそらすものに分類し、それぞれの役割に応じて各種施設を用いる。雪崩から守る道路、鉄道、建物、送電鉄塔などに近接して設け、雪崩の衝撃力に耐えうる構造物でなければならない。

雪崩の規模が小さい場合、雪崩勢力の減衰するでぶり末端部に設けた場合、これまで掲げた予防施設でも阻止の役割を果たせるが、一般には衝撃力に対応できる堅固な構造物を選定する。その代表例がコンクリート擁壁で、明治後期の古くから鉄道を主体に多く用いられてきた。1960年ころから道路関係を主体に、雪崩の衝撃を回避するスノーシェッドが多用され始めた。それとともに鋼製、PC製、RC製などすぐれた構造材料を使用し、スノーシェッドの近代化が進められた。

講 座

防護施設の代表例として以下、擁壁、スノーシェッドについて述べる。

6.2.4.2 雪崩擁壁

直接雪崩を阻止することを目的とする。したがって衝撃力に耐えうる強度を保有するとともに、雪崩のでぶりを収容する機能をもたなければならない。

堅固なコンクリート製の重量構造物であり、擁壁の前後に堆積用ポケットを設ける。更に天羽に柵を設け雪崩の越流阻止と堆積容量の増大をはかる例も多い。

大規模の雪崩に対しては擁壁を数段配置して防止する。あるいは途中の走路に杭・柵などの減勢工を併せて設ける。

擁壁の強度設計は、まず雪崩衝撃力を設定し、一般の基礎計算と同様、転倒モーメント、滑動、地盤反力などについて安定計算を行う。

6.2.4.3 スノーシェッド

近年特に施設件数が増し雪崩防護の代表的施設となりつつある。擁壁のように直接阻止せず屋根上を滑走して通過させることから、大きな雪崩衝撃荷重を適用しないですむ点、経済的な防護施設といえよう。

鋼製のスノーシェッドは種々の構造形式がとられているが一般に門型ラーメンの内脚部と基礎との取付け部はヒンジ構造とするものが多い。

シェッド屋根と上方斜面の傾斜が一致することが望ましいが、地形条件によりかなり差がある場合が多い。この場合雪崩の静荷重のほかに衝突時の角度を考慮した衝撃荷重を適用する。シェッドの谷側に平地があるとここに雪崩が堆積しシェッドの内部に雪崩が逆流するため、平地部分を切り落とすか、シェッド屋根の軒先をはり出して堆積を防止する。豪雪時はシェッド屋根雪の巻きだれ現象により谷側のシェッド部材を破壊する例、谷側の積雪と連なって沈降力により軒先を破損する例などあり注意を要する。

6.2.4.4 雪崩の速度、衝撃力

雪崩の種類は日本雪氷学会の分類によって6種類の名称があげられるが、これと別に雪崩運動の形態から、煙り型、流れ型の二通りに分けられる。それぞれの型により雪崩の速度が異なり、衝撃力は速度の二乗に比例することからまず速度を決定することが重要な事柄になる。

乾雪表層雪崩などに見られる煙り型雪崩は、微細な雪粒を含んで比重0.002~0.03程度の重い空気の運動と見なされ、雪煙の高さは数十mに達するものもあり、速度は次式で示される。

$$V_s = \sqrt{2g \cdot h_s \cdot \frac{\rho_s}{\rho_a}} \quad (\text{m/s})$$

V_s : 煙り型雪崩の速度 (m/s)

h_s : 自然積雪の深さ。表層雪崩が対象となるので表層の深さをとる。(m)

ρ_s : 表層積雪の密度 (t/m³)

ρ_a : 空気の密度 0.001 (t/m³)

なお運動中の雪崩流の深さ(厚さ)を h_a 、その平均密度を ρ_0 とすると $\rho_0 h_a = \rho_s \cdot h_s$ の関係が成り立つと見なされ、 ρ_0 は 0.002~0.03(t/m³) 程度が採られている。

