



Title	三軸圧縮による雪の破壊
Author(s)	川田, 邦夫; KAWADA, Kunio; 藤岡, 敏夫 他
Citation	低温科学. 物理篇, 30, 53-64
Issue Date	1973-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18198
Type	departmental bulletin paper
File Information	30_p53-64.pdf



三軸圧縮による雪の破壊*

川田 邦 夫**

(北海道大学大学院理学研究科)

藤岡 敏 夫

(低温科学研究所)

(昭和47年10月受理)

I. ま え が き

なだれの発生、自然積雪の密度増加、積雪沈降圧等、積雪の力学的性質に関係した現象の基礎的研究として、従来積雪の一軸圧縮試験が行なわれてきた。すなわち、雪の柱を一方方向に圧縮する実験で、柱の他の面は全く力をうけない自由面になっていた。しかし、積雪が力をうける場合、積雪内部の雪は、まわりの雪からも力をうけるのであるから、雪の力学的性質を一軸圧縮のみによって考えるのは不十分で、土の場合のように、三軸試験を行なうことも必要である。この論文では、雪の三軸試験のうち、積雪の破壊に関係した実験を述べる。積雪の一軸圧縮試験のうち、破壊をとまらぬものとしては木下¹⁾-⁴⁾、遠藤⁵⁾らの実験があり、破壊をとまらぬものとしては成田⁶⁾、Landauer⁷⁾の実験がある。

II. 実験装置及び方法

この実験に用いた三軸圧縮試験装置を第1図に示した。三軸試験機は、うすいゴム膜をかぶった円筒形の雪の試験の円筒面に、液体で圧力を加えた状態で、雪を軸方向に圧縮する装置である。土質試験の場合、液体に水を用いているが、この実験は -12°C でおこなわれたために、液体としては水の代りにエチレングリコール水溶液を使用した。

雪の試料には、札幌近郊の中山峠で、2月と4月に採集され、6ヵ月から1年以上低温室に保存されていた雪を主に用いたが、他にこれらの雪をくだき、2mm目のふるいを通した後、数週間放置して固ませた雪も用いた。雪の密度は $0.37\sim 0.47\text{ g/cm}^3$ 、雪の温度は -12°C 、円筒形の雪の軸方向の圧縮速度は $9.4\sim 22.6\text{ mm/min}$ で、この試料にまわりから加えた圧力、すなわち、側圧は $0\sim 2.0\text{ kg/cm}^2$ であった。

雪の試料の大きさは、直径5.0cm、長さが11cmで、円筒形の採雪器を、雪の層に平行にさしこみ、雪の層の境界部分が試料の中に入らないようにして採雪した。

第1図の円筒形の雪の試料Aは、薄いゴム膜の筒(ゴムスリーブ)で円筒面がつつまれ、ゴム膜の上下の端は側液が入らないように金属板Bにゴム輪と金属製の輪でしめつけられて

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1230号

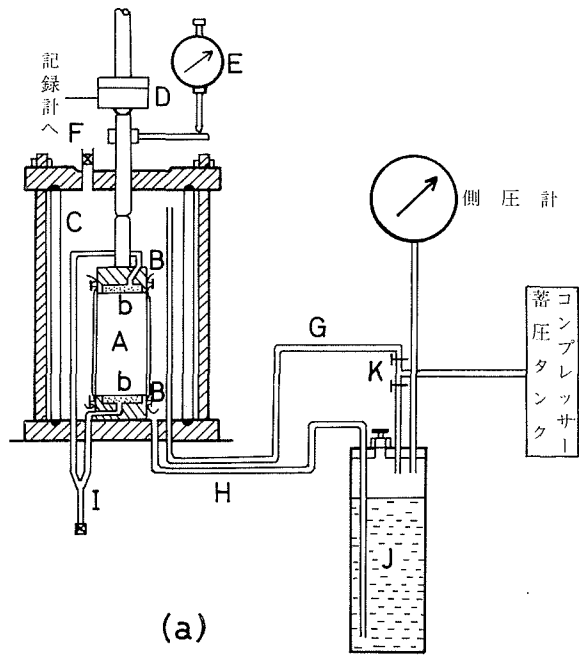
** 現在富山大学文理学部

いる。第1図(b)に試料がとりつけられた状態を示した。試料は、透明なアクリル樹脂製の円筒Cと、Cを上下からはさむ金属板で囲まれ、試料とアクリルの円筒との間に、エチレングリコールの水溶液が入れられた。

