



Title	雪面の弾性と匍匐
Author(s)	吉田, 順五; 笹谷, 雅信; 内海, 威彦
Citation	低温科学, 4, 11-16
Issue Date	1948-10-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/17453
Type	bulletin (article)
File Information	4_p11-16.pdf



[Instructions for use](#)

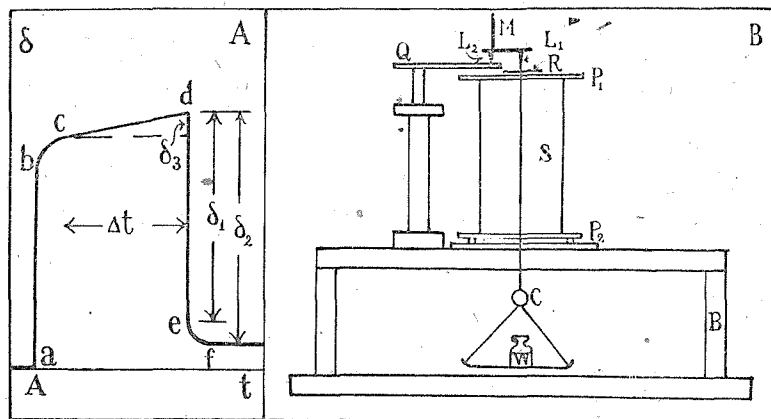
積雪の弾性と匍匐*

吉田順五 笹谷雅信 内海威彦

(低温科学研究所 応用物理学部門)

I 緒 言

積雪の層から四角な雪の柱をきりだし、小さい力をかけておしちぢめる実験をした。力は最大 30 gr-wt/cm² で、力を加えれば縮み、力をとりさればもとえもどる。このように弾性を示すほか、一定の力を加へたまゝにしておくと、積雪の柱は一定の速度で縮んでゆく。すなはち匍匐する。柱の縮みを δ 、時間を t として、 δ と t の関係を第 1 圖 A に示した。時刻 d で力を加へると δ は a から直ちに b の値になるが、 δ はなほ増しつづけて 30 秒から 1 分ののちに c の値になる。これからあとは一定の速度で匍匐して d の値に達する。ここで力をとりさると、ただちに e の値になる。そして 30 sec から 1 min の時間をかけて f の値になり、そこではじめて δ の変化はとまる。



第 1 圖

$b-a$ と $d-e$ 、また $c-b$ と $e-f$ とはそれぞれほとんどあいひとしい。

$b-a=d-e$ を δ_1 、とし $c-a=d-f$ を δ_2 とする。また雪の柱の長さを l とし、柱の断面の 1 cm² についての力を w gr-wt/cm² として、

$$E_1 = w/\delta_1/l, E_2 = w/\delta_2/l \text{ gr-wt/cm}^2 \dots\dots\dots (1)$$

とする。すなわち E_1, E_2 はヤングの弾性率にあたるものである。 δ_1 は δ_2 の 70% から 90% の程

* 低温科学研究所業績、第 54 號。

度である。

$d-c=\delta_3$ とし、また c と d との間の時間を Δt として

$$v=\delta_3/\Delta t \cdot l \cdot w \text{ mm/sec} \cdot \text{cm/gr-wt} \dots\dots\dots (2)$$

で匍匐の速さの係数を表わすこととする。

II 測 定

第1圖 B が測定装置である。B は木の臺である。S が断面 5 cm 角の雪の柱で、厚さ 2.5 mm、直径 8 cm の眞鍮の圓板 P_1, P_2 を上下につけてある。 P_1 の上にうすい金属の板 R をわたし、その両端からひもをさげて、その下の端に竹棒 C を結ぶ。C に皿を吊し、それに錘り W をのせると S に力が加わる。Q は高さを調節できる臺で、M は鏡である。鏡の臺のうしろ脚 L_2 は Q のうえにのり、まえあし L は R にあけた孔を通して直接に P_1 のうえにのっている。S が縮むと M が前に傾くので、この傾きを望遠鏡と物指とをつかつてはかり、それから S の縮みを求めた。 L_1, L_2 の距離は 2.43 cm、鏡と物指との距離は 115 cm であつた。

