

雪と4フッ化エチレン樹脂材の間の凍着力

小林俊一*・津川圭一**・川村公之**・和泉 薫*

On the frozen force between snow and ethylene tetrafluoride resin

by

Shun'ichi KOBAYASHI, Keiichi TUGAWA, Kimiyuki KAWAMURA
and Kaoru IZUMI

(Abstract)

Mesurements of the maximum shear stress between snow and ethylene tetrafluoride resin were carried out using a shear test machine in a -20°C cold room. From our experiments three results were obtained: (1) the maximum shear stress corresponding to frozen force increased slowly with increasing vertical pressure from 0.25 to 3.0 kgf/cm²; (2) the maximum shear stress increased slightly with increasing freezing time from 1 to 24 hour; and (3) the maximum shear stress were influenced by surface roughness.

Key wards : snow, ethylene tetrafluoride, frozen force

キーワード : 雪, 4フッ化エチレン, 凍着力

I は じ め に

最近, 雪国において冬期間でも競技が可能な大空間建築のエアサポートドームが注目をあびている。この場合, 降雪と積雪に対する問題が最も重要である。ドーム上の積雪荷重の問題の他に, 積雪により採光を妨げられたくないという要望が強い。ドーム上の雪の排除方法にはいろいろ考えられるが, ここでは, 自然落雪に関係して最も重要な因子である屋根材と雪との摩擦係数や凍着力の値を知ることである。

屋根材として, エアサポートドームに実際に使用されている4フッ化エチレン樹脂系の素材を用い, 一面せん断試験機を使って雪との凍着試験をおこなったので報告する。なお, 同素材と雪との間の摩擦係数については目黒他(1987)によってすでに報告されている。又, 本実験での凍着力は最大せん断応力で代表させた。

II 実 験 方 法

本実験で用いた試験機は土質試験で使われている一面せん断試験機(誠研舎, DAT-100F)で, 図-1にその概観を示した。せん

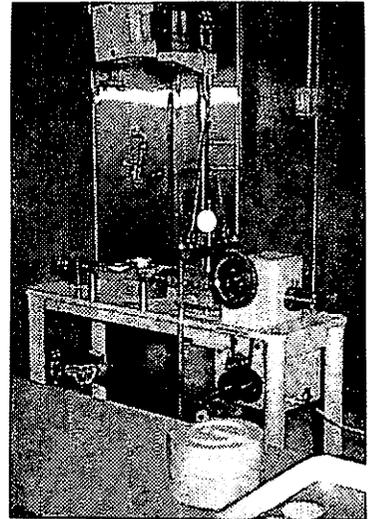


図-1 一面せん断試験機

Fig. 1 Shear test machine.

* 新潟大学積雪地域災害研究センター ** 新潟大学工学部土木工学科学生

断変位速度は1.0mm/min 固定と手動によって変化させることができるが、本実験では1.0mm/minの一定速度で行った。すなわち、二つ割りの容器の下箱に雪をつめ、上箱に屋根材を張り、丁度屋根材と雪の表面の境界でせん断する様に調整し、鉛直荷重Pを加えながら下箱を固定し上箱に水平力Tを加えてせん断させた。この時、せん断力は20kgまで測れるせん断荷重用の力計を用いた。

雪の試料は、昭和62年5月に奥只見銀山平から採集してきたぬれ雪を-20°Cの低温室に保管したものをを使った。せん断箱に雪の試料を入れるのに回転式電動ノギリで円柱形に成形し、直径5.8cm、厚さ0.9~1.8cmの試料を作った。雪試料は、15~20°Cの室温で20分間放置（表面が融解する程度）した後、-20°Cの室で屋根材と凍着させた後せん断試験を行った。屋根材については、表-1に示す材料を用いた。

表-1 実験に用いた素材
Table. 1 Materials used in the experiment.

記号	材 質 名	色・形状
M1	4フッ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維布	ブラウン
P2	" (1~2か月紫外線にさらしたもの)	ホワイト
P3	" (クラレ<社名>試作品)	光沢有り ホワイト

実験は、次の三つの効果を調べる目的で行われた。

- (1) 凍着力の垂直圧力に対する依存性
- (2) 凍着力の凍着時間に対する依存性
- (3) 凍着力に対する表面粗度の影響

III 実験結果

1 凍着力の垂直圧力に対する依存性

凍着時間を一定（2時間）にして、垂直圧力を0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0kgf/cm²の5通りに変えて実験を行った。図-2は屋根材M1（表-1参照）の場合のせん断応力と水平変位の関係で、図中の番号（1~5）は垂直圧力（0.25~3.0kgf/cm²）に対応しており、●印はその点でせん断破壊を生じたことを示す。また、ピーク時と破壊時のせん断応力を最大せん断応力とすれば、この最大せん断応力は垂直圧力が増すと増加する傾向にある（図-3）。これは、真実接触面積が垂直圧力の増加に伴って増えることによる効果と考えられる。素材P2はM1を1~2ヶ月紫外線にさらしたもので、

