



Title	笹地斜面における積雪のグライド機構
Author(s)	遠藤, 八十一
Citation	低温科学. 物理篇, 39, 81-89
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18416">http://hdl.handle.net/2115/18416</a>
Type	bulletin (article)
File Information	39_p81-89.pdf



[Instructions for use](#)

## 笹地斜面における積雪のグライド機構 II\*

遠藤 八十一

(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

### I. はじめに

斜面積雪の地面での滑り(グライド)は、全層なだれの発生機構を明らかにする上で重要である。北海道においては、全層なだれの多くは笹地斜面で起こっている。そこで、笹地斜面におけるグライド機構を明らかにするため、野外調査によって根雪から全層なだれ発生までの間に、笹地斜面でどのようなことが起こるかを調べた。その結果は、同名の論文Iですでに報告したとおりで、次のように要約できる。

(1) 笹地斜面上に雪が積もると、その重みによって多くの笹は地面に倒伏する。しかし、いくらかの笹は倒伏せず、その後の降雪によって積雪内部にとじ込められる。

(2) 地面に倒伏した笹は、地面の土や石、小さな凹凸など積雪の滑りにとって抵抗となる種々の要因をおおいかくす。それゆえ、笹地斜面が積雪に及ぼす抵抗としては、積雪内部の笹と地面に倒伏した笹とを考慮すればよいことになる。

(3) 積雪が斜面を滑りはじめると、積雪の内部に入り込んだ笹は、積雪のグライド量に等しい長さだけ積雪より抜け出し、その分、地面に倒伏する。従って、ある領域の積雪のグライド量が笹の長さより大きくなると、その領域の凡ての笹が地面に倒伏することになる。

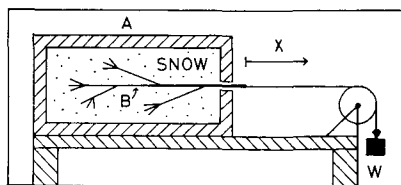
(4) クラックの発生場所は、このような領域の上縁、すなわち、斜面上方で積雪の中に笹の混入した領域とその下方で凡ての笹が地面に倒伏した領域との境界付近にクラックは発生する。

以上のような観測結果から判断すると、積雪のグライド機構を明らかにするには、積雪の中に入り込んだ笹と地面に倒伏した笹とが重力の作用によって滑り落ちようとしている積雪に対して、どのような抵抗を及ぼすかが分かればよいということになる。そこで、次に述べるような二種類の実験を行ない、これらの笹が積雪に及ぼす抵抗を調べてみた。

### II. 実験方法と結果

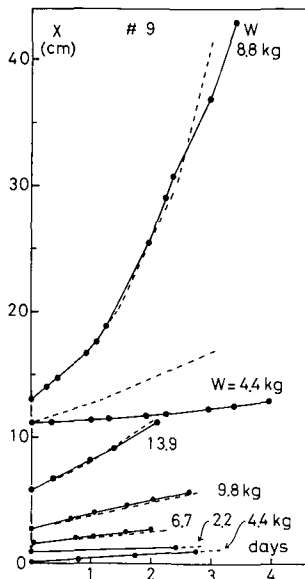
#### 1) 積雪内部に入り込んだ笹を定荷重で引き抜く実験

実験は低温室で行なった。第1図が装置の概略である。積雪の中にとじ込められた笹をつくる手順は、



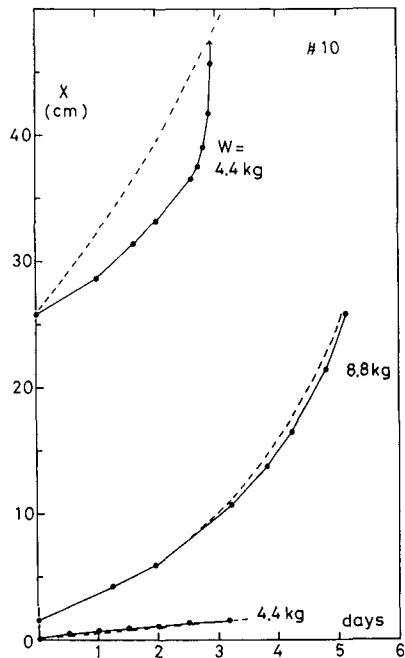
第1図 積雪内に入り込んだ笹Bに定荷重Wをかける実験

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2285号



第2図 定荷重  $W$  で積雪内より笹を引抜く実験 (実験番号9, 雪温  $0^{\circ}\text{C}$ )

