斜面積雪グライドの新測定法

山田 穰*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

On a New Method for Snow Gliding Measurement — Gear-Type Glide-Meter —

By

Yutaka Yamada

Institute of Snow and Ice Studies, National Research Center for Disaster Prevention, Nagaoka, Niigata-ken 940

Abstract

Snow glidings have been chiefly measured for the purpose of the design of snow fence for protection from avalanches. The method used for this purpose is as follows: Before the snowfall a glide shoe or wood ball is set up on a sloping ground as a fixed mark at a given place. When the snow falls and the snow layer is formed, and when the snow gliding occurs, the mark moves with the snow layer and then snow gliding rate can be detected by measuring the displcement of the glide shoe or wood ball. The principle of this method can be called fixed-to-snow method. This method which was previously developed is sometimes very useful, but it has some unescapable defects. For an example, if gliding snow sluffs take place on the measurement slope in early winter, the glide shoe should be let flow downwards by them, and the measurement would be stopped.

The present author developed a new type of glide-meter, which is named gear-type glide-meter, getting rid of the above-mentioned defect and other ones. The measuring principle of the gear-type glide-meter differs from that of the fixed-to-snow method. The former may be called the fixed-to-ground method, because the meter always keeps its position at the fixed site on the measurement slope during the observation time. The amount of snow gliding is converted into the angle of the gear rotation. The amount of gliding(u) is expressed as a function of the angle of the gear rotation $(\theta): u=r\theta$, where r is a coefficient proportional to the diameter of the pitch circle of the gear.

Observations of snow gliding using this glide-meter of new type have been successfully done on two different experimental slopes and an actual cut slope sided by national highway for snow gliding study. The accuracy of this meter was sufficient for the application to field measurements of gliding phenomena. The gear-type glide-meter can be considered to be the most suitable equipment for measuring snow gliding and should contribute to forecasting of avalanches occurring both on a specific slope and in wide regions.

* 第1研究室

1. まえがき

斜面積雪の運動はクリープとグライドに分けられる.クリープは,積雪層内の積雪粒子の 相対的変位(内部歪み)であり, グライドは積雪層の斜面下方への緩やかな滑りによる対地 移動(変位)である.グライドの滑動面は積雪底面である.

なだれ防止柵に作用する雪圧理論(Haefeli の式)で、斜面積雪の グライドはグライド係 数として大きく寄与をしている.このような観点からグライド測定はこれまでになだれ防止 柵の設計という実用的・工学的な要請により、スイスをはじめ、わが国では特に東北・北陸 地方で数多く行われてきた.これらの測定では橇(あるいは木球)を利用した対雪固定法に よるグライドメーターが主として用いられてきた.

中村・山田ら(1972)は、斜面積雪の挙動の指標の一つとしてグライド現象を重視し、グ ライド現象の量的推移によるなだれ発生予知方法の開発を目的として数年前からグライド測 定を行っている.なだれ発生斜面におけるグライド測定を最初に行なったのは、おそらく勝 谷(1943)である.勝谷は、1937/38冬期に新潟県十日町の試験斜面において、なだれ発生 に至るまでのグライドを観測した.その後なだれ発生予知を目的としたグライド測定例は少 なく、10年程前にスイスで in der Gand *et al.*(1966)が、最近では北海道で秋田谷(1974、 1975)が報告しているに限られる.これはスイスや東北・北海道地方のような寒冷地ではグ ライド現象が関連する全層なだれによる災害が、表層なだれによる災害に比べて少ないため であろう.しかし、北陸地方のように全層なだれが多発する地域では、グライド現象はなだ れ発生の先駆現象として重要である.

対雪固定法の欠点は、根雪になる前の初冬の積雪時に発生する小規模ななだれによってグ ライド量検知橇が流されることがあり、以後測定が不能または中断される場合が生じること である.対雪固定法のこのような欠点を改善するために、筆者は新しい方法に基づき、なだ れ発生斜面においても連続測定が可能な歯車型グライドメーターを開発し、これによる測定 を行なった.この報告では歯車型グライドメーターの測定原理・構造、観測・測定例とこれ らに基づく精度および誤差要因について述べる.最近、既設防止柵の倒壊がしばしば起って おり、防雪柵設計の見直しの必要性が高まっている(柏村ら、1973;石川ら、1976).この目 的のためにも歯車型グライドメーターは有用であろう.歯車型グライドメーターによるなだ れ予知の可能性および効果的な観測方法については別報で検討する予定である.

2. 測定方法

2.1 斜面積雪グライドの測定

これまでのグライド測定の原理は積雪底面に固定点を設け、グライドを実測する方法であ る.最初のグライド測定は、次のような方法で行なわれた.斜面積雪をスノーサンプラーで

くりぬき,地面に短い杭などを打ち込んだ後にオガクズを充填する. グライドが生じるとオ ガクズは積雪と同じ移動をするので,積雪にピットを掘り基準点である杭から接地積雪層の 固定点であるオガクズの距離を測るとこれがこの間のグライド量となる. なお,積雪中のオ ガクズの移動からクリープ量が同時に測定できる. これ以後現在まで,グライド測定に多用 されている方式は橇式グライドメーターである. この方法では降雪前に斜面上のある地点に 置かれた橇 (glide shoe),あるいは木球 (in der Gand *et al.*,前掲;中俣,1962) は雪が積 ると積雪下に埋没され,接地積雪層の特定点の目印となる. この目印は,グライド現象が起 ると斜面積雪とともに下方に移動する. グライドによる橇などの移動量は,実際の測定では これらに取付けられた鋼線の繰出量を直読あるいは電気的変換して自記記録される.

この原理による測定方法を,斜面積雪接地層の実質に着目し検知器を積雪中に固定して行 うという意味で, グライド測定の対雪固定法と呼ぶことにする.

対雪固定法では,斜面の地表状態・植生の種類によっては,目印として用いる橇あるいは 木球が,地表面との摩擦や斜面雪圧の鉛直成分により地面へ食い込むことがある.このため 測定誤差を生じたり,測定が中断されることが中俣(前掲)によって指摘されている.冬期 間融雪が少なく地面が軟弱にならない北海道の笹の生えている斜面では,橇の地面への食い 込みはないという報告(秋田谷,1974)もある.柏村ら(1973)は,ローラー形の移動子を 用いて上に述べた欠陥を取除く工夫を試みている.高橋ら(1971)は,地面への食い込みを 防ぐため木球を地面から浮かす方法を用いた.この方法では積雪のクリーブ現象によっても 作動し誤差を生じる.しかし,食い込みが生じないように斜面に敷設した山型鋼の上を橇が 移動するようにして行ったグライド測定と比較して,この誤差は少ないという結果を得てい る.山田ほか(1972)はガイドレール(山型鋼)と橇を組合せた方法によりグライドを測定 し,地下観測室の観測窓を利用する方法との比較を行いガイドレール方式の測定が良好であ ることを見出した.

積雪表層でのクリーブ量がグライド量に比べて無視しうる程小さく,かつグライド速度が 十分に大きい場合には,積雪表面に目標を設け,この目標の移動をセオドライトなどの測量 機器で測量することも可能であろう.柏村ら(前掲)は,これに類似の方法を実際に試みて いる.グライド現象の結果生じるクラックを目印として用いることもできるが,この方法は 一種の対雪固定法に属する.また,渡辺ら(1976)は,積雪の多い山岳地域における一冬期 間のグライド量の積算値を測定するための簡便な対雪固定法を開発している.