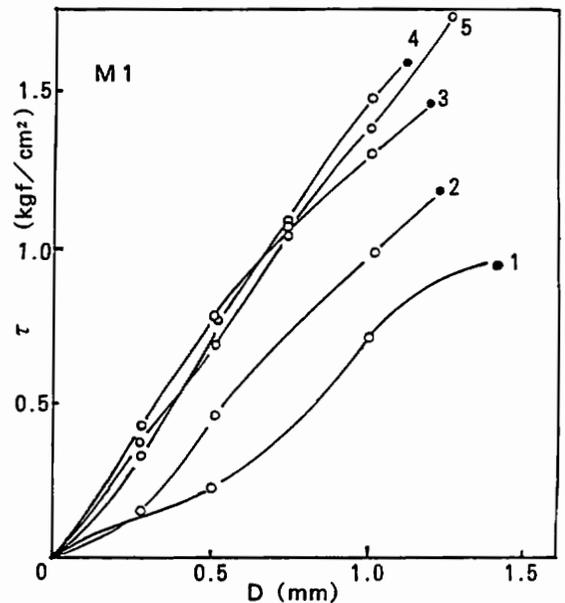


図-2 せん断応力(τ)と水平変位(D)の関係
Fig. 2 The relation of shear stress (τ) to horizontal displacement (D).

P3は光沢がありM1よりは表面がなめらかである。値に差はあるが変化の傾向は似ているといえよう。ただし、本実験での垂直圧力は0.2~3.0kgf/cm²の範囲で、実際の屋根上では密度300kg/m³の雪が1m積ったとして垂直圧力は0.03kgf/cm²であるので実際の屋根上の場合よりは大きな垂直圧力下の実験結果である。

2 凍着力の凍着時間に対する依存性

素材M1で、凍着時間、すなわち雪試験料を室温15~20℃の室で20分放置した後、-20℃の低温質で素材と凍着させた時間を1, 2, 6, 12, 24時間の5通り変えてせん断破壊試験を行った。その際、垂直圧力は1で述べた5通りについて各々に行った。その結果を図-4に示した。バラツキが大きい、凍着時間に対する最大せん断応力の依存性は若干増加する傾向にある。

3 凍着力に対する表面粗度の影響

凍着力に対する表面の粗さの影響をみるために、素材M1に図-5に示したような3種類の刻みを入れてせん断破壊試験を行った。その結果、最大せん断応力と垂直圧力の関係は図-6のごとくであった。刻みを入れない場合の結果、図-3と比較すると一般に垂直圧力の増加に伴い、最大せん断応力の増加率は刻みを入れない場合に比べて大きいけれど、変動も又大きい傾向を示した。これは真実接触面積の増加が刻みの存在のために偶然

的に変化するためである。すなわち、実験においては、雪は粘性的に変形するため刻みの中に流動するのに遅延効果がある。定量的には議論できないが、この効果がせん断力の変動に関係していると考えられる。又、垂直圧力の小さい場合($\sigma < 1.0 \text{ kgf/cm}^2$)最大せん断応力の値は刻みのない場合に比べて小さな値であるが、垂直圧力が2.0kgf/cm²を越えると最大せん断応力は刻みのない場合に比べて大きな値をとる傾向を示した。これは明らかに真実接触面積の急な変化による。すなわち、垂直圧力の小さい場合は、刻みの存在のため真実接触面積が刻みのない場合に比べて小さく、垂直圧力が大きくなると、

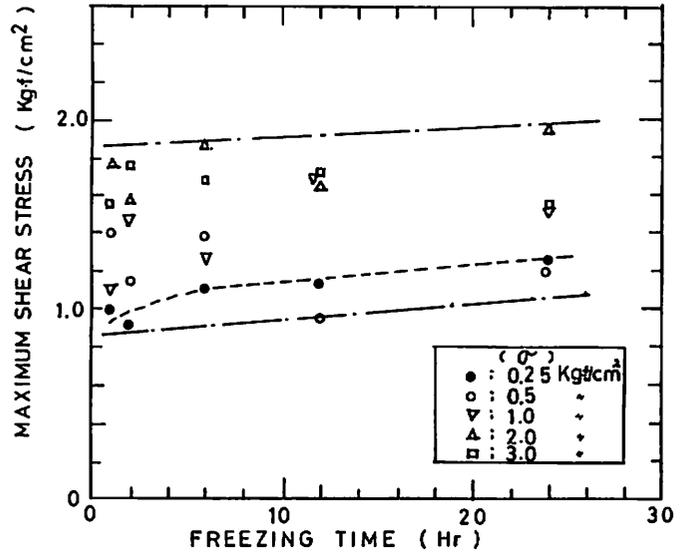


図-3 最大せん断応力と垂直圧力の関係
Fig. 3 The relation of maximum shear stress to vertical pressure.