融雪期の全層雪崩(底雪崩)や湿雪表層雪崩は流れ型に属し水の流れによく似た運動形態を示す。その速度は次式により求める。

$$V_f = \sqrt{\xi \cdot H (\sin \varphi - \mu \cos \varphi)} \quad (\text{m/s})$$

ただし

V_f : 流れ型雪崩の速度 (m/s)

ξ : ≈ 500 (m/s²)

H : 表層雪崩…表層の厚さ (m)

全層雪崩…斜面積雪の深さの約2.6倍 (m)

φ : 斜面の平均傾斜角度

μ : 雪崩流の摩擦係数, $\mu \div \frac{\rho}{2}$ をとる。

ρ : 雪崩流の密度 (t/m³)

雪崩の衝撃力は、速度、雪崩流の密度、受圧面の形状、衝突角度によって決まる。

$$\text{壁面に衝突した場合 } p = \frac{\rho}{g} \cdot A (V \cdot \sin \alpha)^2 \quad (\text{tf})$$

$$\text{柱状体に衝突した場合 } p = \frac{\rho}{g} \cdot A \cdot V^2 \cdot c \quad (\text{tf})$$

ただし

ρ : 雪崩流の密度 (t/m³)

g : 重力の加速度=9.8 (m/s²)

A : 雪崩方向に直角な衝突面積 (m²)

V : 雪崩衝突時の速度 (m/s)

α : 雪崩方向と壁面のなす角度

c : 受圧面の形状による係数, 円柱 0.6~0.1
角柱 1~0.6

柱状体に対する衝撃力の場合、雪崩流中に密度0.5前後の形状の異なる大小の雪塊が含まれていて、この衝突による力は上式を超える値になる。衝突面積が小さい柱でも雪崩流中の大きな雪塊を捕捉した場合、雪塊の大きさに対応した断面積を適用しなければならない。

6.2.4.5 スノーシェッドに適用する荷重

擁壁に対する衝撃力は前記を適用できるが、スノーシェッドの場合適用条件が異なり次の種荷重を考慮しなければならない。

イ) 構造物の自重

ロ) 屋根雪の荷重: 自然積雪の最大値 $H_{\max}$ をとり、屋根上の分布は谷側に比し山側が大きい台形分布をとる。ただし雪崩の堆積地点にシェッドが位置する場合密度0.6t/m³の堆雪荷重を採る。現地の地形、雪崩の規模など考慮して決める。

ハ) 雪崩荷重: 屋根を通過する雪崩の鉛直方向の荷重 P_V と、通過時の摩擦に基づく水平方向の荷重 P_H がある。

$$P_V = \frac{\sigma \cdot H_{\max}}{2} \sqrt[3]{\sin \varphi / \sin \theta} \quad (\text{tf/m}^2)$$

$$P_H = \mu \cdot P_V \quad (\text{tf/m}^2)$$

ただし

ρ : 雪崩流の密度, 全層雪崩の場合 $0.4 \sim 0.45 (\text{t/m}^3)$

φ : 斜面の平均傾斜角度

θ : シェッド屋根の傾斜角度

μ : 雪崩流の動摩擦係数で $\mu \doteq 0.3$

二) 衝撃力: 斜面とシェッド屋根勾配に差があるため屈曲部に衝撃力が作用する。擁壁と同様に取り扱うが次式のように雪崩の種類により定数を考慮する。

$$P = \frac{K \cdot \rho \cdot V^2}{g} \cdot \sin^2(\varphi - \theta) \quad (\text{tf/m}^2)$$

ただし $K=2$ 流れ型, $K=1$ 煙り型

このほか, 地震, 堆積, 落石, 雪崩風なども考慮する。

6.2.5 雪崩に対する現地措置対策

雪崩発生のおそれのある場所で, これまで述べた防止施設がすべて行き届いているわけではない。

発生頻度の少ない場所, 新たな地形, 植栽条件が変更された場所など防止対策も進まない間に, 雪崩の脅威にさらされている例が多い。この場合現地で何らかの処置を講じて災害を防がねばならない。現地処置対策については表—6.3 で示した。現地処置対策は緊急時やむなく採る手段で, その多くは危険な作業を伴いやすい。例えば人工雪崩はその成功率を高めようとする雪崩の自然発生条件に近い時期を選ぶことになり, また火薬装てんのため危険な発生源への立入り作業を要する。雪び処理も山頂での作業で危険性も高い。したがって熟練した特殊技能者に限定される。踏固め, 雪堤づくりなども危険斜面を目前にしての作業であり, その効果がマイナスに現れる場合もありうるので, その運用は慎重を期したい。