一定の長さを縮むのに要する時間をストップウォッチではかつて匍匐の速さをもとめた。雪にかかる力は錘り W と、眞鍮板 P_1 (96 gr) と、錘り皿との重さをたしたものである。匍匐の速さはこの外から加へられた力の大きさに比例して、力と匍匐の速さとのグラフをかくと、力が 0 のときには匍匐も 0 になることが示される。雪の柱は自分自身の重さによつても匍匐する可能性が考へられるが、それが無い。雪の柱の高さ l は 15 cm と 7 cm とにしたが、この程度の高さでは自身の重さによる歪力は匍匐限界の近くにあるものと考へられる。

弾性はつぎのようにしてはかつた。針金をさしいれて竹棒 C を持ちあげて W の重さを取りさつたり、または針金をとつて W の重さをかけたたりする。そのときにおこる縮みや伸びを測定して、それを δ_1, δ_2 とした。したがつて、W の重さをとつたときでも眞鍮板 P_1 の重さがかかっているわけである。それゆゑ、前節の (1) 式と (2) 式とでは w の意味がちがう。(2) 式では外から加へた力そのものであるが、(1) 式では外から加へた力の變化量である。

雪の柱 S_1 に P_1, P_2 をただつけただけでは、 P_1, P_2 と雪との接觸が弱いので、この部分で大きな縮みがおこつて、實際の柱の縮みは測定できない。それで、 P_1, P_2 を両手ではさんで暖めておき、それから雪につけた。すると、雪は少しとけて、接觸がよくなり、やがてとけた水は凍つて雪と P_1, P_2 とは密着する。 P_1, P_2 に密着している氷の厚さは 2 mm ほどある。實際にこのようにすると、ほんとうの雪の縮みがはかられることは、つぎのようにして説明される。おなじ雪で、15 cm と 7.5 cm との高さの柱をつくり、それについて E_1, E_2, v を測定したばあい、もし柱の高さによつて値がかわらなければ、それは正しい値である。第1表に示すように、高さがちがつてもこの値はだいたい一致している。完全な一致は豫期できない。積雪からうすい板をき

りだしてすかしてみると明るいところと暗いところがまばらにりまじつていて、積雪は決して一様でないことがわかる。したがって、おなじ積雪のなかからとつたとしても、二つの雪の柱で多少性質がちがう。第1表の値にみる程度の長さによるちがいは、このことから當然豫期されるものである。

第 1 表

	高さ cm	密度		
		0.22	0.21	0.25
$\nu \times 10^4$	7.5	0.06	0.07	0.012
mm/sec. cm/gr-wt	15.0	0.10	0.08	0.010
$E_1 \times 10^{-4}$	7.5	1.9	2.0	4.4
gr-wt/cm ²	15.0	1.5	1.6	4.6
$E_2 \times 10^{-4}$	7.5	1.5	1.5	3.2
gr-wt/cm ²	15.0	1.1	1.4	3.2

積雪は層をなして、一つの層についてはだいたい一様な性質をもっているが、層がちがえば性質がちがう。一つの層はあまり厚くないので、一様な性質の長い雪の柱は鉛直方向にはきりとすることができない。水平方向ならばかなり長いものでとれる。もし、方向によつてちがいがなければ水平方向にきりとる方が便利である。それで、おなじ雪の層から、水平方向と鉛直方向とに柱をきりとつて測定してみたが、その結果は第2表のとおりで方向によつてたいしたか

第 2 表

	密度	0.21			0.23			0.29		
		たて	よこ	0.08	0.07	0.024	0.022	0.005	0.010	
$\nu \times 10^4$	たて	0.08	0.024	0.005						
mm sec. cm/gr wt	よこ	0.07	0.022	0.010						
$E_1 \times 10^{-4}$	たて	2.0	2.8	7.3						
gr-wt/cm ²	よこ	2.0	2.2	5.4						
$E_2 \times 10^{-4}$	たて	1.6	2.2	6.3						
gr-wt/cm ²	よこ	1.5	2.3	4.4						