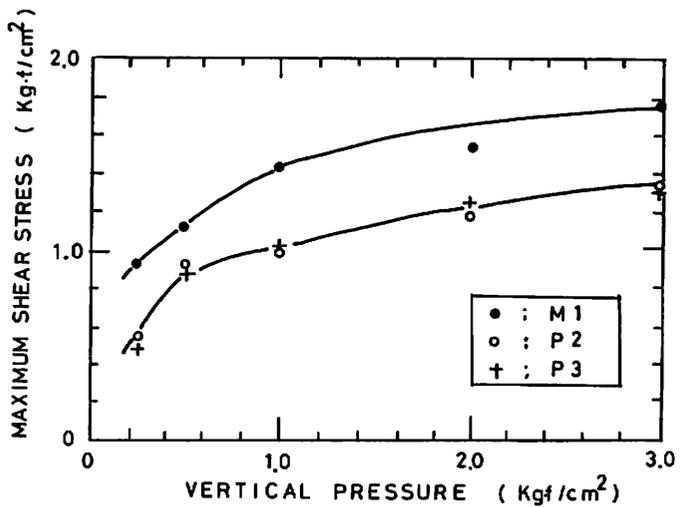


図-4 最大せん断応力と凍結時間の関係
Fig. 4 The relation of maximum shear stress to freezing time.

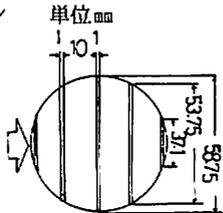
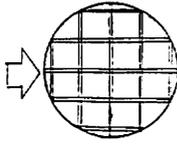
記号	材質名	色・形状
M 1 (1)	4フッ化エチレン樹脂 コーティング ガラス繊維布 (0.5mmの深さで平行な直線の切り口を入れたもの)	ブラウン 単位mm 
M 1 (2)	" (1.5mmの深さで平行な直線の切り口を入れたもの)	ブラウン 寸法は上と同じ
M 1 (3)	" (0.5mmの深さで10mm四方の格子状に切り口を入れたもの)	ブラウン 

図-5 表面粗度のある素材の形状

Fig. 5 Dimensions of roughness above surface of materials.

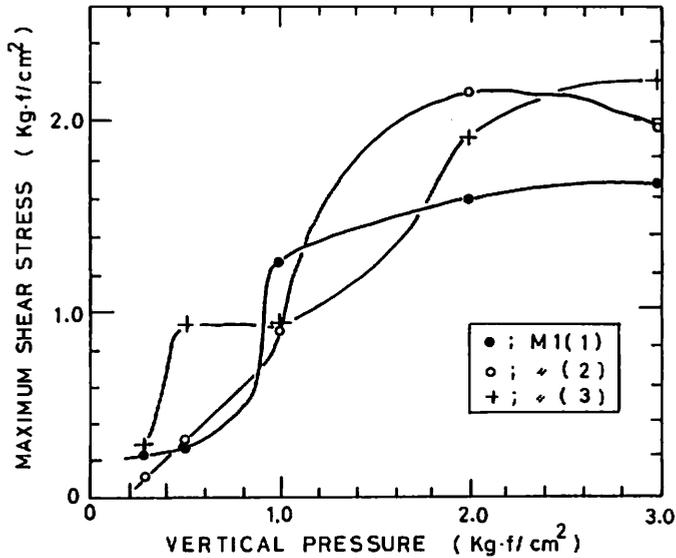


図-6 最大せん断応力と垂直圧力の関係
(表面に刻みのある場合)

Fig. 6 The relation of maximum shear stress to vertical pressure in the case of rough surface.

