



Title	雪の剪断凍着力
Author(s)	小島, 賢治; KOJIMA, Kenji
Citation	低温科学. 物理篇, 24, 299-303
Issue Date	1966-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18051
Type	departmental bulletin paper
File Information	24_p299-303.pdf



雪 の 剪 断 凍 着 力*

小 島 賢 治

(低温科学研究所 気象学部門)

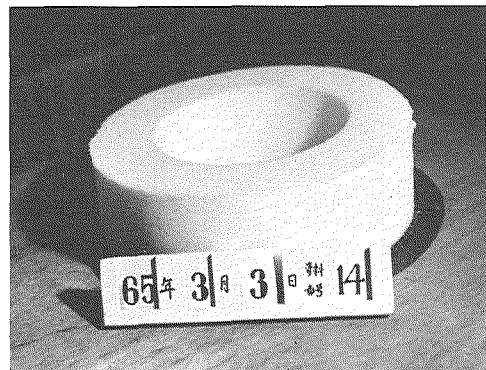
(昭和 40 年 10 月受理)

雪と他の物体とが互に平行な面で接触していると、はじめから雪の温度が 0°C 以下に保たれていても、又、接触面における垂直応力がごく小さい場合 (例えば $1\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 程度) でも、両者は互に付着して時間がたつほど離れ難くなる。接触面には普通の意味での液体の水は存在しないと考えられる場合でも、この現象が起るから、これを凍着と呼んでよいであろう。そして接触面に平行な力を加えて凍着を引き離す時、雪の接触面に与えられなければならない剪断応力を剪断凍着力と呼ぶことにする。

氷と他の物質との凍着力については Jellinek¹⁾, Haraty 及び Tabar²⁾ 等の研究があり、雪の凍着に関しては藤岡^{3), 4)} の雪櫃の研究の一部に測定値が報告されている。筆者は、雪と他の物体とが接触面で垂直応力のみを受け、剪断応力をうけずに静止したままでいる時間 t_s と、この間に進行した凍着を引き離すのに要する剪断応力 τ_f との関係、凍着力に及ぼす温度の影響、相手の物体の種類による凍着力の差異等について、藤岡の実験条件 (静止時間、温度範囲等) を拡大して実験を行なった。この実験は、鉄道技術研究所の委託により塩沢雪実験所の低温実験室で行なった「雪の振り破壊試験」の一部分である。