まず、空気抜きFと試料の上部及び下部からの排気弁Iを開き、Kの上の弁は閉じ、下の弁を開いておく。蓄圧タンクの空気の圧力を、Kの下の方の弁を開いて、エチレングリコール水溶液を入れた容器Jに加えると、Jの液はHの管を通して圧縮室に押し上げられる。液が圧縮室を満たした後Fを閉じ、貯圧タンクの圧力を調整して所定の側圧に合せる。

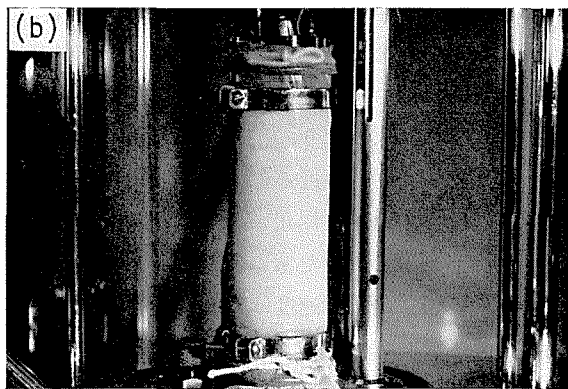
圧縮室を上から貫いて試料を圧縮する棒が通り、この棒は上部圧縮板と接する。圧縮棒の上部には、試料の縮み量を測るダイヤルゲージEと、反抗力を電氣的に測る荷重計(ロードセル)Dがとりつけられている。荷重計の出力は、増幅器を経て記録計にみちびかれる。第1図の構造からもわかるように、雪の軸方向には、記録計にあらわれる力の他に、測圧も加わることになる。

試料Aが軸方向に圧縮されて、雪の体積が縮むと、試料内の空気圧は高まるが、上部及び下部圧縮板Bの試料と接する部分に多孔質の板が組み込まれていて、この板を通して空気はIから外へ抜ける。この排出される空気量を測定すれば雪の体積変化⁹⁾を測定できるのであるが、今回はこの測定を行わず、排気弁は開けておき、雪の内部の空気圧は何時も一気圧になっていた。