対雪固定法はグライド現象の観測にとって一つの有効な方法であるが,測定されるグライ ド量は検知器である橇などが積雪に固定されているため,グライドの進行に伴って測定点が 斜面上で移動すると考えるべきものである.一地点を通過するグライド量の測定はこの対雪 固定法ではできない.このため対雪固定法では,次のような場合には測定困難となるかまっ たく不可能となる.

国立防災科学技術センター研究報告 第18号 1977年11月

- (1) 斜面の地表が凹凸が激しく, または小樹林などの障害が多い場合
- (2) 勾配の大きな斜面で、降雪毎になだれが発生するような地形の場合
- (3) 斜面の下部が崖であるか,人工的に縁切りされている階段工などの場合

なお,斜面上一地点でのグライド測定は,斜面のグライド分布ならびにグライド現象によ る斜面積雪の歪みの測定・解析の一つの本質的方法と考えられる点では重要である.した がって,斜面上の一地点でグライドの測定を連続的に行なうためには対雪固定法とは異なる 原理による測定法を用いなければならない.この目的に合致した一つの測定法は,グライド の生じる斜面にいくつかの観測窓を備えた地下観測室を設け,これによって,観測窓面上を 通過する積雪層底面の移動を直接に測定することである.この方法は,Nakamura and Yamada (1967)により雪害実験研究所構内の斜面積雪観測施設で実際に行われている.こ の方法の原理を斜面上の固定された場所に検知器をおき,積雪の移動の測定を行うという意 味でグライド測定の対地固定法と呼ぶことにする.

観測窓により直接積雪層底面でのグライドを実測する方法は,斜面上の雪を乱さずに直接 測定を行なうことができるので測定精度は高いが,斜面下に観測室を設ける必要があり,観 測は限られる.

2.2 歯車型グライドメーターの測定原理と構造

2.2.1 測定原理

歯車型グライドメーターの測定原理は対地固定法であり、測定は次のように行われる. 斜



図1 歯車型グライドメーターの測定原理 Fig.1 Principle of the gear-type glide-meter

- 88 --

面上の測定地点に、図1に示したように直径数十 cm の一種の平歯車をその車軸が斜面の最 大傾斜線に垂直,かつ斜面に平行になるように設置する.この時歯車の歯元から上を地上に 露出させておく.積雪後にグライドが生じると,積雪中に埋没した歯車はグライドによって 回転する.もしグライド量が歯車の回転角と1対1の対応をしていれば,歯車の回転角を測 定することによりグライド量を間接的に求めることができる.

斜面積雪がグライドすると歯車が回転し接地積 雪層には歯形が刻まれる.このようにして斜面積 雪の接地層には歯形が刻まれ,同時にグライド メーターの歯車とかみ合いながら下方へ移動す る.したがって,斜面積雪のグライド量は歯車の 回転角に比例し,歯車が一回転した時のグライド 量は,このピッチ円の円周に等しい.いま,歯車 の回転角を θ (rad),そして歯車のピッチ円の半 径を r (cm)とすると,グライド量 u (cm)は次 式で示される.

 $u = 2\pi r(\theta/2\pi) = r\theta \tag{1}$

2.2.2 測定装置

試作された歯車型グライドメーターの歯車の歯 形は写真1に示されているようにいずれも三角歯 形であり、歯数はすべて16個である.この三角 歯形のピッチ円は、通常機械に用いられるサイク ロイド歯形やインボリュート歯形のピッチ円が歯 先円と歯元円の中間に位置するのと異なり、歯先 円と一致する.三角歯形を採用した理由は、製作 の容易さと積雪中へ歯の食い込みをたやすくする





写真 1 実験に用いた歯車型グライド メーター (G-1 タイプ) Photo 1 Gear-type glide-meter (G-1 type).

表1 歯車型グライドメーターの主要諸元

Table 1	Main dimensions of the gear-type glide-meters.	As a result of experiment,
	the size as large as type G-4 is sufficient for field	measurements

│ 諸 元	歯		車 Gear			回転計	Counter
型 Type	歯 元 円 Root Circle (mmø)	歯の高さ Height (mm)	歯先円 Addendum Circle (mmø)	円周ピッチ Circular Pitch (mm)	歯の巾 Length (mm)	発信数 Numbers of Signals (Pulse/Rotation)	グライド量 Amount of Gliding (mm/Pulse)
G-1	300	100	500	98	150	600	2.6
G-2	300	100	500	98	50	600	2.6
G-3	300	62	424	83	150	120	2.2
G-4	300	62	424	83	50	120	2.2

ためである.

実験に用いた歯車型グライドメーターの主要諸元を表1に示す。歯車の歯元円の半径を 150 mm とし、歯の高さは 62 mm と 100 mm の 2 種類,そして歯の巾は 50 mm と 150 mm の 2 種類を採用した。これらの歯の巾と高さ 2 種ずつを組み合わせて計4台 (G-1~ G-4)を製作した。G-1とG-2の円周ピッチは 98.2 mm であり,G-3とG-4では 83.3 mm である。円周ビッチとは相隣れる 2 個の歯の相応点間の距離をピッチ円の湾曲にそって計っ た長さである。歯車の回転角の測定には、パルス出力の光電式回転計を車軸に直結し、この 出力を一週間巻きの自記電接計数器で記録した。なお、回転計の接合部を蜜ろうで密閉した 上でボリエチレンの袋で包み、回転軸にはグリースを塗り防水処置とした。また歯車部分は 構造上開口部にせざるを得ないので、ケース下部に水抜きのためのホースを取り付けた。

3. 測定結果

斜面積雪のグライド量観測は図 2に示した新潟県内の3地点で行 なった.それぞれの地点での観測 の主目的は以下に示すとおりであ る.

- (a) 雪害実験研究所構内実験斜
 面(位置 37°25' N, 138°53' E;
 標高 97 m): 歯車型 グライド
 メーターの基礎的実験
- (b) 国道17号道路法面,新潟県 北魚沼郡川口町(位置 37°15′
 N, 138°53′E; 標高 100 m): 法面形状と積雪の挙動に関す る観測
- (c) 農林省林業試験場十日町試 験地(位置 37°08' N, 138°46'
 E; 標高 200 m): 多雪地での 長期連続測定

3.1 雪害実験研究所実験斜面 での観測

実験斜面は勾配 30°,斜面長・ 巾とも 22 m の造成斜面であり,



図 2 観測地点 (●: 長岡, ▲: 川口, ■: 十日町) Fig. 2 Locations of the observation places in Niigataken (●: Institute of Snow and Ice Studies at Nagaoka; ▲: Kawaguchi; ■: Tokamachi)

<u>- 90</u> -



図 3 観測所面においる圏車型シライドメーターと説例念の配置 Fig. 3 Artificial experimental slope at the rear of the Institute, and arrangement of the glide-meters and the windows in the tunnel-type room on the slope (G-1 and G-2: Gear-type glide-meters; Window Nos. 1—4)

地表はかやでしきつめられてある.この斜面中央に最大傾斜方向に沿って歯車型グライド メーター2台を配置した.1台(表1のG-1タイプ)を斜面上端から斜面にそって5.1m 下方に,他の1台(G-2タイプ)を同じく10.75mの位置に設置した.さらに,これと同時 に地下観測室を利用しNo.3窓(斜面中央から右端側へ4.8m,上端から9.5m)で直接測 定を行った.(図3)以下では,G-1タイプ,G-2タイプの設置地点をそれぞれG-1地点, G-2地点と呼び,No.3窓設置地点をNo.3窓地点と呼ぶことにする.最初の測定は1974 年1月25日から2月6日までの12日間にわたって行われた.1月25日の観測開始以前に 生じた斜面上の積雪は除雪し,整地した上で25日以降の降雪による積雪層のグライド量の 測定を行った.この時,先に斜面に積った雪は斜面下方に再堆積されたので,この場合斜面 の実長は16mである.