6.2.6 雪崩の予知

雪崩予知の各方法について 表—6.2 に示したように気象条件, 積雪構造, 積雪グライドの測定から, 雪崩発生の手がかりを得ようとして各種の試みや計測器が開発中である。しかし信頼性の高い予知法ほど高度の知識, 技術を必要とし, 現段階では普遍性のある予知法はまだ得られていない。

雪崩の種類により発生条件が多様であることにもよるが, 発生点が人の近付きにくい山頂の急斜面であること, 積雪の構造が局地的にかなり異なること, などが一層予知を難しくしている。

グライドによる予知法は気象, 積雪条件を総合した結果から生まれる斜面積雪のすべり速度を測定する。斜面の積雪の動態を直接とらえる点で信頼性が高い。ただしこの方法は全層なだれの検知に限定される。また発生源に対する配置, 所要数, 計測器の改良などに問題を残している。

なお, グライドに基づく現象として, 斜面のクラックと雪しわがみられる。この成長を監視して雪崩を予測する。

表—6.2 雪崩の予知方法

	予知の方法	予知に必要な項目
予知	気象条件から	天気, 気温, 日射, 風向, 風速, 降雪, 降雨, 積雪深などの観測
	斜面積雪の鉛直断面の調査から 斜面積雪のグライド検知から	積雪中の各層の構造, 組織の調査(雪質, 密度, 硬度, 雪温, 含水率, 粒径など) 雪崩発生源のグライド速度の変化測定 雪崩発生源のグライド速度の分布測定(雪崩発生源にグライドメーターを設置) 斜面に発生するクラック(雪割れ)の成長速度の監視 (ヘリコプターによる空中よりのパトロール, または現地巡回) 斜面に発生する雪しわの監視(同上)

表—6.3 現地処置対策

	工法の種類	内 容
現地処置	人工雪崩	火薬により雪崩発生源の斜面積雪または山頂の雪びを爆破し, 人工的に雪崩を発生し事前に処理する。
	雪び処理	雪崩砲を用いて発生源を砲撃し, その衝撃により人工雪崩をじゃっ起し処理(国内ではまだ実施されていない)。 人力により除雪またはワイヤロープを用いて雪び切落し作業を行い, 雪びの自然崩落による雪崩発生を予防する。
	雪堤, 溝の構築	雪壁を作り雪崩のでぶりを阻止する。あるいは溝, 堀などによりでぶりを収容する。
	斜面積雪の踏固め	斜面積雪の不安定の箇所を踏み固める。あるいはクラックを埋める等による安定化をはかる。
	その他	避難ほか

既に実施しているヘリコプターによる空中パトロール, 現地巡回などがこれに相当する。

気象観測による方法は雪崩発生時の気象値を集積して今後の予知に役立たせるもので, 欧米では地域ごとに雪崩警報システムを確立して既に実施中の例もみられる。我が国の場合気象台の担当地域が広く, ミクロな地域の雪崩発生条件は把握し難い。今後気象, 降積雪条件の異なる地域ごとに雪崩予知を目的とした気象観測を実施し, まずその地域ごとに発生時の気象資料を積み重ねることとなろう。この結果から雪崩と気象との相関が得られよう。

積雪断面の測定による方法は, 積雪層中に介在するせん断力の低下した弱層の検出, 積雪底面のざらめ層の強度, 表面融雪水の地表への浸透状況など, 積雪層構造を詳細に調査することで予知する。ただし測定地点と雪崩斜面の地形, 積雪条件は必ずしも一致しないので, 両者の対応をあらかじめ検討する必要がある。