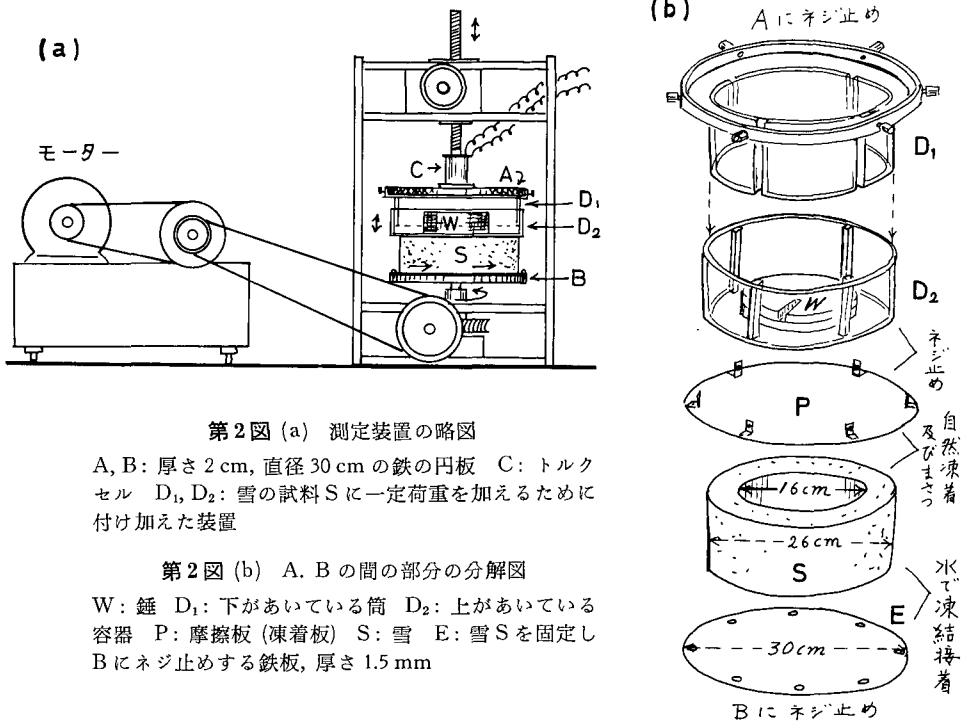
実 験 方 法

第 1 図の写真及び第 2 図 (b) に示したような円筒形の雪の試料 S を一定速度で回転させ、その上面における凍着力を静止摩擦力測定の要領で測定した。測定には、一定速度で雪を圧縮し或いは振る際の抵抗力を測るために木下⁵⁾ が考案した装置を利用したが、雪の試料に一定荷重を加えるための部分をつけ加えた。第 2 図 (a), (b) は装置の略図である。A, B は共に厚さ



第 1 図 凍着力の測定に用いた雪の試料の一例 (しまりゆき)
大きさは常に外径 26 cm, 内径 16 cm

* 北海道大学低温科学研究所 業績第 753 号



第2図 (a) 測定装置の略図

A, B: 厚さ 2 cm, 直径 30 cm の鉄の円板 C: トルクセル D_1, D_2 : 雪の試料 S に一定荷重を加えるために付け加えた装置

第2図 (b) A, B の間の部分の分解図

W: 錘 D_1 : 下があいている筒 D_2 : 上があいている容器 P: 摩擦板 (凍着板) S: 雪 E: 雪 S を固定し B にネジ止めする鉄板, 厚さ 1.5 mm

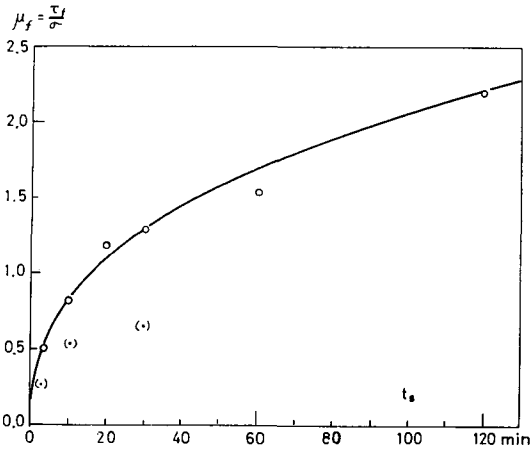
2 cm, 直径 30 cm の鉄の円板で, B には試料 S を固定してモーターにより一定速度で回転させる。A は上下にのみ可動である。 D_1, D_2 は雪に一定荷重を加えるための部分で, D_1 には底が無く, D_2 には底があって錘 W を入れる。 D_1 の下部の外側につけた溝と D_2 の内側につけた凸部をガイドにして, D_1 と D_2 とは上下には滑るが互に回転はしないようにしてある。 D_1 を A に固定し, D_2 を D_1 にかぶせて一先ずネジで止めておく。雪 S を B に固定してから D_2 を静かに下して雪の上面に接触させる。 t_0 分後に S を回転すると, 上面で凍着が起っていれば雪は振られる。その際 D_2 (従って A) が受ける偶力のモーメントを, A の上に固定したトルクセル C により, ストレンメーターを介してペン書きオシログラフに記録し, これから S の上面での剪断応力を求めた。回転を始めると, 応力は次第に増加し, 凍着が破れると力は急激に減少して, その後は動摩擦抵抗が記録される。この際の剪断応力の極大値をもって剪断凍着力とした。

試料の回転速度は雪の上面 (幅 5 cm) の外縁と内縁との中間 (半径 10.5 cm の同心円周上) で, $0.0049 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ から $12 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ までの範囲に変えることが出来たが, 凍着力の凍定には主に $0.0049 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ の速度を用いた。 D_1 と D_2 はアクリライト製であるが, 他の物質例えば鉄との凍着力を測るときは, 鉄板 P を D_2 の下側に固定した。金属板の表面の汚れを取り去るには細かいサンドペーパーで研ぎ, ペンジンで拭いた。