縦軸  $x$  は積雪より抜け出した笹の長さである。破線は実測値に対する (6) 式の適合曲線である

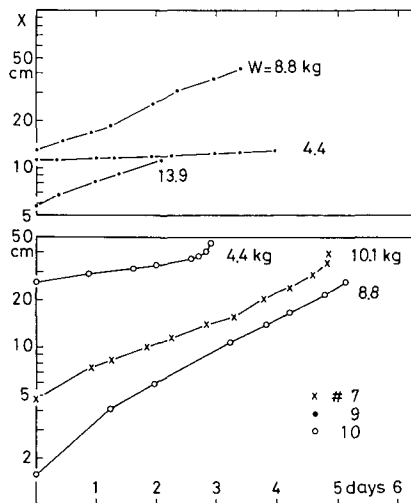


第3図 定荷重で積雪内より笹を引抜く実験 (実験番号10, 雪温  $0^{\circ}\text{C}$ )

縦軸  $x$  は積雪より抜け出した笹の長さである。破線は実測値に対する (4) 式の適合曲線である

厚さ 5 cm の断熱材をはった長さ 90, 幅 45, 高さ 30 cm の木箱に, ばらばらにした積雪を約半分程入れ, その上に笹を置いたのち, 再びばらばらにした積雪をその上に振り掛けて作製した。この作業は  $-5^{\circ}\text{C}$  の部屋で行ない, 約 1 日放置したのち所定の温度にして実験した。試料作製から実験開始までの期間は約 3 日である。積雪の密度はどれも約  $0.49 \text{ g/cm}^3$  であった。第 1 図の A が木箱で, 笹 B の端にワイヤーをとりつけ, 滑車をかいして笹に荷重  $W$  をかけると, 笹は木箱, すなわち積雪より抜け出す。

積雪から抜け出した笹の長さを  $x$  とし, その時間変化を調べたのが, 第 2~5 図である。図中の各曲線の肩につけた  $W$  の値が笹にかけた荷重である。第 2 図について述べると, 最初 4.4 kg の荷重をかけ 66 時間後に荷重を 2.2 kg に変えたことを示している。第 2 図と第 3 図は, 含水率 2~3% の湿り雪の中の笹の動きで, 第 2 図と第 3 図の違いは笹の違いである。これらの図からまず, 積雪から抜け出す笹の長さ  $x$  は, その値が小さいうちは時間に対してほぼ直線的に増加する。すなわち, 荷重  $W$  が一定なら笹の動く速度は一定であること



第4図 積雪より抜け出した笹の長さ  $x$  と時間との関係 ( $x$  が大きい場合)

がわかる。しかし、ある程度以上笹が積雪より抜け出すと ( $x$  が大きくなると)、その速度は時間と共に増加するようになる。第4図は、 $x$  が大きい場合の笹の動きを片対数グラフに図示したものである。図から、積雪より抜け出した笹の長さ  $x$  が 5~10 cm より大きくなると、 $x$  は時間に対して、ほぼ指数函数的に増加することがわかる。

乾き雪 (雪温  $-3^{\circ}\text{C}$ ) の中に入った笹の動きは第5図に示した。乾き雪より抜け出す笹の速度は、時間と共に減少するが、ある程度時間がたつと一定の速度におちつく。第5

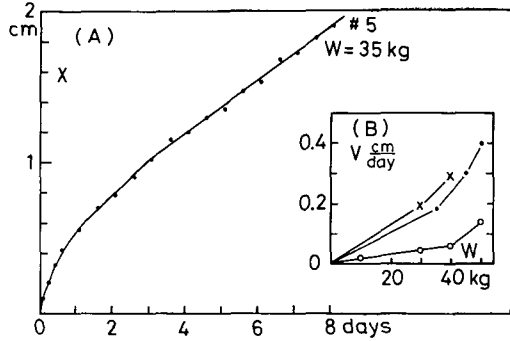
図 B は、この速度を荷重に対して図示したものである。乾き雪からの笹の引抜き実験は、 $x$  の小さい領域でしか行なわなかったが、 $x$  が大きくなった場合には、湿り雪の場合と同様に時間に対して指数函数的に動くものと考えられる。