雪の粘性流動により刻みの中に雪が流動し真実接触面積が増大するためである。結局、表面粗度の効果は、垂直圧力に関係し、せん断応力の変動が大きくあらわれた。

IV 考 察

1 雪のせん断応力と密度の関係

雪のせん断応力と雪の密度の関係は渡辺 (1977) によって詳しく研究されている。本実験から得られた雪の密度とⅢの1で得られた最大せん断応力の関係を示すと図-7のごとくなり、渡辺の結果より小さい値となった。これは、素材と雪の接触面で破壊が生じた結果で、素材と雪の凍着力の実験がうまく行われたことを示す。すなわち、雪の内部の破壊でなくて、素材と雪の接触点で破壊が生じたことを示唆するものである。値が小さくなった点は、素材と雪粒の接触点の数が雪粒同志の結合の数より少ないか、又は素材と雪粒の接触部の凍着力が雪粒同志の結合力より小さいかのいずれかであるが、その点は明らかにすることができなかった。その意味で、凍着力を雪の最大せん断応力と定義する点に問題が残されたといえよう。

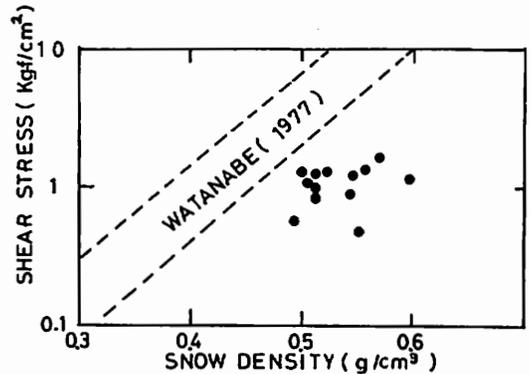


図-7 最大せん断応力と雪の密度の関係
Fig. 7 The relation of maximum shear stress to density of snow.

2 モール・クーロンの破壊条件式への適用

岩石、粘土、土などで良く用いられる次のモール・クーロン (Mohr-Coulomb) の破壊条件式

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

に本実験結果を適用してみる。ここで τ はせん断破壊応力、 σ は垂直応力である。 c と ϕ は物体の定数でそれぞれ粘着力および内部摩擦角と呼ばれる。実験ではⅢの1で得られた結果のみが、図-8に示したごとくほぼ τ と σ の比例関係が示された。また c と ϕ の結果を表-2に示した。雪の場合の更に詳しく

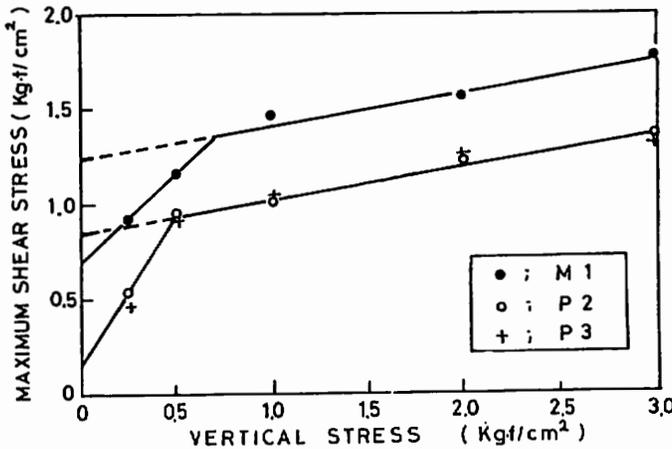


図-8 最大せん断応力と垂直応力の関係
Fig. 8 The relation of maximum shear stress to vertical stress.

いこのような研究は川田，藤岡（1972）によってもすでになされているので，ここでは参考までに本実験で得られた結果を掲げた。ただし c と ϕ の値は図-8 で点線で示した外そう値から求めた。

表-2 雪と素材の凍着に対する粘着力と内部摩擦角
Table. 2 Cohesive force and internal friction angle concerning to frozen force between snow and materials.

素 材	c (kgf/cm ²) (粘着力)	ϕ (°) (内部摩擦角)
M 1	1.25	10
P 2	0.85	9
P 3	0.88	8.5

V あ と が き

本研究は，最近注目をあびているエア-サポートドームの素材と雪の凍着力（最大せん断応力）を一面せん断試験機で測定した結果を報告したものである。凍着力の定義や実際の屋根上雪荷重の点で問題が残されたが，概ね良好な結果が得られた。

終りに，素材としての4フッ化エチレン樹脂材を提供して下さった㈱大林組と実験に御協力いただいた長岡工業高等専門学校の佐藤和秀助教授に深く感謝する。

なお本研究は，昭和62年度新潟大学工学部土木工学科の卒業研究として著者の中の津川（1987）が行ったものの一部を解析してまとめたものである。

文 献

川田邦夫・藤岡敏夫（1972）：三軸圧縮による雪の破壊．低温科学，物理篇，30，53-64．

目黒紀文・渡辺秀行・横山則夫・佐藤和秀・小林俊一（1987）：屋根材の凍着力と摩擦係数について．日本雪氷学会講演予稿集，228．

津川圭一（1987）：雪氷と種々材料との間の凍着力の研究．昭和62年度新潟大学工学部土木工学科卒業論文．

渡辺善八（1977）：雪質と破壊強度について．日本雪氷学会講演予稿集，241．