測定結果

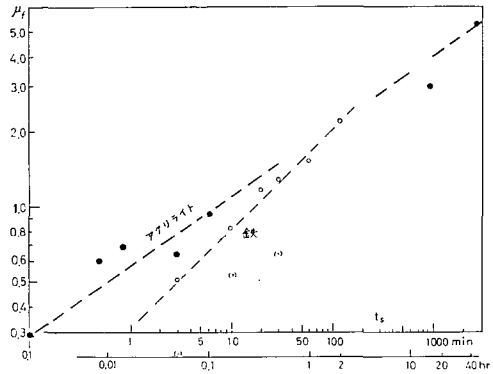
温度 -9°C , 垂直応力 $13.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ のとき, しまり雪と軟鉄板 (艶出し鉄板) との凍着力は,

荷重静止時間 t_s を 10 分から 2 時間に増すと、 $7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ から $29 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ まで増した。凍着力 τ_f は必ずしも常に垂直荷重 σ に比例しなかったが、McFarlane 及び Tabor⁶⁾ の報告にあるような異種金属間の附着係数に対応して、 $\tau_f/\sigma = \mu_f$ を凍着係数と呼ぶことにする。上に述べた条件で求めた鉄板としまり雪についての μ_f と t_s との関係を図示したのが第 3 図である。第 4 図にはアクリライト (D_2 の底面) と雪との凍着係数と静止時間との関係を両軸共に対数目盛のグラフ上に黒円印であらわし、第 3 図の鉄板に対する値を再び白円印であわせて記入した。 t_s が 1 時間以内では、明らかにアクリライトとの凍着力の方が大きい。 $t_s = 45$ 時間では、凍着面の破壊と殆んど同時に雪の本体にも水平方向から 45° 傾いた面の割目が入った。即ち、凍着力は雪の破壊強度より大きくなっていったが、本体の破壊に凍着面の破壊が誘発されたものと思われる。鉄板の場合にも $t_s = 16.5$ 時間、 $\sigma = 13.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、温度 -6°C 、回転速度 $5.9 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ の条件で、凍着が完全に破れずに試料の中にあつた弱い層に沿って水平な破壊面を生じた例がある。



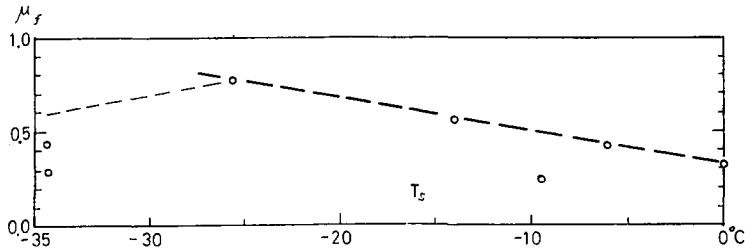
第 3 図 凍着係数 μ_f と荷重静止時間 t_s との関係 (1)

鉄板 (艶出し鉄板) としまり雪 (密度 $0.20 \sim 0.21 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) との凍着
 温度: -9°C
 試料速度: $0.0049 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$
 垂直荷重: $7.3 \sim 19.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$



第 4 図 凍着係数 μ_f と荷重静止時間 t_s との関係 (2)

黒円印: しまり雪とアクリライトとの凍着係数
 白円印: しまり雪と鉄板との凍着係数 (第 3 図と同じ)
 温度: $-9 \sim 10^\circ\text{C}$ 、速度: $0.0049 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$
 垂直荷重: アクリライトの場合 $8.1 \sim 14.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$



第 5 図 凍着係数 μ_f と雪の温度 T_s との関係

雪: しまりゆき、密度 $0.16 \sim 0.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 凍着板: 鉄板
 荷重静止時間: 3 分間 垂直荷重: $14.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$

この層の剪断破壊強度は、この速度に関し、 $14 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ であったが、同じ試料につき、 $\sigma=13.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、 $t_s=30$ 分では凍着強度として $3.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ を得た。