得られた結果を図4に示す.降雪は1月25日に始まり2月2日には85 cm に達した.構 内の気象観測露場で観測された気温(4時,12時,20時)は、測定期間の前半では0°C以 下であり、その後0°C以上となり、2月4日以降はプラスの気温であった.G-1地点では、 翌日の26日にグライドの発生が確認され29日には日グライド量が20 cm を越えグライド 現象が活発になった.2月2日正午頃、G-1地点の約4.5m上方でクラックを生じた.図 3に、クラックの成長速度を写真から求め、クラック巾(最大傾斜方向の)の時間変化で示 した.クラック上面の移動はクラック下面に較べて少なく、クラック発生時から2月6日の 測定終了時までに約30 cm であり、クラックの成長速度はクラック下面のグライド速度と 考えてよい.クラック上面の移動が非常に小さいことは、勝谷(前掲)のグライド連定から も読み取れる.クラック成長速度の推移は、クラックの下方に設置されたG-1地点のグラ イドの推移とほとんど同じである.また、クラック発生直後からグライド速度は急増し、同 日24時頃までの12時間のG-1地点でのグライド量は約1mに達した.この間の平均グラ



Fig. 4 The results of snow gliding observation on the artificial experimental slope (25 January 1974—6 Februry 1974). Note the close agreement between the accumulated gliding at the measurement point G-2 and that at the window No. 3. Note also a similar tendency in the accumulated gliding at the measurement point G-1 and in the width of the crack

イド速度は 1.4 mm/min (この値を仮りに一日当りに換算すると 2 m/day となる) に相当 する.中村・山田ら (1972) は、同じこの実験斜面で橇式グライドメーターによりなだれ発 生に至るまでのグライドを自記記録し、なだれ発生の数分ないし数時間前にグライド速度が 急増することを見出した.この観測事実から、グライドの急増する速度限界が 1.4 mm/ min であり、この限界速度をなだれ発生臨界速度と呼んだ.これらの観測とグライド量に おけるなだれ発生臨界速度の存在により、特定斜面のなだれ発生の短期予知の可能性が指摘 された.ただし、気象・積雪条件によっては、なだれ発生臨界速度を越え数十 mm/min のグ ライド速度に達してもなだれは発生せず以後グライド速度が減少し、斜面積雪が安定する場 合もある.上述の実験斜面の観測では、なだれ発生臨界速度に達しているが、なだれは発生し なかった.これは、この場合の斜面末端の特殊条件により斜面積雪の圧縮領域における破壊 が起り難かったためであろう.G-2 地点および No.3 窓地点におけるこの期間のグライド 測定値の推移の概観は、G-1 地点と同様である.しかし、グライド量はこれよりも小さく、 測定終了の2月6日9時までに G-1 地点における積算グライド量は 5.5 m、G-2 地点にお けるそれは 2.8 m, また観測窓 によるそれは約 3.4 m であり, この時, G-1 地点上方のクラッ ク巾は 3.85 m であった(写真 2,図 5).

グライドメーター G-1 の値 が G-2 の値より大きいのはそ れぞれのグライドメーターの斜 面上の位置の違いによる結果で ある. 斜面上, ほぼ同一高度に あるグライドメーター G-2 と 地下観測窓 No.3 との測定値 を比較するとグライドの推移は 全期間を通じてほぼ同一であ る. これらの観測結果から歯車 型グライドメーターによる斜面 積雪のグライド現象の測定は正 確に行なわれていたことがわか る. たお、地下観測室の窓を利 用する方法との直接比較の結果 については第4章で述べる.以 上のような観測結果から次のよ うな事実が新たに指摘される.

すなわち, クラック発生前には





生(1974年2月6日) Photo 2 Snow gliding and the formation of a crack on the artificial experimental slope (6 February 1974).

歯車型グライドメーターによる測定値が大きく,クラック発生後には観測窓による測定値が 大きいことである.この違いの原因は,同一高度での斜面側方方向のグライド分布が一様で ないこと,およびその時間変動を考えることによって説明できるであろう.そして,この時 間変動の機構は McClung (1974) が述べているように,圧縮域ではグライドによる斜面積 雪の最大傾斜方向の圧密硬化が生じ,そのため粘性係数が増加することによって一定応力下 でグライド速度が減少するので,これによって説明できる.山田 (1972) は斜面積雪の密度 分布からグライド分布を求め,それが実測とかなり合うことを確めたが,その理由は時間変 動の機構によって説明される.

測定終了後の2月6日にグライドメーター設置地点の積雪を,観測ピット面が最大傾斜方 向に平行にかつ鉛直になるように掘り, グライドメーター G-1の歯車付近の接地積雪層の 国立防災科学技術センター研究報告 第18号 1977年11月



写真 3 測定中の斜面積雪断面 Photo 3 Profile of sloping snow cover above the glide-meter during the measurement. Note that observed gear shape coincides with the theoretical profile.



写真 4 圧縮域における雪襞の形成 **Photo 4** Formation of the snow folding under the pressure zone.

状態を観察した(写真3).積雪の接地層に刻まれているラック状の歯形は,あきらかにグ ライド現象によってグライドメーターの歯車が回転して形成されたことを示している.この ラック歯形は,歯車が回転した時の歯先と歯元を結ぶ直線群の包絡線の一部で表わされるが (付録参照),写真3にはこの包絡線を書き入れてある.グライドメーターの歯車(ピニオン) に近く,したがって形成されてまもない積雪に刻まれた歯形は,歯形理論から予想される包 絡線と一致している(白抜矢印で示されている数値98 cm は歯の厚さである).しかし,グ ライドメーター下方の積雪に刻まれている歯形は理論歯形と形は似ているが歯の厚さが薄く なっており,包絡線とのずれが見られる.このずれはグライドメーターによる測定後に斜面 積雪の歪みにより斜面方向に圧縮されて生じたものであり,写真4は測定付近が圧縮領域で あったために生じた雪ひだを示している.なお,図5には,2月6日のグライドメータによ る測定終了後に観測された斜面積雪(積雪中層のC層)の密度分布を示した.また図5には 歯車型グライドメーターによって測定記録された積算グライド量と接地積雪層に刻まれた歯 形の長さを示してある.たとえば,グライドメーターG-1の場合には積算グライド量は5.5 mであり,歯形の長さは4.4mである.この例で,歯形の長さ4.4mは,G-1地点に橇式



図 5 グライドメーターの測定値 (g1, g2) と積雪に刻まれた歯形の長さ (g1', g2') との比較ならびに斜面積雪の密度分布

Fig. 5 Comparison of the recorded amounts of gliding $(g_1, and g_2)$ and the lengths of gear teeth $(g_2', and g_2')$ cut in the bottom snow layer, and the density distribution in a middle layer of the snow cover on the slope グライドメーターを設置した場合の積算グライド量に等しい.もし, 斜面上のこの領域が中 立域であるなら,あるいは積雪が剛体的移動をするとしたら,歯形の長さは,歯車型グライ ドメーターによって測定された積算グライド量に等しくなるはずであるが,この場合には積 算グライド量の方が大きい.これは斜面積雪がこの部分で圧縮を受けていると考えることに より説明される.

