氷河の踏査が、1 時大いに流行つたことがある。

その名残りが、今日まで続いているので、現在英国氷河学会の会長をしているセリグマン氏などが、その 1 例である。セリグマン氏は、倫敦郊外に大邸宅をもっている金持ちで、学者ではない。しかし氷河には、深い興味をもっているので、雪に関する著書もある。そして自分のやつている英国氷河学会から、『氷河学雑誌』という専門雑誌を発行している。編輯など大部分自分でやつているらしく、初めのうちは自宅で雑誌を発行していたくらいである。セリグマン氏は、現在国際雪氷委員会の会長をやっている。この委員会は、20 年くらい前に、米国の

チャーチ博士の尽力で出来たもので、国際水理学協会の一部になつている。初め水資源としての積雪調査から出発したが、その後、雪や氷一般の問題を取扱うようになった。

この国際雪氷委員会は、チャーチ博士時代は、大いに活発だったが、先年同博士が老令のため引退してからは、かなり消極的な存在になつた。瑞典のアールマン教授が、あとを継いだが、間もなくノルウェイ駐在大使に任命されたので、暫く空席であつた。そのあとをセリグマン氏が引き受けたのであるが、今のところやや有名無実に近い形になつている。

研 究

雪質の調査 特に抗張力、抗圧力及び硬度について

Properties of Deposited Snow—Its Tensile Strength,
Compressive Yield Strength and Hardness.

村 松 郁 榮 *

I. MURAMATSU

1. 緒 言

雪の力学的性質は温度の影響を受けて著しく変動し易いものである。それ故抗張力、抗剪力等を測る場合には、僅か許りの試料をとつて時間をかけて測るやり方は信用をおき難い。一方現場を広範囲に調査して歩くということも重要な仕事である。それで小型で携帯便であり、且短時間で測定出来る計器が考えられて来ているがここに述べる円筒及び押し秤は、その趣旨で試みられたものである。

2. 測定の状況

岐阜県古城郡坂上村高山保線区営林班詰所裏山の東北向斜面に積雪断面を作つた。この断面は大体 5 層に分けることが出来たのでこの各層について雪質（抗張力、硬度、粒形及粒径、密度、含水率）を調べた。〔図-1、2 参照〕

時刻は、1953 年 3 月 7 日 9h30m—14h 15m、天候は晴後薄曇、気温は次の通りである。

図-1

9.30 11.00 11.40 12.50 13.00 13.55 14.15 14.17
4.4°C 8.3 7.5 6.5 7.2 6.3 4.9 4.7

図-2 積雪経過図（坂上線路班測定）

3. 硬度測定

方法 直角円錐形の笠を持つた押し秤〔図-3〕で積雪断面の各層をゆつくり押しつけ、一定の静的な圧力に

図-3 吊り秤改造硬度計 秤量 4 kg

* 岐阜大学農学部

対する穴の大きさ(直径)を以て表わす。

林班裏にて試験をした結果を表-1 に示す。

測定 I まだ融雪期に入らぬ 1953 年 2 月 18 日 坂上営

表-1 硬度試験結果 時 1953. 2. 18. 所 坂上営林班裏

粒 径 [mm]	層	雪 質	F [kg]	2 r [mm]	平均 [mm]	標準偏差 [mm]
	100	新 雪	2	35, 36, 35, 40, 38	36.8	1.94
0.5~.7 (4~5)	90	小ザラメ	3	27, 27, 36, 29, 30, 31	30.0	3.05
		大ザラメ	3	17, 16, 20, 21, 24, 22	20.0	2.77
0.4~0.6	80	ザラメ	3	7, 7, 7	7.0	0.0
		小ザラメ	3	21, 18, 19, 22, 19, 22, 20	20.1	1.46
		シマリ	3	19, 21, 18, 24, 15, 16	18.8	3.00
0.8~1.0 (8)	70	小ザラメ	3	13, 10, 10	11.0	1.41
0.4~0.5		シマリ	3	30, 30	30	0.0
(1.0~1.5)	60	ザラメ	3	16, 16	16	0.0
0.4~0.5		シマリ	3	29, 29	29	0.0
(1.0~1.5)	50	小ザラメ	3	14, 17, 16, 15, 21, 19	16.6	2.30
		シマリ	3	11, 16, 12, 14, 17	14.0	2.28
0.2	40	シマリ	3	9, 14, 11, 12, 17	12.6	2.73
		シマリ	3	12, 15, 12	13.0	1.41
	30	ザラメ	3	29, 24, 28, 29, 31	28.2	2.72
0.5~0.8	20	シマリ	3	35, 34, 34, 29, 30	32.4	2.40
1.0~1.5	10	ザラメ	3			
	0					

測定 II 所, 坂上営林班詰所裏山, 時 1953. 3. 7.