2) 笹張り人工斜面における雪ブロックの滑り実験

地面に倒伏した笹の抵抗を調べるため、第6図のような人工斜面をつくり、その上にのせた雪のブロック (25×25×5 cm) の滑り実験を行なった。人工斜面の表面には、傾斜方向に平行に直径 5~8 mm の笹の管を敷きつめた。ただし、実験解析の煩雑さをさけるため、笹の葉を取り除いて管だけを敷いた。雪のブロックは、ばらばらにした雪を鋳型に入れ、 $-5^{\circ}\text{C}$  のもとに1日置いた後実験に供した。出来たブロックを水平にした人工斜面の上へのせ、その上に荷重  $W$  をかけた。この状態で所定の実験温度にし1日放置した後、人工斜面を任意の角度に傾むけ積雪ブロックの滑りを測定した。積雪ブロックの密度は約  $0.45\text{ g/cm}^3$  であった。ブロックの上に載せた荷重  $W$  は 22.0 kg で、これは密度  $0.35\text{ g/cm}^3$  の雪が 1 m 積っている場合に相当する。

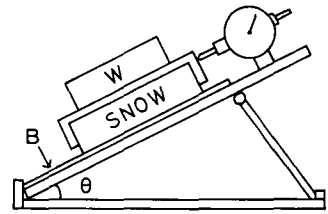
第7図にその結果の一例を示した。縦軸が滑り量、横軸が時間である。図からわかるように、斜面の傾斜が小さいうちは、積雪の滑り速度は時間に対してほぼ一定である。しかし、傾斜角が大きい場合は、滑り速度が時間と共に増加し、数時間後に積雪ブロックは落下した。ブロックが落下する角度は、雪温  $0^{\circ}\text{C}$ 、含水率 1~2% のとき、 $15^{\circ}$ 、雪温が  $-1^{\circ}\text{C}$  と  $-3^{\circ}\text{C}$  のときは  $20^{\circ}$  であった。

第8図 A, B は縦軸にブロックの滑り速度  $dx/dt$ 、横軸にブロックの単位底面積にかかる剪断応力

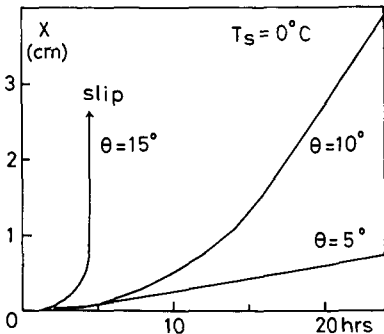


第5図 定荷重  $W$  のもとで、かわき雪 ( $-3^{\circ}\text{C}$ ) より笹を引抜く実験

- (A) 抜け出した笹の長さ  $x$  と時間との関係
- (B) 抜け出す速度  $V$  と荷重  $W$  との関係



第6図 笹Bを張った人工斜面での積雪ブロックの滑り実験



第7図 笹を張った人工斜面の上での積雪の滑り  $x$  と時間の関係 (雪温  $0^{\circ}\text{C}$ )

$\tau_2 = W \sin \theta / 25 \times 25 \text{ cm}$  をとり図示したものである。ブロックの滑り速度は、剪断応力  $\tau_2$  の増加に対して加速度的に大きくなっている。図中の点線は、滑り速度が剪断応力  $\tau_2$  の3乗に比例するとして書いた曲線である。0°Cの雪の場合、この線によく一致している。しかし、測定数がすくなく、その信義の程は明らかでない。そこでここでは、後の計算の便もあって、速度と剪断応力の関係を直線で近似することにした。すなわち次式で近似した。

$$\tau_2 = \mu'_2 \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

そうすると、抵抗係数  $\mu'_2$  は、同図 A, B の破線より雪温 0°, -1°, -3°C のそれぞれに対して 1.5, 25, 110 g·day·cm<sup>-3</sup> となる。

### III. 考 察

#### 1) 積雪の中に入り込んだ笹の抵抗

積雪の中に入り込んだ笹を積雪より引き抜くためには、そのまわりの積雪をずらせたり圧縮したりする必要がある。そこで、この変形を受ける笹のまわりの積雪の層の厚さを  $\Delta$  とし、この積雪層が粘性係数  $\mu_1$  の完全粘性体としてふるまうと仮定すると、一本の笹が積雪に及ぼす抵抗  $\tau_1$  (または積雪が笹に及ぼす抵抗) は、次式で表わせる。