以上の観測結果から歯車型グライドメーターの測定原理は斜面積雪のグライド測定に適合 していると結論されよう.

3.2 道路法面積雪のグライド観測

観測法面の断面構造を図6に,無積雪および 積雪時の法面情景を写真5に示す.法面は南東 向きで,下部の擁壁工と上部の切土面の二つの 部分からなっている.法面の下部は勾配59° (土木工学の表示では1:0.6)のブロック積工と コンクリート吹付け工が2段に施工され,上部 法面は下部方面と1.5mの平坦面を介して切 拡げ型の階段工が施されている.下部方面では 冬期間スラフ (Sluff)が発生するが,一度に生 じる崩落の規模は小さく交通障害はほとんど生 じない.しかし,上部法面では過去にかなりの 規模の積雪が接地面から崩落し,交通障害を引



き起した例もある. 付録になだれ用語について筆者の二・三の見解をのべた. この法面の形 状と積雪の挙動との関係をグライド量によって観測し,法面工法の改良に役立てるため,上 部法面 (写真5の矢印で示す)に歯車型グライドメーター1台 (G-2 タイプ)を設置し,1975/ 76 (第一冬期),1976/77 (第二冬期)の二冬期間にわたって観測・測定を行った. 斜面の植生 は、測定第一冬期にはかやを刈払った状態に、第二冬期にはかやを残した状態にされた.

観測結果は図7に示した.第一冬期には12月25日の測定開始後,1月4日までに約130 cmのグライドを記録して同日までに斜面上の雪はいったん融雪し,1月5日夜半からの降 雪により再び斜面上に雪が積った.以後この雪は根雪となったが,人工的な除雪により2月 3日に測定が中断されるまで継続された.また,第二冬期は前年の51・1豪雪以上の豪雪で あり12月23日の測定開始以後2回の法面除雪が1月7日,1月26日に行なわれたが(除 雪後も数十 cmの積雪が斜面上に残されている),3月5日の消雪日まで検知器の再セット・ 調整を行なうことなく連続測定され,この間のグライド記録が得られた.これらの結果によ り,対地固定法による歯車型グライドメーターの利点である斜面上一地点での連続測定性が 確められた.なお,第一冬期の測定中断は法面除雪によるものである.また,写真6の(2)





— 98 —

に示すように、この法面のグライドメーター設置地点はかなり凹凸があるが、このための測 定の支障はなかった.

この法面のメーター設置地点における計測期間中の積算 グライド量は第一冬期には 4.1 m,第二冬期には 4.7 m でありその グライド量の大半は1月下旬までに現われている.こ の法面では,降雪初期に積雪深が数十 cm になるまでの数日間に約1 m のグライドを記録 し,その後1日から数日間グライド現象が起っていないが,これは歯車が完全に積雪中に埋 没するまでの過渡的な積雪状態によるものと推定される.この現象は第一冬期に二度にわ

たって顕著に現われているが,第二冬期では明 らかでない.その後グライド速度 50 cm/day 位から徐々に減速し.1月下旬には数 cm/day の速度になっている.グライド速度が比較的小 さくなる時期には,気温特に最低気温の昇降に 対応したグライド速度の増減が認められる.高 橋ら (1971)の観測結果によると,グライド速 度 2 cm/day 以下の安定積雪層斜面では,グラ



(2)



(1)

写真 6 十日町試験斜面におけるグライドメーターの配置

(1) 試驗斜面

(2) 歯車型グライドメーターと橇式グライドメーター

Photo 6 Arrangements of the glide-meters on the test slope at Tokamachi

(1) View of the test slope (Arrow showing the location of the geartype glide-meter).

(2) Gear-type glide-neter and the glide shoe with a guide rail.



- 図8 十日町試験斜面での測定結果(橇式グライドメーターによるグライド測定および 積雪の深さは農林省林業試験場十日町試験地の資料による)
 (1) 1974/75 冬期
 (2) 1975/76 冬期
- Fig. 8 The results of snow gliding observation on the test slope at Tokamachi

(1) In the winter season of 1974/1975

(2) In the winter season of 1975/1976

The data of the shoe-type glide-meter are also plotted (the data obtained by the Government Forest Experiment Station). It is noted that the accumulated gliding value measured by the gear-type glide-meter is smaller than that measured by the shoe-type glide-meter in both the winter seasons mentioned above. This reason can be explained by the locations of the two different types of glide-meters and a tention zone around the glide-meters.

イド速度は一冬期を通じてほとんど変らず,一冬期間の積雪 グライド 量は約1m以下である.これに対して勾配 45°の斜面では,一冬期間のグライドの変動が大きく積算 グライド量は4m に達する場合がある.高橋らの観測結果に基づく基準によると グライドの変動と積 算 グライド量からみてもこの法面は積雪層に対して不安定な斜面といえる.

3.3 十日町試験斜面での観測

この試験斜面は北東向き斜面で、勾配 40° 斜面長 40 m の造成斜面であり、地表状態は裸 地である.林業試験場では、この試験斜面においてなだれ防止柵の設計強度に関する観測を 行っている.試験柵は斜面上端から 19 m に位置し、この柵の上方と柵の端から側方 6.5 m の位置に二列の対雪固定式すなわち橇式グライドメーターを用いて最大傾斜方向に沿って、 斜面のグライド量の測定を行っている(写真 6). G-3 タイプのグライドメーター1 台を斜 面上端から 5 m の位置に配置された橇式グライドメーターから側方 1.5 m の位置に設置し、 1974/75、1975/76 および 1976/77 の 3 冬期にわたって測定を行った.ただし、1976/77 冬 期には1月上旬に計器の絶縁不良のため以後の記録は得られなかった。

1974/75 冬期から二冬期間の歯車型グライドメーターと上に述べた橇式グライドメーター による測定結果を図8に示す.二冬期とも歯車型によるグライド記録は,初冬の1月に一定 の値を示し,以後融雪期までグライド速度の変化はなかった.融雪後歯車を手で強制的に回 転させると計器は作動し,回転に相当する信号が得られたので,これは計器の故障によるも のではない.1974/75 冬期(以後この冬期を第一冬期,1975/76 冬期を第二冬期と呼ぶこと にする)におけるこの斜面のグライド現象の歯車型による測定では,根雪から6日後の12 月11日にグライドが始まり,12月16日から22日にかけて急激な動きが見られる.以後1 月10日まで12 cm にの積算グライド量を示した.これに対して,橇式では測定開始後平均 日グライド量 0.7 cm のほぼ一様なグライド速度を示し3月上旬の測定終了までに 60 cm の グライドを示している.第二冬期では,歯車型の測定では,第一冬期に見られた初期の動き は顕著でなく,2月上旬までに30 cm 弱のグライドしか起きていない.橇式グライドメー ターでは平均日グライド量 2 cm で3月上旬までに約160 cm のグライドを示している.