11^h40^m~, 測定結果は表-2 に示す。

表-2 硬度測定 1953. 3. 7 11^h. 40^m~.

坂上営林班詰所裏山

層	圧力 [kg]	穴 の 径 [mm]	平 均	標準偏差
I	3	31, 11, 26, 23	22.7	7.36
II	3	38, 42, 32, 25, 44, 41	37.0	6.7
	3	50, 32, 24, 37	35.7	9.4
III	3	42, 41	41.5	0.5
IV	3	30, 22, 38, 34, 36, 42, 40	34.5	6.4
V	3	45, 43, 40	42.6	2.0

表-2 に於て, 測定点は各層の中央の比較的均一な所(即ち層境の大ザラメの所を避けて)を測定したのであるが, 第1表に較べると測定値は変動している。この測定は技術を要せぬ簡単なものであるから, 実験誤差ではなく, 既に融雪期に入つて居るため同一らしき層にも不均一性が現われているものと思われる。この事は抗張力測定の場合も同様である。尙徐々に圧力を増してゆく時, 圧力 1 kg の附近で少し崩れる場合が多かつた。

測定 III 押し秤りの圧力を F , 穴の径を $2r$, 雪の抗圧力を σ とすると〔図-4〕,

$$F(r) = \int_0^r 2\pi(r-x)\sigma(x)dx \dots\dots\dots(1)$$

但し, 雪の抗力は円錐面に直角に働く抗圧力のみと仮定してある。

(1)式を r で 2 度微分すると

$$\frac{d^2F}{dr^2} = 2\pi\sigma(r) \dots\dots(2)$$

となる。

等質の雪(新雪を踏み固めたもの)に対して F を色々に変えて $2r$ を測定した結果を表 3 に示す。

この $F \sim r$ 関係か

ら $\frac{d^2F}{dr^2}$ を作つて見ると, 表 3 の結果か

らは $\frac{d^2F}{dr^2} = 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} r \text{mm}$ が得られる。

それ故 $\sigma(r) = \frac{0.02}{2\pi} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} r \text{mm} = 3.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} r \text{cm}.$

図-4

表-3 等質の雪に対する硬度計の圧力と穴の径との関係

圧 力 [kg]	穴 の 径 [mm]
0.5	9
1.0	12
1.5	14
2.0	15.5
2.5	17
3.0	18
3.5	19
4.0	20

4. 抗張力の測定

原理 目的の層の雪を円筒で水平に採取し、押し棒で押し出すと、ある長さまで押し出された雪の棒は自重で筒の端から切れて落ちる。この落ちる時の雪棒の長さによって切れる時の力が求まるであろう。この方法は四手井氏が雪氷 Vol. 11 No. 5 に発表されているが、この切れる力が剪断力であるか、曲げモーメントであるか明かにされていない。この点を確認するためには色々の径を持つた円筒で実験を行つて見るとよい事が判つた。即ち剪断力によるものとする、切れる時の長さ l は、円筒の半径 r に無関係に一定値をとる筈であり、曲げモーメントによるとすると $l^2 \propto r$ となる。この理論は次に述べる。

a) 剪断力 S_0 で切れるならば、

雪棒の切れる長さ l 、雪の密度 G 、雪棒の断面積 A と

すると $S_0 = G \cdot l \cdot A$.

単位面積当りの抗剪力は

$$s_0 = \frac{S_0}{A} = G \cdot l$$

故に等質の雪に対しては l

は r に無関係に一定値 s_0/G となる。

b) 曲げモーメント M_0 で切れるとすれば

$$M_0 = \frac{1}{2} l \cdot l G A$$

曲げに対する抵抗力は抗張、抗圧力である。

この場合の Stress-strain curve は 図-7 の如きものとし、変形が進んでプラスチックな領域が雪棒に現われた時破壊に入るとすると (図-8) ,

$$M_0 = \int_{-r}^r \eta \sigma(\eta) dA = \int_{-r}^r \eta c \eta 2\sqrt{r^2 - \eta^2} d\eta$$