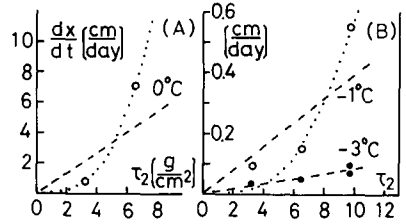
$$\tau_1 = \mu_1 f(x) \frac{1}{\Delta} \frac{dx}{dt} = \mu'_1 f(x) \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

ここで  $x$  は笹の動き (積雪から抜け出した笹の長さ)、 $t$  は時間、 $f(x)$  は笹と積雪との接触面積である。それゆえ、 $f(x)$  がわかれば (2) 式を解くことが出来る。第9図は、積雪より笹が抜け出すときの笹の形の変化を模式的に示したものである。図から、笹と積雪との接触面積  $f(x)$  は、右側の図のように  $x$  の増加につれて減少することが予想される。そこで、最も簡単な場合として、次式を仮定しよう。

$$f(x) = \frac{a}{1+bx} \quad (3)$$

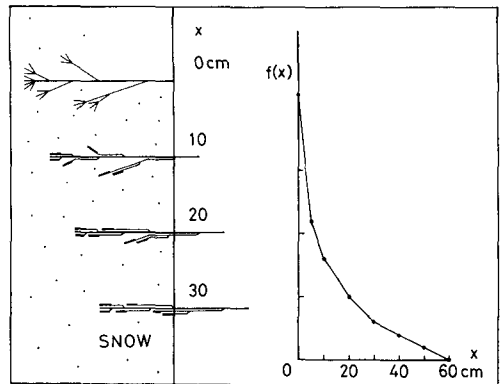
そうすると、笹に一定荷重  $W$  を加えた場合には、 $x$  と  $t$  との間に次の関係がなりたち、

$$-\frac{\mu'_1 a}{Wb} \left\{ \ln(1+bx) - \ln(1+bx_i) \right\} = t - t_i \quad (4)$$



第8図 笹張り人工斜面上での積雪の滑り速度  $dx/dt$  と積雪底面に働く剪断応力  $\tau_2$  の関係

A 図はしめり雪、B 図はかわき雪の場合である。破線は  $dx/dt$  と  $\tau_2$  の関係を直線で近似した場合、点線は3乗に比例するとした場合である



第9図 笹と積雪との接触面積  $f(x)$  と笹の抜け出した長さ  $x$  との関係

$bx \ll 1$  の場合は

$$-\frac{\mu_1' a}{W} (x - x_i) = t - t_i \tag{4'}$$

となる。ここで、 $x_i$  は時間  $t_i$  における  $x$  の値である。このような  $x$  の時間変化は、第 2~4 図に示した結果と定性的によく一致している。そこで、これらの実験結果をもちい、まず (4') 式より  $\mu_1' a$  を求め、次に (4) 式の  $b$  に適当な値を入れて実験結果に合致する曲線を求めてみた。第 3 図に示した破線が、(4) 式に従う曲線で、実験結果の曲線 (実線) とよく一致している。ただし、笹に加えていた荷重  $W$  を大幅に減らした場合 (第 3 図では 8.8 kg から 4.4 kg に減少させた場合)、破線と実験値は大幅に食い違い、破線は実験値より大きな値を示す。これは、積雪を完全粘性体として取り扱ったことが主要因で、 $f(x)$  が (3) 式に従うという仮定がまちがっているわけではない。それゆえ、第 3 図 (実験 10) にもちいた笹と積雪との接触面積  $f(x)$  は、(3) 式に従ったことになる。一方、第 2 図 (実験 9) にもちいた笹の場合には、(4) 式との満足な一致は得られなかった。実験 9 の結果 (第 2 図) は、

$$f(x) = \frac{a}{1 + (bx)^2} \tag{5}$$

を (2) 式に代入して求まる次式とよい一致をみた。

$$-\frac{\mu_1' a}{Wb} \left( \tan^{-1} bx - \tan^{-1} bx_i \right) = t - t_i \tag{6}$$