融雪期に入ってからグライドメーター設置地点を掘り,斜面の最大傾斜の方向を含む積雪 の鉛直断面で積雪層の状態を観測した.第一冬期の積雪断面(写真7の(1))を見ると,歯車 上面の最下層の積雪が部分的に融けて消滅し,積雪層全層が地面方向へたわんでいる.そし て,積雪に刻まれた歯形は部分的に融け,残された歯形もグライドメーターの歯車に密着し ていない.第二冬期の積雪断面(写真7の(2))でも歯車上面の積雪層のたわみが見られ,積 雪に刻まれた歯形が欠落している.また,歯車の中心から斜面の下方約90 cmの接地層で のクラックの発生が注目される.クラックの存在は,斜面積雪がこの領域で伸張状態にあっ たことを示している.図9には第二冬期の積雪断面を示した.積雪層は全層ざらめ化し,下 層の粒径は約3 mm と粗大化している.また,図9にはクラックの上層(積雪深35~50 cm



- **写真 7** 融雪時の歯車型グライドメー ター付近の積雪断面 (1) 1975年3月中旬 a: 積雪 層のたわみと接地積雪層の融 雪による消滅 b: 積雪に刻ま れた歯形の状態 (2) 1976年3月10日 a: 積雪 に刻まれた歯形の状態 b: ク ラックの発生
- Photo 7 Profile of sloping snow cover above the glide-meter
 (1) In the winter season of 1974/1975 (In mid March). Note the melting of the bottom layer and the existence of curvature of the whole snow cover above the glidemeter.

(2) In the winter season of 1975/1976 (10 March). Note the exsistence of a crack beneath the glide-meter.



-102 -



図 9 融雪時の積雪断面図(十日町, 1976年3月10日)

Fig. 9 Profile of physical properties of the sloping snow cover (Tokamachi test slope, 10 March 1976). Note the existence of a crack which is located at the lower side of the gear-type glide-meter. Note also a negative peak of snow hardness measured by Canadian gauge above the crack.

の層)のカナディアン・ゲージによる積雪硬度の測定値がプロットされている.積雪硬度は クラック直上で鋭い極小値を示しているが,これはこの領域が伸張域であったことの結果で あると考えられる.クラック発生時の前後では,一般にクラックより上方でのグライド量は クラック下方でのグライド量より小さい.一方,対地固定式グライドメーターでは同一地点 でグライドを測定し,対雪固定式ではグライドに伴い測定地点が下方に移動することから, この斜面での測定で最初同一高度に設置された両測器がグライドの進行によって図9に示さ れるクラックをはさんだ地点でのグライド現象を測定していたことになる.すなわち,歯車 型ではクラック上方の,橇式ではクラック下方の位置でグライド測定がなされていたのであ る.この二つの事情により,橇式による測定では冬期間を通じてグライドを示し(図8)歯 車型ではクラック発生前後(この時期はこの場合確定できないが)よりグライドが停止した 観測結果が説明できる.第一冬期には,観測断面内ではクラックは見られなかったが,積雪 層のたわみの存在からグライドメーター設置地点はこの時も伸張領域であったと考えられ る.なお,第一,二冬期ともグライドメーター下方の積雪接地層にはラック状歯形は刻まれ ておらず,少なくとも観測時前数日間には顕著なグライド現象がなかったことが裏付けられ る. グライドメーター上面での積雪層のたわみおよび接地層の消失は,この地点が伸張領域で あることと接地面での融雪により説明される.すなわち,積雪層が伸張することにより積雪 の網目組織は疎になり,その結果もたらされる粘性係数の減少のため歪みの鉛直成分が増大 し,たわみが生じるのである.このたわみは,表面融雪による融雪水の浸透がたわみ部分で 吸収されてざらめ化が促進され,見かけ上さらに大きくなる.この現象を説明しうる別な機 構は,網目組織の粗化に伴い積雪の変態特に融解変態が最初に進み,伸張領域での圧密が卓 越するためにたわみが生じるものである.いずれの機構によるとしても,たわみの発生は伸







写真 8 歯車型グライドメーターと観測 窓による直接測定との比較測定 装置

(1) 斜面上から

- (2) 地下観測室内部から
- Photo 8 Experimental setup of simultaneous measurement with the gear-type glide-meter and the method using a window and a 16-mm movie.
 - (1) From outdoors.
 - (2) From inside the window.

張領域に起因すると考えられる. また, 接地層 の消失は積雪層の伸び歪みによる密度の減少に より周囲の積雪層に比べ地熱による融雪が卓越 するためである.

4. 測定精度および誤差要因

前章の観測結果により歯車型グライドメー ターによるグライドの測定が可能であることが 明らかとなった、本章では、この測器の測定精 度について検討する.

4.1 観測窓による実験斜面での グライドの 直接測定との比較

斜面上のグライド分布は,先に述べた観測結 果からも明らかなように,一般に斜面の最大傾 斜方向で異なるのはもとより,場所によっては これに垂直な横断方向でも異なることがある. したがって,観測斜面上で二つの異った方法で グライドの比較測定を行う場合,二つの測器を 可能な限り同一地点に置く必要がある.実験斜 面でのグライドメーターによる測定と基準測定 である観測窓からの直接観測との比較は,観測 窓 (No.4 窓)内に両者を併設して観測した (写真8).比較測定は地下観測室の内部から歯 車の回転と窓面での積雪の移動を16 mm カメ ラによる 3~5 分間隔の駒取り撮影によって行 なった (写真8 の (2)). 観測斜面の地面上にグ ライドを促進するためのかやがしきつめてあっ たが, グライドの発生とともにその分 離片が積雪底面に捕捉されたまま観測 窓を通過するので,これが移動測定の 目印となった.また,歯車の回転の目 印として歯車の歯元付近に埋込んだ 16個のピンを用いた.移動の状態を撮 影した 16 mm フィルムはフィルム モーション・アナライザーを用いて, 円周ピッチに相当する回転をピンによ り読み取り,この回転に要した時刻間 の窓面上のグライドを目印により読み 取った.

図 10 に 1976 年 1 月 29 日~2 月 1 日に行われた比較測定の結果を示す. 比較測定期間のグライド速度はほぼ一 定で,この間の平均グライド速度は 20 cm/day である.直接測定の結果





とグライドメーターの結果は一致し、観測用窓でのグライド測定に対する歯車型グライド メーターの測定の相対誤差は高々1~2% である.比較測定の際の読み取りの誤差などを考 慮に入れると実際の測定誤差はさらに小さい.なお、この時斜面での雪質観測は行わなかっ たが、構内露場での積雪断面観測の結果(渡辺ら、1976参照)によると2月3日の時点で、 積雪層はしまり雪とざらめ雪の互層をなし、接地積雪層は底面数 cm がざらめ化している.

4.2 誤差要因

前節で述べた条件下では歯車型グライドメーターの測定精度が十分であることが明らかに なったが、降雪初期あるいは融雪期には別な条件による誤差が生じ、この時グライド速度が 比較的小さければ相対誤差は大きくなる.本節ではこれらによって生ずる誤差について検討 する.

4.2.1 クリープによる誤差

まえがきで述べたように斜面積雪流動にはグライド現象のほかにクリープ現象がある.し たがって、歯車型グライドメーターは、グライドによるだけでなく、クリープによっても作 動し歯車が回転する可能性がある.そこで、クリープ現象の影響による歯車の回転に関する 室内実験を行った.