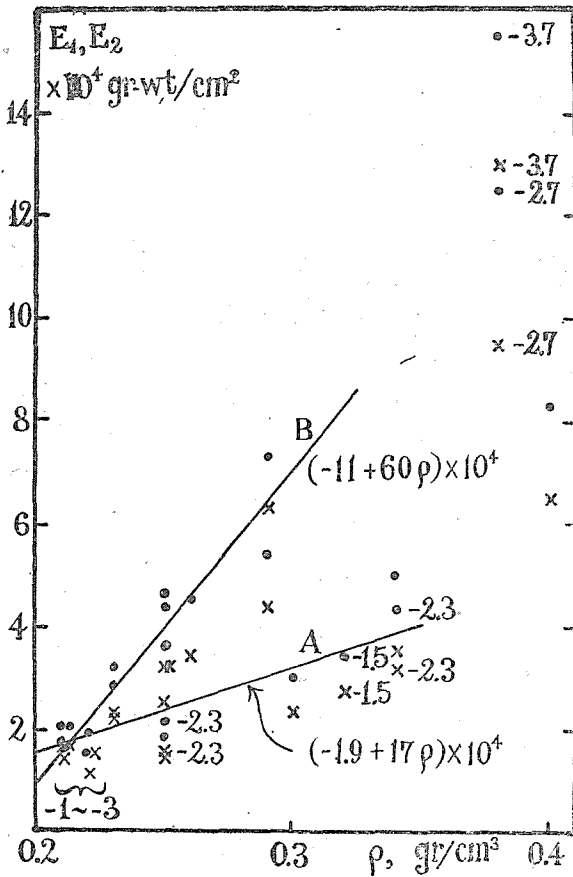
はりはない。すなはち、積雪はほぼ等方質と考へてよい。ただ、第2表で比重0.29雪は、鉛直方向のEが水平方向のEよりもかなり大きい。この雪をとつた層は比重をはかつてみると層の上の方と下の方とで20%ほどのちがいがあり、一様な層ではないのである。たてとよことの差異はこのためにでた

ものと考へられる。それで、このような特別な場合はのぞいて、一般に雪は等方質であるとみなし、雪の柱はおもに水平方向に切りとつて測定につかつた。

III 測定結果

(A) 自然の状態のまゝの積雪 積雪のいろいろな層から、自然におかれた状態を崩さないようにして雪の柱をきりだして測定した結果を第2圖と第3圖とに示した。第2圖はヤングの弾性率 E_1 , E_2 , 第3圖は匍匐係数 ν で、横軸にはいずれも密度 ρ をとつた。積雪の性質は密度だけできまるわけではなく、温度や、それまでの経歴によつても影響される。しかし、密度の影響がもつとも大きいと考へられるので、密度と E_1 , E_2 , ν との関係を圖に表わした。

第3圖の圓點は E_1 の測定點、十字點は E_2 の測定點である。測定點に數字をつけたものがあるが、この數字はその測定を行つたときの氣温で、これは同時に雪の温度にだいたいひとしい



第 2 圖

のである。数字をつけない測定點は氣温が -5°C から -13°C のあいだでとつたものである。

数字をつけた測定點は、みな -3°C 以上 -1°C 以下でとつたもので、このような比較點温度の高い場合の E_1 は、その傾向を直線 A で表はすことができる。また、 $-5^{\circ}\text{C} \sim -13^{\circ}\text{C}$ の E_1 は直線 B であらわされる。ただし密度 ρ は $0.2 \sim 0.35 \text{ gr/cm}^3$ の範圍である。0.35 以上の ρ に対しては測定例が少なかつたので、ただ測定點だけを書き入れてある。第 3 圖は匍匐速度の係數 v の圖であるが、A 直線の近くの點は温度 $-1 \sim -3^{\circ}\text{C}$ での測定點、B 直線の近くのものは温度 $-5 \sim -13^{\circ}\text{C}$ での測定點である。ただ、括弧のなかに入れてある測定點は例外で、それにつけてある数字で示された温度でのものである。