$bx \ll 1$  の場合

$$-\frac{\mu_1' a}{W} (x - x_i) = t - t_i \tag{6'}$$

第 2 図の破線が実験値に合致する (6) 式である。すなわち、実験 9 の笹の  $f(x)$  は (5) 式に従ったことになる。

このようにして求めた  $f(x)$  の函数を、第 1 表に示した。実験 7, 9, 10 は 0°C の湿り雪、

第 1 表 函数  $\mu_1' f(x)$  の値

実験番号	$\mu_1' f(x)$ の函数形	$\frac{\mu_1' a}{\left( \frac{\text{g} \cdot \text{day}}{\text{cm}} \right)}$	$\frac{b}{\left( \frac{1}{\text{cm}} \right)}$	雪温 (°C)	笹の長さ (cm)
7	$\frac{\mu_1' a}{1 + (bx)^2}$	$6.9 \times 10^3$	0.12	0	75
9	$\frac{\mu_1' a}{1 + (bx)^2}$	$13.7 \times 10^3$	0.16	0	90
10	$\frac{\mu_1' a}{1 + bx}$	$10.1 \times 10^3$	0.45	0	90
6	—	$6.7 \times 10^5$	—	-3	85
5	$\frac{\mu_1' a}{1 + (bx)^2}$	$2.0 \times 10^5$	0.12	-3	75
1	—	$1.6 \times 10^5$	—	-3	—

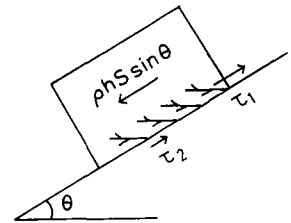
実験 1, 5, 6 は  $-3^{\circ}\text{C}$  の乾き雪における結果である。乾き雪における笹の引抜き実験は、 $x$  の小さな範囲 (0~最大 7 cm) でしか行わなかったため、 $\mu'f(x)$  の函数形と  $b$  の値は求まらない。ただ、実験 5 にもちいた笹は、実験 7 にも使用したため、実験 7 の結果が 5 に記入されているのである。 $\mu'a$  の値は、 $f(x)$  の函数形が (3) 式か (5) 式のどちらかであるとすると、 $x$  が小さいときの笹の抜ける速度 (第 5 図 B) から (4)' 式または (6)' 式をもちいて求めることができる。

第 1 表からわかることは、 $-3^{\circ}\text{C}$  の積雪の  $\mu'_1$  は、 $0^{\circ}\text{C}$  の湿り雪 (含水率 2~3%) のそれよりおよそ数十倍大きいと言うことである。それゆえ、 $-3^{\circ}\text{C}$  の積雪が  $0^{\circ}\text{C}$  の湿り雪に変わると笹の抜ける速度は数十倍増加することになる。斜面積雪がその中に入り込んだ笹だけで支えられている場合は、積雪のグライド速度が数十倍増加するということになる。

笹と積雪との接触面積  $f(x)$  は個々の笹によって異なるけれども、その函数形は現在までのところ  $f(x)=a/\{1+(bx)^n\}$  (ここで  $n=1$  または 2) で表わせるようである。

2) 実験結果と実際の斜面積雪のグライド量との比較

$\mu'f(x)$  の函数は個々の笹によって異なり、また、実際の斜面積雪の中にどのような笹が入り込んでいるかは不明である。そこでここでは、第 1 表の実験 5 (または 7) の笹が斜面積雪の中に入り込んでいるものとし、積雪のグライド量と時間との関係を調べてみることにしよう。簡単のために、第 10 図のような傾斜  $\theta$  の斜面上に、底面積  $s$ 、厚さ  $h$ 、密度  $\rho$  の積雪のブロックを考え、積雪の中には  $n$  本の笹 (ここでは実験 5 の笹) が入り込んでおり、地面には多数の笹が敷きつめられているとする。そうすると、このブロックに作用する力の釣合いから、次式が与えられる。



第 10 図 笹地斜面上の積雪ブロックに作用する力

$$\rho h \sin \theta = \frac{n}{s} \tau_1 + \tau_2 = \left\{ \frac{n}{s} \mu'_1 f(x) + \mu'_2 \right\} \frac{dx}{dt} \tag{7}$$

積雪の中に実験 5 (または 7) の笹が入っているとすると、 $\rho h$  が時間的に変わらない場合、(7) 式は

$$\frac{1}{\rho h \sin \theta} \left\{ \frac{n}{s} \cdot \frac{\mu'_1 a}{b} (\tan^{-1} bx - \tan^{-1} bx_i) + \mu'_2 (x - x_i) \right\} = t - t_i \tag{8}$$