図11に実験装置を示す.この実験に使用した歯車は、G-4タイプのものと同一諸元のモ デルである.ただし、歯形は野外観測に使用した三角歯形と異なり直線歯形である.直線歯



形は三角歯形の特別な場合に相当し、二つの歯形のピッチ円は歯先円に一致し、これにより 接地積雪層に刻まれる歯形は三角歯形の特別な場合として求められる(付録参照).実験は $-1.7^{\circ}C \pm 0.5^{\circ}C$ に保たれた低温実験室内の模型斜面(勾配 27°)上にモデルの歯車を設置し て行った.模型斜面上の雪は、低温室に保存された密度約 0.2 g/cm³ の雪を篩にかけて模 型斜面上に積らせ、これを雪べらでほぼ直方体に整形したものである.斜面積雪のクリープ 量測定のための目印を斜面方向に 50 mm 間隔、斜面垂直方向には 25 mm 間隔のメッシュ 上に設けた.実験開始後3日目に積雪上面に 2.2 g/cm² の荷重を載せ クリープを促進させ た.実験期間は 32 日間であったが、この間に模型斜面上の積雪には グライド現象は生じな かった.したがって、この実験では クリープ現象だけによる影響を観測したことになる.

実験中の積雪クリーブと歯車の回転の状況を写真9に示す.実験開始後198時間後のク リープの状態を写真9の(3)で見ると、歯車の上面および上下方向付近で歯車の歯による じょう乱が生じ、このじょう乱により歯車が回転している.また、斜面下端では自由端の影 響を受けているが、斜面上端付近(斜面上方から2列目の目印)のじょう乱は少なく、ク リープは三角プロファィルを示しているので、この部分の歪みは均質歪み(Shimizu and Huzioka, 1974) と考えてよい.実験結果を整理すると、歯車の回転角とクリープとの関係 は図12に示したようになり、次式で表わされる.

$$\theta = 0.01\alpha^{2.0} \tag{2}$$







(3)

- **写真 9** 歯車型グライドメーターのク リープによる影響
 - (1) 実験開始時
 - (2) 36 時間後
 - (3) 198 時間後
- Photo 9 Result of experiment on the effect of creep on the gear rotation.
 - (1) Initial state.
 - (2) After 36 hours.
 - (3) After 198 hours.





ここで、 α (度)は上に述べたじょう乱の少ない 部分のクリープの傾角であり、 θ (度)は歯車の 回転角である.

この実験の結論として,クリープの影響はあ るが,その値は小さいといえる.

4.2.2 その他の影響要因

斜面積雪接地層の厚密化あるいは氷化が進み 積雪が硬化してグライドメーターの歯に食い込 まない場合がある.写真10は野外における模 型斜面上の歯車型グライドメーターの作動試験 中に起った現象である.歯は積雪中に完全に食 い込まず,歯車の上を斜面積雪がのり上りなが ら下方にグライドし,その結果積雪は上に凸に 曲っている.この場合,グライドメーターの歯 と積雪に刻まれた歯は完全なかみ合いをしてい ないので,歯車の回転とグライド量の関係は厳 密には式(1)をそのまま用いることができず, したがって,これによる誤差を生じる.しか し、写真10に見られる状態が測定中実際に起っ

ても,斜面積雪のまがりが小さければ,歯車のピッチ円はやはり歯先円と一致すると考えて よいので実用上の問題はない.なお,グライドメーターの歯形は三角歯形でなくクリープ実 験に使用した直線歯形を採用すれば,この影響をさらに小さくすることができる.なぜな

-107-

国立防災科学技術センター研究報告 第18号 1977年11月



写真 10 接地積雪層の硬化と歯車型グライドメーターの 作動状況

Photo 10 Hardening of earth-interface snow layer and the motion of the snow cover above the geartype glide-meter.

ら,直線歯形は三角歯形に比べ て積雪中に食い込みやすい形を しているばかりでなく,歯車に よる接地積雪層の圧縮は三角歯 形に較べて小さいからである (付録参照).

5. 考 察

この章では、歯車型グライド メーターによる測定への積雪の 融解・凍結現象の影響について 最初に考察し、ついでクリープ の影響について考察を行う.

5.1 融解·凍結の影響

積雪層底面が 0℃ 以下で地面に凍結しているとグライド現象が起らないことを,高橋ら (1971), McClung (1974) は野外観測によって確かめている.

石川(1966)は、橇式グライドメーターの誤差要因としての融雪現象とグライドとの関連 について以下のような議論を行っている.図13に示す無限斜面を考える.いま接地積雪層 が地熱によりある期間内にOO'だけ融解したと

-108 -

すると、積雪層内の O' 面が沈下して地面に接し 底面となるから、結果として積雪層は斜面下方に OA だけ移動したことになる.この移動は普通の 意味のグライドと異なるが、積雪層全体の地面に 対する変位が起るので、実質上グライド現象と考 えられる.さらに石川は、この融雪によるグライ ド量は橇式グライドメーターによっては測定する ことができないと述べている.これは、接地面と 同時に橇の周囲でも接地面とほぼ同量の融雪が起 るために橇が移動しないのであろう.この事情は 歯車型グライドメーターでの測定でも同様で融雪 によるグライド量は測定されないと考えてよい. ここで問題になるのは、融雪による見掛けのグラ イド現象と底面でのグライド現象が同時に起る場 合である.この場合には、融雪現象により歯と積



- 図 13 融雪による見掛けのグライド (OO': 融解層, OA: 見掛けの グライド量)
- Fig. 13 Apparent snow gliding by the melting on the earthinterface snow layer (OO': Melted layer; OA: Amount of apparent glide. After Ishikawa (1966)).

雪の間に間隙ができ、しかもグライド速度がこの間隙を埋めつくせないほどに小さければグ ライドは測定されず誤差を生じる.写真7に示した例は間隙の生じた例であるが、この時に はグライド現象がほとんど起らなかったためであり、グライド現象のある場合は、このよう な空洞は生じない.そしてグライド速度が融解速度に比べて大きければ、これによる誤差は 小さいであろう.石川(前掲)は融雪測定結果から、釜淵における融雪によるグライド量は 勾配 30~40°の斜面において平均 0.2~0.3 cm/day であり、積雪層は 1~3 月間に 20~30 cm 移動するとの結果を得ている.斜面積雪のグライド速度は、グライドの比較的少ない安 定斜面でも 2 cm/day の程度であり、融雪による誤差はたかだか 10% 程度である.

5.2 クリープ現象による影響

斜面積雪の1冬期間の地表面付近のクリープ量は、Shimizu and Huzioka (1974)の測定 結果によると、30°斜面における1月18日から3月26日の間にクリープ傾角αにして約 56°である.これによるグライド量を(1),(2)式によって求めると約12 cmとなる.一般に、 根雪から数日間のクリープ量は大きく、以後の融雪期前までのクリープ量に匹敵するが、こ れによるグライド量は全体として10 cm程度のオーダーと考えてよかろう.観測斜面で測 定されたクラック発生前に歯車型の値が観測窓での値に先行し大きくなる現象および十日町 試験斜面における橇式グライドメーター測定値との比較で見られた同様の傾向は、初冬のク リープ現象によるものと考えられる.

斜面積雪のグライド速度のオーダーは、クラックやなだれの発生しない安定斜面では高橋 ら (1971) によると 2 cm/day、クラック発生時のグライド速度は、観測斜面における測定 では数十 cm/day であり (図 2)、片岡ら (1971) および秋田谷 (1975) による測定結果でも これと同程度である.また、中村・山田ら (前掲) はなだれ発生数時間前には 200 cm/day のグライド速度を観測している.したがって、クラック発生前後からのグライド測定に重点 がおかれるなだれ予知の目的では、融雪やクリーブ現象が歯車型グライドメーターの測定精 度におよぼす影響は無視できる.