6.3 雪氷と斜面災害

斜面災害の主誘因が雪と氷である場合をとりあげ, 雪については地すべりとの関係を, 氷については凍結—融解作用による斜面崩壊について簡単に述べてみたい。ただ, 素因としての複雑な地盤条件を有する斜面の地質, 土質状態についてはここでは触れない。斜面災害に及ぼす雪氷の影響は定性的には分かっているものの, 定量的な研究はやっと緒についたばかりであり, 今後の研究成果に期待する部分が大きい。

講 座

表—6.4 新潟県の月別地すべり発生件数(1949～1980年集計)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合 計
発生件数	113	118	251	651	127	131	216	124	108	71	156	198	2 264
比率(%)	5	5	11	29	6	6	9	5	5	3	7	9	100

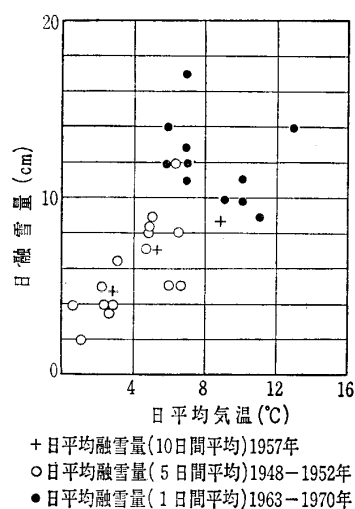
6.3.1 雪と地すべり

日本で地すべりを起こしている所は、約6000箇所であるが、その約70％は第三紀層といわれる地質地帯に分布している。この第三紀層地帯は、ほぼ日本海側の積雪地帯と一致しており、その地すべりが崩壊へと転ずるのはだいたい融雪期である。

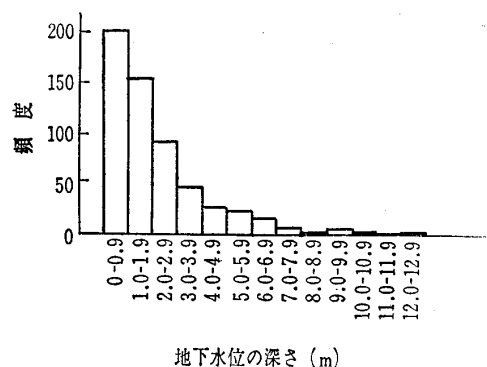
新潟県は、豪雪地帯で、全国でも有数の地すべり多発地帯であり、地すべりの発生した所は約1600箇所、面積にして約5万haにのぼり、数では全国の1/4、面積においても1/5を占めている。したがって、雪と地すべりとの因果関係を検討するに当たって、新潟県を例⁹⁾にとって考察したものは他の地域でも参考になると思われる。

新潟県の月別地すべり発生件数を過去32年間にわたって集計すると表—6.4のようになる。地すべり発生は融雪期に断然多く、3月、4月の発生件数は年間発生件数の40％になっており、ほかには集中豪雨がいった時に多発している。地すべりを引き起こす重要な誘因は融雪や降雨などの浸透作用である。この浸透作用は、浸透水が浸入することにより土や軟岩のせん断抵抗力を減少させること、地下水位あるいは地下水頭を大きく増大させることの二つの働きが認識されている。今後は、融雪によって斜面へ水が浸透していく過程での有効応力の変化を詳細に調べる必要がある。

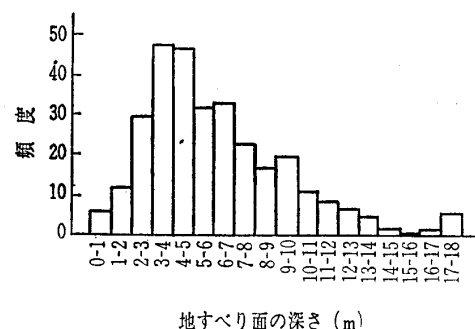
融雪末期における日融雪量と気温との関係を示したものが図—6.4である。中俣の観測によれば、新潟県の融雪は降水量に換算して、約600～700mmの水をほぼ3週間の間に地すべり地に供給している。例年にない異常な融雪水の浸透が引き金になって、不安定土塊が急激に崩壊し、土