$$= 2cr^4 \frac{\pi}{8}, \quad \text{但} \quad c\eta = \sigma.$$

図-5

表-4 押し出し式抗張力測定結果. 1953. 3. 7. 11^h~12^h. 50^m 気温 6.3°C 詰所裏山

層	r [cm]	l [cm]	l の平均値	$S, d.$	$\sigma_0/G = 2 \frac{l^2}{r}$	G	σ_0 の平均値 $\left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} \right]$
I	0.45	8	(8)		(285)	0.242	87
	0.95	13, 13, 15, 12, 14	13.4	1.07	380	//	
	1.4	17, 15, 17, 20	17.2	1.67	420	//	
	1.9	18, 19, 18, 19	18.5	0.5	360	//	
	2.35	18, 21, 20, 25, 18	20.4	2.6	355	//	
II	0.45	6	(6)		160	0.22	62
	0.95	10, 7, 10, 6, 8, 7, 8	8	1.4	135	//	
	1.4	18, 15, 18, 15 (11, 12)	15.6	2.8	322	//	
	1.9	21, 16, 20, 16	18	2.3	341	//	
	2.35	22, 28, 20	23	1.7	450	//	
III	0.45	6	(6)		160	0.30	64
	0.95	11, 10, 10, 9, 9	10	0.8	210	//	
	1.4	12, 12, 11, 13, 12	12	0.6	206	//	
	1.9	16, 15, 16	15.7	0.5	260	//	
	2.35	16, 17, 18, 16, 15	16.4	1.0	230	//	
IV	0.45	8, 7	(7.5)	0.5	250	0.37	151
	0.95	16, 18, 16	16.5	1.0	575	//	
	1.4	16.5, 16.5	16.5	0	390	//	
	1.9	18, 20	19	1.0	380	//	
	2.35	27, 22, 22	23	2.8	450	//	
V	0.45	—	—	—	—	0.35	171
	0.95	19, 15, 16, 16	16.5	1.55	575	//	
	1.4	17, 16	16.5	0.5	390	//	
	1.9	17, 17	17.0	0	305	//	
	2.35	17, 20, 21, 16	18.5	1.65	292	//	

r . 雪棒の半径, l . 雪棒が切れる時の長さ, G . 密度, σ_0 . 抗張力

図-6
Stress-strain
curve図-7 斜線の部分
がプラスチック
になった領域図-8
中立面

この式で $\eta = r$ に於て $\sigma = \sigma_0$ になった時の M が破壊を起すモーメント M_0 であるとする

$$M_0 = 2 \frac{\sigma_0}{r} r^4 \frac{\pi}{8} = \frac{1}{2} I^2 \cdot G \cdot A.$$

$$\therefore \sigma_0 = 2G \cdot \frac{I^2}{r}$$

それ故等質の雪に対しては $I^2 \propto r$ となる。プラステ

図-9 押し出し式抗張力試験結果 1953.3.7. 11^h.00~12^h.50^m 気温 6.3°C 坂上営林班詰所裏山

5. 粒形

雪粒の形はシマリ雪から大ザラメ雪まで全部丸くなつて居り、ザラメ雪はシマリ雪の粒と同程度のものが沢山くつついて1塊となつたものであつた。

6. 雪質の表

上述の測定結果をまとめると表-5になる。

表-5 雪質調査表 1953.3.7. 坂上営林班裏山

層	雪 質	硬 度 mm (偏差) 3kg	抗張力 $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^2}$	密度 $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$	粒径 mm
I	94-大ザラメ	22.7 (7.36)	87	0.242	0.7 (3~6)
	75-大ザラメ シマリ	37.0 (6.7)			
II	小ザラメ	35.7 (9.4)	62	0.22	0.8 (5~8)
	58-水雪混 シマリ	41.5 (1.5)			
IV	42-小ザラメ	34.5 (6.4)	151	0.37	0.4~0.7
	シマリ				
V	20-ザラメ	42.6 (2.0)	171	0.35	0.7~0.9 (1.5~4)
	0				

備考

1. 粒形は全部丸い粒から成つて
いる。
2. 0.7mm (3~6mm) は 0.7mm
の粒がかたまつて (3~6mm) の
一塊をなしているの意。

イックな領域が一断面全部に拡がつた時切れるとすれば

$$M_0 = \int_{-r}^r \eta \sigma_0 l A = 2 \sigma_0 \int_{-r}^r 2 \eta \sqrt{r^2 - \eta^2} d\eta$$

$$= \frac{4}{3} \sigma_0 r^3$$

となるから、この測定から求めた抗張力は前の測定から求めた値の $\frac{3\pi}{16}$ 倍となる。但し、 $I^2 \propto r$ の関係は勿論同じく成立する。

実測の結果は図-9の如くなつたので $I^2 \propto r$ の関係が成立つて居ると見做してよさそうである。

測定結果

表-4 抗張力測定 : 1953. 3. 7. 11^h.00~12^h.50^m

気温 6.3°C 坂上営林班裏山

7. 謝辞

この測定に当り、高山保線区助役手塚功氏はじめ技術者諸氏及び坂上営林班の諸氏の寄せられた御好意に感謝する。尙経費の一部は県よりの補助金による。