となる。上式の  $\mu'_1 a$  と  $b$  の値は第 1 表に、 $\mu'_2$  の値は II 節の 2) に与えられているから、単位底面積の積雪の中に入り込んでいる笹の本数  $n/s$  がわかれば、積雪のグライド量が (8) 式より求まることになる。著者の経験から考えるとグライドが活発な所で数本/ $\text{m}^2$  程度で、 $10$  本/ $\text{m}^2$  以上笹の入った積雪はほとんど動かないものと考えられる。しかし、正確なところは不明である。そこで、 $n/s$  を未知数とし、これに適当な値を代入し、実際の斜面での積雪のグライド量と比較してみた。ところで、(8) 式は  $\rho h$  が時間的に一定として解いたものであり、また  $\mu'_1 a$  は積雪の乾湿によって著しく変化した。それゆえ、比較にあたっては、これらの変化のない場合のグライドの値が必要となる。

第 11 図に示した 1974~75 年冬の笹地斜面のグライド量<sup>3)</sup>は、この条件を満している。この冬のグライド測定地点の積雪深<sup>4)</sup>は、'74 年 12 月中頃より翌年 3 月初旬まではほぼ一定で、斜

面に直角に測った積雪深は約 100 cm であった。また、この期間の地上 60 cm の雪温<sup>4)</sup>は  $-2^{\circ}\sim-3^{\circ}\text{C}$  で、 $0^{\circ}\text{C}$  になったことはない。一方、積雪底面の温度は終始  $0^{\circ}\text{C}$  を保っていた。グライドの測定場所は、北海道間寒別の南斜面で、傾斜は  $30\sim35^{\circ}$  であった。それゆえ、 $\mu_1 a$  としては、第 1 表の  $-3^{\circ}\text{C}$  の実験 5 の値を、 $\mu_2$  としては第 II 節 2) に述べた  $0^{\circ}\text{C}$  の値を (8) 式に入れ、また  $h=100\text{ cm}$ 、 $\theta=30^{\circ}$  を代入する。積雪の密度  $\rho$  は  $0.30\text{ g/cm}^3$  とした。そうして、 $n/s$  に適当な値を入れ、(8) 式よりグライド量  $x$  と時間  $t$  の関係を求めた。第 11 図に破線で示した曲線がそれで、曲線 A が  $n/s=2\text{ 本/m}^2$ 、B が  $3\text{ 本/m}^2$ 、C が  $4\text{ 本/m}^2$  の場合のグライド量である。黒丸印で示した地点 3 のグライド量は破線 B と ×印で示した地点 1 のグライド量は、2 月 8 日にクラックが発生するまでの間、破線 C とよく一致している。すなわち、地点 3 では  $n/s=3\text{ 本/m}^2$ 、地点 1 では  $4\text{ 本/m}^2$  の笹が積雪の中に入っておれば、(8) 式の計算結果は実測値と一致することになる。これらの地点での  $n/s$  の値は不明であるが、前に述べたように  $n/s=\text{数本/m}^2$  という値は妥当な値である。それゆえ、笹地斜面における積雪のグライドは、(7) 式によって示されると結論することが出来る。

なお、(8) 式を計算してみると、 $n/s=3\text{ 本/m}^2$  の場合、地面に倒伏した笹が積雪に及ぼす抵抗  $\tau_2$  は  $x$  にも依存するが、積雪中の笹の抵抗  $\tau_1$  の約 1 割である。言いかえれば、笹地斜面の積雪は、その中に入り込んだ笹によって主に支えられているということになる。

ま と め

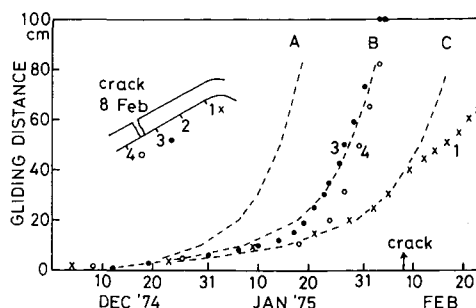
笹地斜面の笹は、根雪当初の降雪によってその大部分が地面に倒伏し、地面上の土や石、小さな凹凸をおおいかくす。残った一部の笹はその後の降雪によって積雪の中にとじ込められる。そこで、笹地斜面上の積雪は、積雪内部に入り込んだ笹と地面に倒伏した笹の抵抗とによって支えられていると考え、これらの抵抗の測定を行なった。