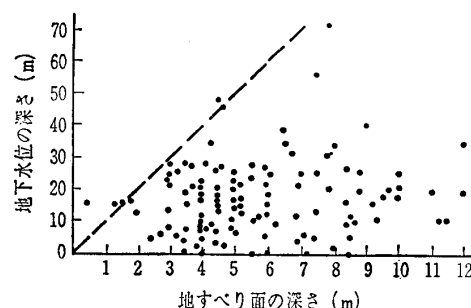
図—6.4 融雪末期における日融雪量と気温の関係
(1948～1970年 新潟県塩沢町)



図—6.5 地下水位の深さ



図—6.6 地すべり面の深さ



図—6.7 地下水位面と地すべり面との関係

石流に転化⁹⁾する場合もある。豪雪による積雪荷重が、地すべりの頭部に偏在すると、斜面に応力集中が起こり、表層のき裂発生の誘因となり、融雪水の地下浸透を助長する。56年豪雪には、積雪の初期に気温の高い日が続き、新潟県では2箇所で大規模な地すべり¹⁰⁾が発生した。積雪深、積雪荷重、融雪継続日数と地すべりとの相関性^{11), 12), 15)}について、定量的に把握するには、原位置での詳しい気象データの集積と、それに基づく入念な解析が要求される。

新潟県下の地すべり地の調査報告書から統計的に処理⁷⁾した、地下水位面、地すべり面の深さの頻度分布を示したものが、図—6.5、図—6.6である。地下水位面は地表面より4m以内の範囲にその大部分があつて、特に、地表面下1m以内である場合が全体の約25％を占めている。また、地すべり面の深さは2～10mの範囲のものが大部分である。

表—6.5 プロクターニードル貫入試験結果

位 置	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2
土の性状・色等	黄土色(ローム)	黄土色(ローム)	灰 黒 色	黄 土 色	黄 土 色	灰黒色(ローム)
1978年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	33.7	33.4	274.2	21.3	25.3	227.0
1979年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	8.0	8.4	—	—	—	—
位 置	B-3	B-4	C-1	C-1	C-2	D-1
土の性状・色等	層の境界部	黄 土 色	灰 黒 色	黄 土 色	火 山 灰	黄土色(礫混じり)
1978年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	18.3	64.7	54.8	37.3	63.3	261.5
1979年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	—	15.2	25.7	20.8	18.8	95.6
位 置	D-2	a	b	c	d	e
土の性状・色等	黄土色(礫混じり)	黄 土 色	黄 土 色	黒 色	黄 土 色	黄 土 色
1978年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	194.0	45.7	18.6	9.7	52.7	185.6
1979年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	10.6	12.2	4.9	3.5	2.0	22.5
位 置	f	g	h	i	j	
土の性状・色等	黄 土 色	黄 土 色	黄 土 色	赤 色	赤 色	
1978年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	149.0	70.3	7.0	205.3	255.9	
1979年 秋の貫入抵抗 kgf/cm ²	8.4	7.6	7.0	26.0	113.9	

これらのことより、新潟県下の地すべりは比較的浅い部分、いわゆる表層部に発生していることが分かる。また、地下水位面が浅いことは地すべりの発生を容易にしている要因ともいえる。