凍着係数と温度との関係は、しまりゆきと鉄板とについて調べた。その結果を第5図に示した。 t_s は常に3分間、 σ は $14.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ とし、雪の温度が 0° 、 -6° 、 -10° 、 -14° 、 -25°C 、及び -35°C の場合について測定を行なったが、このうち最大の τ_f を得たのは -25°C においてであった。 -35°C ではかえって小さい τ_f を得たが、これは -25°C で用いたのと同じ試験体を引きつづき使ったために雪の面に変化が起ったためと、温度が低いために、真の凍着面積の増大速度が小さくなったこととの両方に原因するのではないかと思われる。

第1表 雪と各種の材料との凍着係数及び動摩擦係数

雪試料の回転速度		$0.0049 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$		$5.9 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$
番号	摩擦板の種類	凍着係数 $\mu_f = \tau_f / \sigma$	動摩擦係数 μ_k	動摩擦係数 μ_k
1	ベニヤ板 粗面	1.75	0.62	0.33
2	アクリライト (光沢面)	1.3~1.1	0.25	0.34
3	軟鉄板 (サンドペーパーで研く)	0.9~1.2	0.08	0.06~0.08
4	アルミニウム板 (")	0.94	0.29	0.16
5	亜鉛引鉄板	0.7~0.8	0.16	0.10
6	亜鉛引鉄板 (白ラッカー塗)	0.65	0.055	0.10
7	ベニヤ板 (スキーラッカー塗)	0.53	0.20	0.22
8	軟鉄板 (スキーパラフィン塗)	0.42	0.12	0.08
9	ベニヤ板 (ラッカー、パラフィン)	0.39	0.1~0.2	0.11
10	しまり雪としまり雪			0.89~0.81
11	ざらめ雪とざらめ雪			0.83
12	しまり雪とざらめ雪			0.48

雪試料は密度 $0.18\sim 0.23 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ のしまり雪

実験温度: $-9\sim -10^\circ\text{C}$ 、静止時間: 20分、垂直荷重: $7.3\sim 19.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$

No. 11 のざらめ雪は密度 0.37 、No. 12 のざらめ雪の密度は $0.39 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

第1表には、種々の物質としまり雪との凍着係数ならびに凍着が破れた後の動摩擦係数を示し、比較のために速度を $5.9 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ にしたときの動摩擦係数も示した。表中、雪と雪との摩擦係数を掲げてあるが、これは上下何れか一方を雪の輪とし、他方を雪の円板としたときの値である。試料の中の弱い層が剪断破壊を起し、その水平破壊面が滑り面となった場合の動摩擦係数も、上記の方法で得たものと大体同じ値になった。

以上の実験にあたり、国鉄塩沢雪実験所の庄田幹夫博士はじめ所員の方々から種々便宜を計って頂いた。実験結果の解析にあたり、北海道大学低温科学研究所の大浦浩文教授から有益な示唆を賜わり、木下誠一教授から測定装置の使用に関して指導を受けた。又、同研究所の遠藤八十一助手、小林大二助手並びに雪実験所の遠藤徹の諸氏から多くの協力を得た。ここに併記して感謝の意を表わす。

文 献

- 1) H. H. G. Jellinek 1957 Adhesive properties of ice. *SIPRE Research Report*, **38**, 1-20.
- 2) L. E. Haraty and D. Tabor 1958 The adhesion and strength properties of ice. *Proc. Roy. Soc., A* **245**, 184-201.
- 3) 藤岡敏夫・木下誠一 1955 雪橇の抵抗 III. 模型橇の抵抗. 低温科学, 物理篇, **14**, 43-54.
- 4) 藤岡敏夫 1958 雪橇の抵抗 IV (積雪と板との平面摩擦 2). 低温科学, 物理篇, **17**, 31-52.
- 5) 木下誠一 1965 積雪への円錐の押込み. 低温科学, 物理篇, **23**, 17-37.
- 6) J. S. McFarlane and D. Tabor 1950 Adhesion of solids and the effect of surface films. *Proc. Roy. Soc., A* **202**, 224-243.