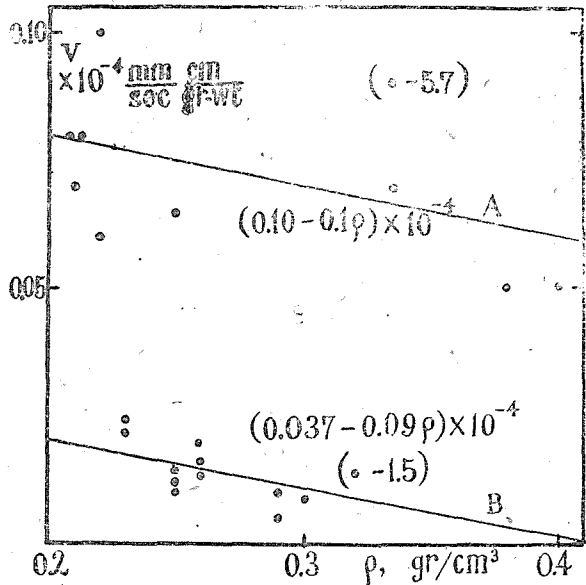
第 2 圖、第 3 圖の直線 A, B は次の式で與へられる。

第 2 圖	{	$E_1 = (-1.9 + 17\rho) \times 10^4 \text{ gr-wt/cm}^2$	$-1^{\circ} \sim -3^{\circ}\text{C}$
		$E_1 = (-11 + 60\rho) \times 10^4 \text{ gr-wt/cm}^2$	$-5^{\circ} \sim -13^{\circ}\text{C}$
第 3 圖	{	$V = (0.10 - 0.1\rho) \times 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{sec}} \frac{\text{cm}}{\text{gr-wt}}$	$-1^{\circ} \sim -3^{\circ}\text{C}$
		$V = (0.037 - 0.09\rho) \times 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{sec}} \frac{\text{cm}}{\text{gr-wt}}$	$-5^{\circ} \sim -13^{\circ}\text{C}$

積雪の下の方にあるザラメ雪では、密度 0.32、温度 -1.4°C で、 v は 0.0001×10^{-4} で、 $E_1 = E_2 = 19.5 \times 10^4$ であつた。密度はあまり大きくないのに E_1, E_2 は非常に大きく、 v は非常に小さい。このザラメ雪の粒の大きさは 1 mm から 2 mm ぐらいであつた。うゑに測定した、ザラメ雪以外のものでは粒の大きさは 0.3~0.8 mm ぐらいである。

E_1, E_2, v が履歴性を示すことがある。力 w をふやしながら測定を行つたのち、 w をへらしながら測定すると E_1, E_2 は前の値より 10~20% 大きくなることもあるし、 v は半分以下になつてしまうこともある。密度の小さい雪についてよくおこる。このような場合には、 w を増してい

く場合の値をとつて、圖にのせた。また、 E の値は w によつて變ることもある。 w が大きいと E も大きくなる場合と、 E が逆に小さくなる場合とある。この差異は20%ぐらいであるが、ときには80%にもなることがある。このようなことは、積雪の性質が非常に變化しやすいことを示すものであるが、それにしても、第2圖、第3圖から、一般にいつて、 E 、 E_2 は ρ とともにまし、 v は ρ とともにへることがわかる。



第 3 圖

第2圖でみるとおり、密度 ρ が0.2~0.3 gr/cm³の積雪では E は $2\sim 3 \times 10^4$

gr-wt/cm²、すなわち $2\sim 3 \times 10^7$ dyne/cm²である。この値をつかつて、 $\sqrt{E/\rho}$ により音波の速さを計算すると100 m/secの程度になる。すなわち、積雪のなかの音波の速度は100 m/sec前後と考へることができる。

(B) かきまぜた雪 深い雪のなかを一度人があるくと、そのあとがかたくなることはよく知られている。ふみつけられた下の方ばかりでなく、歩いたためにただかきまぜられただけの上の方の雪もかたくなる。それで、棒で雪をよくかきまぜてから、ある時間をおいてその弾性係数 E や匍匐速度の係数 v をはかつてみた。

第3表 (v , E_1 , E_2 の単位は第1, 2表とおなじ)

時 間	0	80分	24時	比 較
密 度	0.29	0.32	0.40	0.38
温 度	-6.8	-6.0	-2.5	-2.7
v	0.005	0.022	0.050	0.050
E_1	7.3	4.5-7.5	13.0	12.5
E_2	6.3	3.5-6.0	10.9	9.5