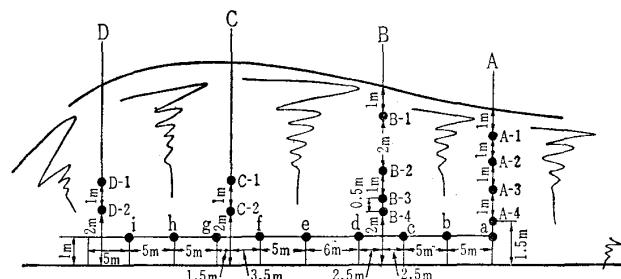
地下水位面と地すべり面との関係は図—6.7 のようになり、地すべり面はほとんど地下水位以下に存在しているといえる。しかし、ここに示した地下水位面は、ボーリング調査時の孔内水位面であることと、ボーリング調査を実施した時期が地すべり時と一致しているかどうかは不明であるので、季節に関係なく地すべり面が地下水位面より深い位置にあるとはいえない。地すべりの発生件数が融雪期、集中豪雨時に多いこと、地すべり地の土に給水させてせん断試験を実施すると給水させない場合に比べて、せん断強さが低下する⁸⁾ことを考えると、図—6.7 の関係には疑問が生じることになる。したがって、今後は特に、地すべり地域において、融雪時における融雪量、水位および間隙水圧変化¹⁶⁾と地すべりの移動との関係を関連させて観測しなければならないといえる。

6.3.2 凍結—融解による斜面崩壊

寒冷地や山岳地帯での土地造成や道路の建設に伴い、山地の斜面を切り取りすることが多くなってきている。過去に凍結—融解の履歴を受けていない層まで斜面の切り取りが行われると、この切り取り斜面が、凍結—融解作用の繰返しを受けて強度劣化^{13),14)}を起こし、崩壊することがある。

凍結—融解による斜面崩壊の機構を解明するために、長野県蓼科高原の標高1400m 付近において、秋期に凍結深以下の厚さまで斜面を切り取り、凍結—融解の履歴の全くないと思われる部分を露出させた後、各種の土質実験を行った。この切り取り斜面を1年間放置し、凍結—融解の履歴を受けさせた後、前回と同様な方法で比較実験を行った。

プロクターニードル貫入試験で土のせん断抵抗力を求めた位置図とその試験結果の一例を示したものが図—6.8、



図—6.8 プロクターニードル貫入試験測定位置図

表—6.5 である。この結果をみても、凍結—融解作用に伴う実験地の切り取り斜面の強度低下は顕著である。特徴的なことは、表層すなわち深度0~20cmの範囲で強度劣化が著しいことである。凍害を受ける切り取り斜面の崩壊という難問を解決するために、技術的に経済性まで含めた防止対策をたてる上で、土質工学と雪氷工学の連携¹⁹⁾が将来果たす役割は大きい。

参 考 文 献

- 1) 日本積雪連合編：日本の雪害史，1981。
- 2) 日本建設機械化協会編：新防雪工学ハンドブック，森北出版，1977。
- 3) 中俣三郎：雪崩の予知，新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報，第2号，pp. 81-98，1980。
- 4) 中俣三郎：雪崩と予防対策，土と基礎，Vol. 29, No. 10, pp. 97-98，1981。
- 5) 中俣三郎：斜面雪圧，鉄道技術研究所報告，No. 322，1962。
- 6) 青山清道・小川正二・神立秀明・福本安正：新潟県の地すべり地における土の性質，地すべり，Vol. 3, No. 2, pp. 27-33，1976。
- 7) 小川正二・青山清道：地すべり地の土の土質試験法の問題点，土と基礎，Vol. 26, No. 6, pp. 51-56，1978。
- 8) K. Aoyama・S. Ogawa・M. Fukuda: Characteristics of Soils of Landslide Areas in Niigata Prefecture, International Symposium on Landslides (ISL 1980), Proceedings Vol. 1, pp. 129-138，1980。
- 9) 中俣三郎：妙高土石流発生源に対する積雪面からの考察，新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報，第1号，pp. 43-56，1979。