実験の結果、積雪の中に入り込んだ一本の笹が積雪に及ぼす抵抗  $\tau_1$  は、次式

$$\tau_1 = \mu_1' f(x) \frac{dx}{dt}$$

で表わすことができた。 $dx/dt$  は笹と積雪との相対速度、 $f(x)$  は笹と積雪との接触面積、 $\mu_1'$  は抵抗係数である。 $\mu_1' f(x)$  は第 1 表に示されている。抵抗係数  $\mu_1'$  は、乾き雪 ( $-3^{\circ}\text{C}$ ) が湿り雪にかわると数十分の一に減少する。一方、地面に倒伏した笹が積雪に及ぼす抵抗  $\tau_2$  を第一近似として  $\tau_2 = \mu_2' dx/dt$  で表わすと、抵抗係数  $\mu_2'$  は、積雪底面が  $0^{\circ}\text{C}$  の場合、 $1.5\text{ g}\cdot\text{day}\cdot\text{cm}^{-3}$  となった。

笹地斜面の積雪に対して、これらの二つの抵抗が作用しているとすると、積雪のグライド



第 11 図 笹地斜面における積雪のグライド量 (1974~75 年冬) と (8) 式との比較  
破線 A, B, C は (8) 式の  $n/s$  をそれぞれ 2 本/ $\text{m}^2$ , 3 本/ $\text{m}^2$ , 4 本/ $\text{m}^2$  とした場合を示す



を表わす式として次式が求まる。

$$\rho h \sin \theta = \left\{ \frac{n}{s} \mu'_1 f(x) + \mu'_2 \right\} \frac{dx}{dt}$$

$\rho$  は積雪の密度,  $h$  は積雪深,  $\theta$  は斜面の傾斜角,  $n/s$  は単位底面積当りに積雪に入り込んでいる笹の本数である。  $n/s$  を 3~4 本/m<sup>2</sup> とし, 本論文の実験結果を上式に代入して求まる積雪のグライド量  $x$  は, 笹地斜面でのグライド量の実測値とよい一致を示した。  $n/s=3\sim 4$  本/m<sup>2</sup> の値は妥当な値と考えられるので, 笹地斜面のグライドは上式で表わされると結論した。

終りに, この研究に御協力いただいた秋田谷英次博士および雪害科学部門, 応用物理部門の方々, 論文を校閲していただいた若浜五郎教授に心から感謝致します。

なお本研究は, 文部省科学研究費, 自然災害科学 (2), 「全層なだれ発生前に起る諸現象の研究」(代表者 遠藤八十一) のもとに行なった。

## 文 献

- 1) 遠藤八十一・秋田谷英次 1977 笹地斜面における積雪のグライド機構 I. 低温科学, 物理篇, **35**, 91-104.
- 2) Y. Endo and E. Akitaya 1978 Glide Mechanism of a Snow Cover on a Slope Covered with Dwarf Bamboo Bushes. DEUXIEME RENCONTRE INTERNATIONALE SUR LA NEIGE ET LES AVALANCHES, 12-13 et 14 avril 1978 GRENOBLE FRANCE, ANENA, 71-80.
- 3) 秋田谷英次 1975 斜面積雪の挙動の研究 V. 一斜面積雪のグライドとクラックの発生, 1974~1975年冬一. 低温科学, 物理篇, **33**, 103-108.
- 4) 成田英器・清水 弘 1975 雪崩観測実験室附近のなだれ分布 II (昭和 49~50 年冬期). 低温科学, 物理篇, **33**, 資料集, 35-46.

## Summary

On a slope covered with dwarf bamboo bushes, the first winter snowfall causes a great number of bamboo bushes to lie down on the ground, which prevents the ground and the bottom of a snow cover from contacting with each other. Meanwhile, not having fallen down, some of them have been contained within a snow cover by subsequent snowfalls. Therefore, two resistive forces act on a gliding snow: the resistive force by unfallen bamboo stands within a snow,  $\tau_1$ , and the resistive force by fallen bamboo stands on the ground,  $\tau_2$ .

In order to test  $\tau_1$ , such a simple experiment as is shown in Fig. 1 was made of the motion of a bamboo stand slipping out of a snow mass under the constant load  $W$ . The length,  $x$ , of a bamboo stand slipping out of a snow was measured with the lapse of time. The results of the experiment shown in Figs. 2, 3 and 4 indicate that  $x$  smaller than 5~10 cm are proportional to time, but  $x$  above 5~10 cm increase exponentially with time.