第3表にそのひとつの例をあげた。第2行の時間0の値は、かきまぜるまへの雪についての値である。これをかきまぜてから80分ののちに第3行の値になった。温度はあまりかわっていないで、密度は大きくなっているのに v がだいぶ前よりも大きくなった。 E_1 , E_2 は値が一定しな

い。力をかけたりとつたりするたびに縮みや伸びがいちいちがうのである。それで表には E_1 , E_2 の變化する範圍を示した。80分ぐらいの時間ではまだ雪がおちついてないことがわかる。24時間たつたときにはすっかり落付いて、 v や E は一定の値を示す。密度はこのあいだに非常にふえている。 v が大きくなつてはいるが、これは温度が高くなつたためであらう。 E_1 , E_2 も大きくなつて、この意味で雪はかたくなつたわけである

しかし、この E_1 , E_2 の値は、自然におかれたまゝでほゞおなじ密度をもつ雪の E_1 , E_2 とだいたいおなじ大きさである。比較と書いた行に、前の項 (A) にあげた密度 0.38 の雪の値をかかげた。

以上は一様な性質をもつたある一つの雪の層をかきまぜたのであるが、重なりあつた二つの層をまぜあわせてもだいたいおなじことである。もつとも、あまり性質のちがつていない二つの層をまぜあわせたのであつた。非常に性質のちがふ層をまぜあわせる機會はなかつた。まぜあわせたのち、數時間は、 v は大きく、 E の値が變動するが、一晝夜たてば落ついて、 v は小さくなり、 E は大きくなる。そして、 v や E の値は、自然のまゝにおかれたおなじ密度の雪とだいたいおなじ値をもっている。

一晝夜ぐらゐの短い時間では、粒の大きさや形がそれほど變るとも考えられない。したがつて、以上のことから、密度が同じで、粒の大きさや形もおなじならば、粒と粒との間を結んでいる力はいつでもほゞおなじものになつているように考えられる。

摘 要

積雪から 5 cm × 5 cm × 15 cm の一様な性質の雪の柱をきりとつて、荷重し、ヤングの弾性率 E 、匍匐速度 v をはかつた。荷重は最大 30 gr-wt/cm² であつた。密度 ρ が 0.20~0.35 の範圍では E , v は次の式で表わされる。

$$\begin{aligned} -1^\circ \sim -3^\circ \text{C} & \begin{cases} E = (-1.9 + 17 \rho) \times 10^4 \text{ gr-wt/cm}^2 \\ v = (0.10 - 0.1 \rho) \times 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{sec}} \frac{\text{cm}}{\text{gr-wt}} \end{cases} \\ -5^\circ \sim -13^\circ \text{C} & \begin{cases} E = (-11 + 60 \rho) \times 10^4 & // \\ v = (0.037 - 0.09 \rho) \times 10^{-4} & // \end{cases} \end{aligned}$$

$\sqrt{E/\rho}$ により音波の速度を計算すると 100 m/sec の程度になる。(文部省科學研究費、學振援助金による。)

Résumé.

A pillar of snow (5 × 5 × 15 cm.) was lightly loaded (<30 gr-wt/cm²) and its Young's modulus E and creeping velocity v were measured. E and v vary with the density ρ of the snow. For $\rho = 0.2 \sim 0.35$ gr/cm³, E and v can be expressed by the following formulae:

$$\begin{aligned} -1 \sim -3^\circ \text{C} & \begin{cases} E = (-1.9 + 17 \rho) \times 10^4 \text{ gr-wt/cm}^2 \\ v = (0.10 - 0.1 \rho) \times 10^{-4} \text{ mm/sec cm/gr-wt} \end{cases} \\ -5 \sim -13^\circ \text{C} & \begin{cases} E = (-11 + 60 \rho) \times 10^4 & // \\ v = (0.037 - 0.09 \rho) \times 10^{-4} & // \end{cases} \end{aligned}$$

$\sqrt{E/\rho}$ gives 100 m/sec for the sound velocity in the snow layer.