6. まとめ

(1) 対地固定法の原理による歯車型グライドメーターが開発され、これによる斜面積雪のグライド測定を行なった。歯車型グライドメーターは一種の歯切り機械*の応用であり、 グライド量 u は歯車の回転角 θ の関数として式 u=rθ により求められる.

(2) 従来用いられてきた対雪固定法による測定では斜面上の測定位置がグライド現象の 進行に伴い下方に移転するのに対し,対地固定法では斜面上の一地点での変位を測定するこ とができる.これによって,対雪固定法では困難な以下の条件下の測定が可能である. 国立防災科学技術センター研究報告 第18号 1977年11月

- (a) 斜面の地表がなめらかでない場合
- (b) 降雪毎になだれが発生する斜面での連続測定
- (c) 斜面の下部が不連続に変化している斜面(たとえば道路法面の下部など)
- (d) 斜面上に植生(灌木,かや,笹など)のある場合にも,設置地点付近だけの植生を取り除けばよい

このほか,対雪固定法では最初グライド速度の大きい圧縮領域の上部に設置したものも次 第に斜面下方に移動し,グライド速度の小さい圧縮域の下部での測定を行なうのに対し,対 地固定法では測定地点が変らない.このため対地固定法では,系面上のグライド速度の大き な場所に検知器を設置することにより斜面積雪のグライド現象の変動を常に敏感に検知でき る.

(3) 歯車型グライドメーターの主な誤差要因は、融雪現象とクリープ現象であり、ク リープ現象による誤差は歯車型グライドメーター固有の誤差であるが、これらは実用上無視 しうる程小さいことが確められた.

(4) 結論として歯車型グライドメーターは,(2)でのべた特性により,なだれ発生斜面 上でのグライド測定に最も適している.しかし,実際に山地斜面でのなだれ予知に利用する には,次の点に留意した改良が必要である.

- (a) 設置地点は商用電源の得られぬ場所がほとんどであろうから,回転検出器および記録 器が蓄電池あるいは乾電池で作動するものがよい.
- (b) グライドメーターは、水分・湿気の多い積雪下に1冬期間放置されるので、検知器およびケーブルの耐水性に十分注意し絶縁不良等の故障には特に留意する必要がある.この意味で増幅器等は記録器と同じ場所にあることが望ましい.
- (c) 検出部分,特に歯車部分を積雪の特性を考慮した上で小型化する必要がある. グライ ド測定自体による積雪の乱れが少ないことが望ましく,また,設置の便宜からも装置は 小型であるほどよい.測定結果から,歯の高さ・巾とも5cm 程度で十分と考えられ る.
- (d) グライド測定の目的および場所によっては必ずしも自記記録の必要がない場合もある ので、このための簡易型を開発する必要がある.

また、歯車型グライドメーターは今後全層なだれの時間的,空間的予知の有力な手段 となるが、そのためには次の諸点が解決されねばならない、歯車型グライドメーターは 時間的予知に特に有効である。実際のなだれの時間的予知には、時間的に変動する要素 すなわち気象・積雪条件を含めた情報システムを作る必要がある。その前提としてなだ れ台帳・なだれ危険地図・斜面条件等を含む空間的情報を整備し、これらの情報をス トックし必要に応じて呼び出せるデーター・バンクが必要である。石原(1971)は、こ のようななだれ防災情報システムについての一つの考えを提案している。北陸地方に多

い全層なだれについては,積雪条件のうち特にざらめ化がその指標となりうることが渡辺ら (1976) によって指摘されている.

以上述べたのは時間的予知のうち広域を対象とした場合であるが、一つの特定斜面を対象 とする場合もある.この例として、特定の道路法面、山岳地域の工事現場等がある.この場 合には、歯車型グライドメーターによるグライド現象の監視だけでもかなりの効果が期待で きるであろう.これらの目的で歯車型グライドメーターを利用する時の技術的課題として次 の点がある.その一つはグライドメーターの設置位置である.すなわち広域においては、そ の地方のなだれ活動を代表するような斜面、特定斜面においては斜面上での測定位置を選定 することである.設置位置は理想的にはなだれ直前のクラックがその上部で発生するような 場所である.また、地形・気象・積雪条件によるなだれ発生臨界速度に関する観測資料が必 要である.これらの問題は、対地固定法によるグライドメーターを用いての烈面積雪の挙動 についての組織的研究によって今後明らかにされていくことであろう.

謝 辞

この研究を開始するにあたり、対地固定式グライドメーターのなだれ予知に対する重要性 を指摘し、その開発を勧められたのは前雪害実験研究所長故荘田幹夫博士であった.また、 その初テストが行なわれた時には「鬼車」なる愛称を賜ったが、冬を過ぎまもなく急逝され た.著者は同博士の御指導に深く感謝するとともにこの論文を献ずる.

農林省林業試験場十日町試験地ならびに国道17号線道路法面での観測にあたり,同場防 災第一研究室長石川政幸博士,建設省上越国道工事事務所阿部 勉専門官にはそれぞれ便宜 をはかっていただいた.また,十日町試験地での測定に関しては,同試験地渡辺成雄主任な らびに職員各位の援助をいただいた.この論文の草稿の段階で北海道大学低温科学研究所秋 田谷英次博士からは貴重なコメントを,また,新潟大学工学部田村久司講師からはグライド メーターのピッチ円に関して御教示をいただいた.ここに記して感謝の意を表する.

雪害実験研究所栗山弘所長,前第一研究室長中村勉博士ならびに第一研究室五十嵐高志技 官には観測にあたり種々の援助を受けた.これらの援助に対して感謝する.また,論文執筆 にあたり終始激励を受け,議論ならびに論文推敲の指導を受けた渡辺興亜雪害実験研究所第 一研究室長に対して感謝する.

本研究は科学技術庁試験研究経常研究費によって行われた.

参考文献

- 1) 秋田谷英次 (1974): 斜面積雪の挙動の研究 Ⅲ-接地面での移動 (グライド). 低温科学,物理篇, 32,98-104
- 2) 秋田谷英次 (1975): 斜面積雪の挙動の研究 V-斜面積雪のグライドとクラックの発生, 1974~ 1975 冬. 低温科学, 物理篇, 33, 103-108