講座

- 10) 藤田至則・青木 滋・小川正二：昭和55・56年豪雪による新潟県下の地すべり災害，文部省科学研究費，No. 502016，昭和55・56年豪雪によるなだれ，地すべり災害及び交通障害の調査研究，pp. 81-85，1981.
- 11) 中峠哲郎他5名：昭和55・56年豪雪による北陸地方での雪崩災害と融雪地すべり災害，文部省科学研究費，No. 502016，昭和55・56年豪雪によるなだれ，地すべり災害及び交通障害の調査研究，pp. 58-80，1981.
- 12) 中村浩之・白石吉信：雪の地すべりに与える影響について，地すべり，Vol. 10，No. 1，pp. 6-16，1982.
- 13) 青山清道・小川正二・川澄 脩・田村富雄・福田 誠：凍結-融解を受けた土の性質，土と基礎，Vol. 25，No. 7，pp. 41-46，1977.
- 14) 青山清道：凍害と防止対策に関する文献目録，土と基礎，Vol. 29，No. 2，pp. 59-63，1981.
- 15) 中俣三郎・青山清道・和泉 薫：地すべり地域における融雪過程の検討，第1回自然災害科学学会学術講演会，1982.
- 16) 小川正二・池田俊雄・青山清道：地すべり地での間ゲキ水圧及び排水量の測定，土木学会第35回年次学術講演会講演概要集，1980.
- 17) 青山清道・小川正二・川澄 脩・福田 誠：凍結-融解を受けた切り斜面の安定性，第15回土質工学研究発表会発表講演集，1980.
- 18) 青山清道・中俣三郎・小川正二・川澄 脩・福田 誠・裕基：凍害を受ける切り斜面の崩壊に関する土質工学的考察，昭和56年度日本雪氷学会秋季大会講演予稿集，1981.
- 19) 青山清道・古賀泰之：地域別に見る世界の土質関係基準とその運用-カナダ-，土と基礎，Vol. 30，No. 6，pp. 41-44，1982.

(原稿受理 1982. 2. 2)

国際ニュース

国際会議のお知らせ

1. ロックボルトについての国際シンポジウム

名称：International Symposium on Rock Bolting

場所：スウェーデン，ラプラント

期 日：1983年8月28日～9月2日

主 催：ISRM のスウェーデン国内グループ

テーマ：ロックボルトの理論，ロックボルト，ロックケーブルの設計基準，鉱山や建設でのロックボルトの補強効果

論文：応募者は1983年2月28日までに最大500語のアブストラクトを下記に送付のこと
Rock Bolting Symposium
Conference Secretariat
University of Luleå
S-951 87 Luleå, Sweden

2. 第5回国際境界要素法会議

名称：5th International Seminar on Boundary Element Methods

主 催：International Society for Computational Methods in Engineering

テーマ：(1)計算法および数学的原理 (2)線形／非線形構造力学 (3)流体問題 (4)移動現象 (5)地盤力学 (6)電磁場 (7)境界要素法と有限要素法の併用 (8)確率の問題 (9)応用問題 (10)その他

期 日：1983年11月8日～11日

場所：広島工業大学広島校舎（広島平和公園 南200m）

論文募集：1983年2月1日までに300語以内のアブストラクトを会議事務局長に提出

問合せ先：Dr. C.A. Brebbia，
（会議事務局長） University of Southampton

Southampton S095NH，
England

国内問合せ先：〒738 広島県佐伯郡五日市町三宅

広島工業大学土木工学科 二神種弘

3. 第4回オーストラリア・ニュージーランド地盤力学会議

名称：4th Australia-New Zealand Conference on Geomechanics

場所：オーストラリア，パース（Perth）

期 日：1984年5月14日～18日

主 催：オーストラリア地盤力学学会

テーマ：地盤力学の各分野での理論と実際との相互関連について

論文：200～300語のシノプシス（目的，内容，結論を含む）を1983年2月28日までに送付，宛先は
The Conference Manager
Fourth A.N.Z. Geomechanics Conference
The Institution of Engineers, Australia
11 National Circuit
Barton, ACT2600, Australia

4. ISRM シンポジウム，地下空洞の設計と実挙動

名称：ISRM Symposium Design and Performance of Underground Excavation

場所：英国，ケンブリッジ大学

期 日：1984年9月3日～6日

主 催：国際岩の力学学会（ISRM）

テーマ：設計（解析手法，パラメーター決定法），施工（掘削工法，支保工），実挙動（モニターと事後解析，ケーススタディー）

論文募集については，次のプレティンに掲載予定