Assuming that a snow mass around a bamboo stand is a Newtonian fluid,  $\tau_1$  is given by the following equation:

$$\tau_1 = \mu_1 f(x) \frac{1}{d} \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

where  $d$  is the thickness of the shear boundary layer of a snow mass around the bamboo

stand,  $\mu_1$  is the viscosity of the layer, and  $f(x)$  is a contact area between the bamboo stand and the snow mass, being a decreasing function. Assuming that  $f(x)$  in eq. (1) is given by either  $f(x) = \frac{a}{1+bx}$  or  $f(x) = \frac{a}{1+(bx)^2}$ , the length,  $x$ , of a bamboo stand slipping out of a snow mass under the constant load  $W$  is expressed by either

$$\frac{\mu'_1 a}{Wb} \left\{ \ln(1+bx) - \ln(1+bx_i) \right\} = t - t_i \quad \text{for} \quad f(x) = \frac{a}{1+bx}, \quad (2)$$

or

$$\frac{\mu'_1 a}{Wb} (\tan^{-1} bx - \tan^{-1} bx_i) = t - t_i \quad \text{for} \quad f(x) = \frac{a}{1+(bx)^2}, \quad (3)$$

where  $a$  and  $b$  are constants,  $x_i$  is  $x$  at  $t=t_i$ , and  $\mu'_1 = \mu_1/\Delta$ . The function  $f(x)$  can be obtained by fitting either eq. (2) or eq. (3) to the curves shown by solid lines in Figs. 2 and 3. In these figures dashed lines are the best-fit curves to the experimental results. The function  $\mu'_1 f(x)$  and the coefficients,  $\mu'_1 a$  and  $b$ , are given in Table 1.

Measurements of the resistive force,  $\tau_2$ , were made by a glide test of a snow block with a dimension of  $25 \times 25 \times 5$  cm on a artificial slope in a cold room (Fig. 6). This slope was covered with many dwarf bamboo stands arranged parrallel to the direction of the fall line. A snow block on the slope was subjected to an additional load of 22 kg to obtain a weight of a natural snow cover; then the slope was inclined by a desired angle. The results shown in Fig. 7 indicate that the snow block on the slope steeper than  $15^\circ$  (for wet snow) slides down, although the snow block on the slope below  $15^\circ$  glides down slowly at constant speed. Figure 8 shows how gliding velocity of the snow block,  $dx/dt$ , varies with  $\tau_2 = W \sin \theta / 25 \times 25$ . Supposing from this figure that  $\tau_2$  is expressed approximately by  $\tau_2 = \mu'_2 dx/dt$ , the coefficient,  $\mu'_2$ , becomes  $1.5 \text{ g} \cdot \text{day} \cdot \text{cm}^{-3}$  for wet snow. Consequently, the equation of equilibrium for glide of a snow block shown in Fig. 10 is given by

$$\rho h \sin \theta = \left\{ \frac{n}{s} \mu'_1 f(x) + \mu'_2 \right\} \frac{dx}{dt}, \quad (4)$$

where  $\rho$  is the snow density,  $h$  is the snow depth,  $\theta$  is the inclination of the slope, and  $n/s$  is the number of unfallen bamboo stands within the unit block.

Figure 11 shows glide movements of a snow cover on a slope having a inclination of  $30 \sim 35^\circ$ . Snow depth on the slope ranged between 90 and 130 cm in a period shown in this figure. Snow temperature at the ground surface and 60 cm above the ground were  $0^\circ\text{C}$  and  $-2 \sim -3^\circ\text{C}$  respectively. Therefore, using  $\mu'_1 f(x)$  of Exp. 5 shown in Table 1,  $\mu'_2 = 1.5 \text{ g} \cdot \text{day} \cdot \text{cm}^{-3}$  (for wet snow),  $\rho = 0.3 \text{ g/cm}^3$ ,  $h = 100 \text{ cm}$  and  $\theta = 30^\circ$  in equation (4), we get relationships between  $x$  and  $t$  for different value of  $n/s$ . Dashed lines A, B and C in Fig. 11 show calculated values for  $n/s = 2, 3$  and  $4$  stands/ $\text{m}^2$  respectively, being in agreement with the measured values. Therefore, it is concluded that the glide motion of a snow cover is given by equation (4) because the values  $n/s = 2 \sim 4$  stands/ $\text{m}^2$  are reasonable.