国立防災科学技術センター研究報告 第18号 1977年11月

- 3) 石川政幸 (1966): 地熱による融雪と斜面積雪の移動.雪, No. 1, 13-16
- 4) 石川政幸・渡辺成雄・大関義男 (1976):雪崩防止柵に加わる 雪圧. 昭和 51 年度日本雪氷学会予稿 集
- 5) in der Gand, H. and M. Zupamcic (1966): Snow gliding and avalanches. *IUGG-IUSH Publ.*, No. 69, 230-242
- 6) 石原健二 (1971): なだれの予測について. 日本積雪連合資料, No. 118
- 7) 柏村良一・他 (1973): 斜面積雪移動圧の測定. 昭和48年度日本雪氷学会予稿集
- 8) 片岡健次郎・石川政幸(1971):不安定地における積雪の移動と移動圧.日本林学会東北支部会誌, 94-99
- 9) 勝谷 稔 (1943): 山腹積雪の移動について. 森林治水試験彙報, 第19号, 117-144
- McClung, D. M. (1974): Creep and the snow—earth interface condition in the seasonol alpine snow pack. Snow mechanics symposium. *IASH-AISH Publ.*, No. 114, 236-248
- 11) 中俣三郎 (1962): 斜面雪圧一群杭の雪崩防止効果.鉄道技術研究報告, No. 322
- Nakamura, T. and Yamada, Y. (1967): Some measurements of snow cover on an experimental slope with a tunnel. *Rep. of I.S.I.S.*, 1967, 71-92
- 13) 中村 勉・他 (1972): かや張り実験斜面で発生した小なだれ.昭和47年度日本雪氷学会予稿集
- Shimizu, H. and Huzioka, T. (1974) : Internal strains and stresses of snow cover. Snow mechanics symposium. IASH-AISH Publ., No. 114, 321-331
- 15) 高橋喜平・佐藤正平・片岡健次郎 (1971): 多雪地帯の経済的治山工法の研究 (第1報) 復旧工法の 研究 (I). 林業試験場報告, No. 238, 31-75
- 16) 渡辺興亜・五十嵐高志・山田 穣 (1976):51・1 豪雪の積雪現象および積雪災害. 国立防災科学技 術センター主要災害報告,第11号
- 17) 渡辺成雄・大関義男・佐伯正夫 (1976): 積雪移動量の一測定方法.雪氷, Vol. 38, No. 3, 196-197
- 18) 山田 穣 · 五十嵐高志 (1972): 簡易斜面積雪移動記録装置. 昭和47年度日本雪氷学会予稿集
- 19) 山田 穣 (1972):斜面積雪の密度測定値からの グライド分布の推定.昭和47年度日本雪氷学会予 稿集

(1977年7月12日 原稿受理)

付 録

1. 歯形の違いによる積雪の圧縮量の比較

歯車型 グライドメーターによる測定では,積雪中に歯形が刻まれる際に積雪が圧縮される が,この圧縮量が少ないほど積雪におよぼす乱れが小さくなる.ここでは,歯先円・歯元円 が同一な三角歯形と直線歯形について,この圧縮量の比較を行った.

三角歯形によって積雪に刻まれる歯形は歯先 (B) と歯元 (A あるいは A') を結ぶ直線群 の包絡線として次式で示される.

$$\begin{cases} x = a[\pm A(a-B') + A^{2} \sin t \mp (A+B)C(t) - S(t)C(t) \\ + c^{2}t \pm At \sin t] / \{c^{2} \pm A \cdot S(t)\} \\ y = a[AB \pm (A+B)S(t) + S^{2}(t)] / \{c^{2} \pm A \cdot S(t)\}, \quad y \le a-b. \end{cases}$$
(3)

図 14 に示すように a は歯先円の半径 \overline{BC} , b は歯元円の半径 \overline{AC} (または $\overline{A'C}$) であり,

 β は1つの歯の歯元がなす円弧に対応する中心角 の半分である.また (3) 式を求める過程で次のよ うにおいた.

$$A \equiv a\beta, \quad B \equiv b \sin \beta, \quad B' \equiv b \cos \beta \quad (4)$$

$$\begin{cases} S(t) \equiv a \sin t - b \sin (t \pm \beta) \\ C(t) \equiv a \cos t - b \cos (t \pm \beta) \end{cases} \quad (5)$$

写真 11 に (3) 式で表される積雪に刻まれた歯 形とグライドメーターの歯車との噛み合いの様子 を示した、直線歯形の歯先円の軌跡は三角形歯形 の歯先円の軌跡と同じであり、歯元円の軌跡は図 14において $\beta=0$ とした場合に相当する、した がって、直線歯形によって積雪に刻まれる歯形を





示す包絡線の方程式は, (3)式において β=0 とおくことによって得られる. すなわち,

$$\begin{cases} x = a \left(t - \frac{1}{2} \sin 2t \right) \\ y = a \sin^2 t, \quad y \leq a - b \end{cases}$$
(6)

となる. $a=25 \text{ cm}, b=15 \text{ cm}, 歯数 16 (位相差 <math>\pi/8$, したがって $\beta=\pi/16$) とした場合の三 角歯形と直線歯形の数値例を図 15 に示す.



写真 11 三角形歯形の回転のモデル

Photo 11 Model for the rotation of the triangular gear on the rack cut in snow. In this photograph, the pinion rotates and moves forewards, reversely to the actual movement during measurement.

国立防災科学技術センター研究報告 第18号 1977年11月





- 図 16 歯車による積雪の圧縮率の 計算(直線歯形の場合, Sı': 空洞, S₁:雪に刻まれた歯 形)
- Fig. 16 Notations for calculating compressive rate of snow by the linear gear (S₁': Cavity; S₁: Gear shape cut in snow).

最初に直線歯形の場合の圧縮量を求める.そのために、まず直線歯形によって囲まれる面積を求めよう. 媒介変数表示の曲線 x = f(t), y = g(t) によって囲まれる面積 S は、

$$S = \int_{t_1}^{t_2} g(t) f'(t) dt \tag{7}$$

によって求められる、したがって、直線歯形の包絡線と x 軸によって囲まれる面積 S_1 は (7) 式へ (6) 式を代入することにより得られる、

$$S_{1} = \int_{0}^{t} a \sin^{2} t \left\{ a \left(t - \frac{1}{2} \sin 2t \right) \right\}' dt = 2a^{2} \int_{0}^{t} \sin^{4} t \, dt$$
$$= \frac{a^{2}}{2} \left\{ -\sin^{3} t \cdot \cos t + \frac{3}{2} \left(t - \sin t \cdot \cos t \right) \right\}$$
(8)

直線歯形のグライドメーターによって積雪が圧縮され空隙となる部分は S_1 'である.(図 16) 直線歯形による積雪の圧密量を三角歯形の圧密量と比較する目的では、歯形により圧密 が及ぼす範囲を S_1 , S_1 'と仮定し、この部分の面積圧縮率 $S_1'/(S_1+S_1')$ を求めてよいであ ろう.直線歯形の面積 S_1 は図15に示したものと同じ数値例の場合(8)式により30 cm²と なる.したがって、直線歯形の面積圧縮率は38.5%である.

次に,三角歯形の面積 S_2 も (3) 式を (7) 式へ代入し積分を実行することにより得られる が,この積分を解析的に求めることは困難である.ここでは,cut and weight 法により S_2 の近似値を求めた.上で求めた直線歯形と同じ諸元を持つ三角歯形 (G-1 タイプ) について 数値例を求めると, S_2 は約 25 cm² となり,この時の面積圧縮率は 48.8% となる.

上述の計算結果から、この数値例の場合直線歯形の面積圧縮率は三角歯形に比べて約10% 小さい.

2. なだれに関する二,三の用語について

全層にしろ表層にしろ、斜面からの積雪の崩落をすべてなだれと呼んでいるが、規模の小 さい積雪の崩落までをなだれと呼ぶのは不自然と思われる. 登山関係では雪塊の崩落をブ $\mu = -p$ なだれと呼んでいる例がある. in der Gand *et al.* (1965) は小規模な全層なだれを gliding snow sluffs と呼んでいる. in der Gand *et al.* の論文にある gliding snow sluffs の写真を見ると、明確な走路を持たない全層なだれをそう呼んでいるようであるが、そのス $r - \mu$ は必ずしも小さく 100 m なく程度のものもある. 道路法面のような場合の接地面か らの規模の小さい崩落は、全層なだれの一種ではあるが、たとえば、gliding snow sluffs と呼んで走路を持つ大規模な全層なだれと区別することがなだれ記載の上で必要と考えられ る. 急勾配の斜面で吹雪のあとなどに少しずり落ちる程度の表層なだれをスラフ (sluff) と 呼ぶことは、すでに日本でもほぼ定着している.