第1図(a) 三軸圧縮試験装置

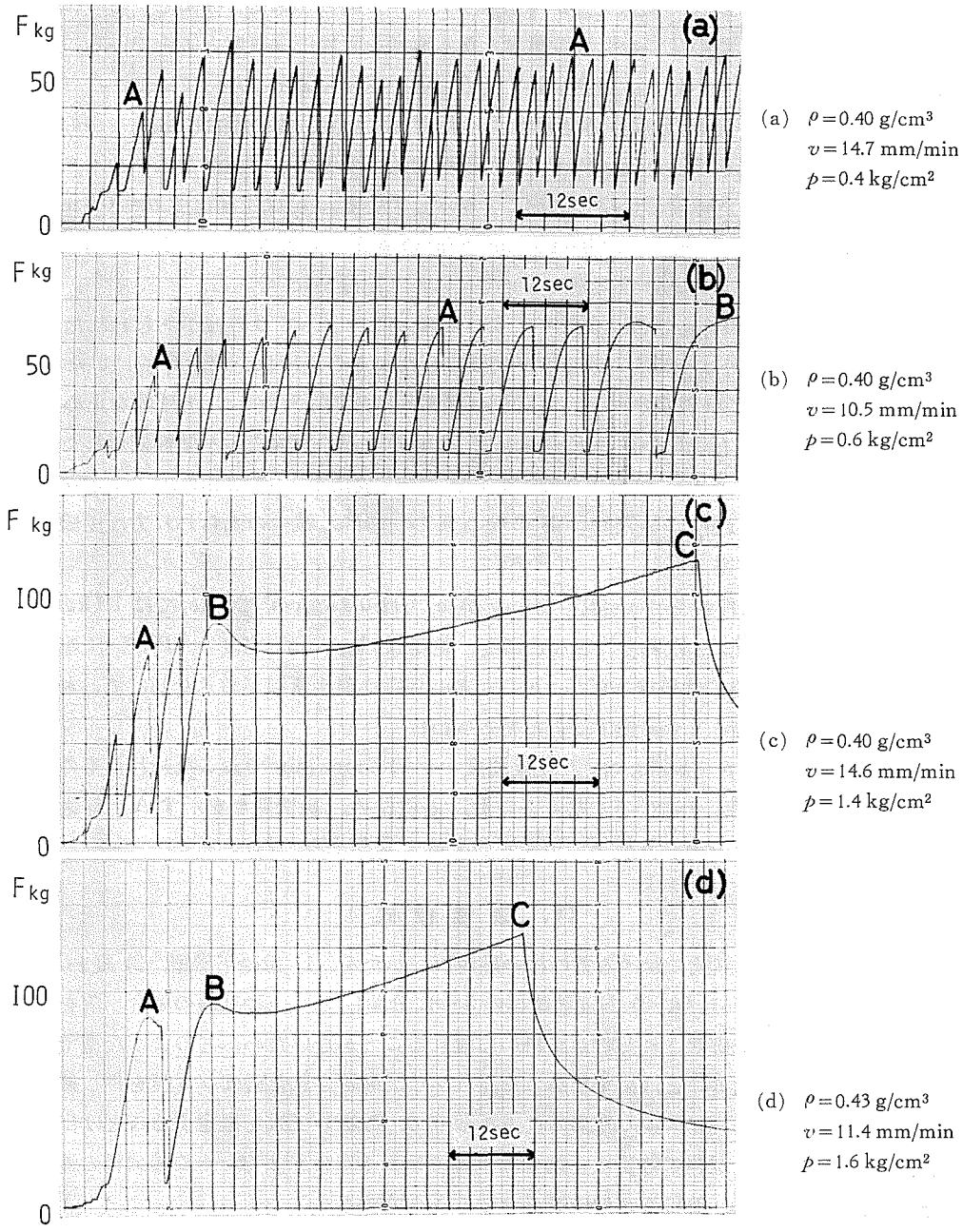
- | | |
|-------------|--------------|
| A: 円筒形の雪の試料 | B: 上下圧縮板 |
| b: 多孔質の板 | C: アクリル樹脂製の筒 |
| D: 荷重計 | E: ダイヤルゲージ |
| F: 空気抜き | G: 急速環流用パイプ |
| H: 側液供給用パイプ | I: 排気用パイプ |
| J: 側液タンク | K: 切替弁 |



第1図(b) 圧縮室におかれた雪の試料

III. 三軸破壊圧縮における抵抗力曲線

第2図(a), (b), (c), (d)に記録の例を示した。(a)は側圧 p が 0.4 kg/cm^2 , 圧縮速度 v が 14.7 mm/min で実験した時の抵抗力の記録で, 記録は左から右にすすみ, 抵抗力は鋸歯状に変



第2図 抵抗力の記録

ρ, v, p はそれぞれ雪の密度, 圧縮速度, 側圧で, 雪の硬度はすべて 10 kg/cm^2 であった

化している。鋸歯の頂の値はあまり変わらず、鋸歯の幅もほぼ一定で、鋸歯の一つ一つが一回毎の雪の試料の破壊に対応していた。試料の雪は、上下の端の縁で少しづつ欠けてはみ出し、ゴム膜を部分的にふくらませた。

木下は雪の一軸圧縮で円筒形の雪の試料をいろいろな速度で圧縮したが、圧縮速度が大きい時には、(a)のような抵抗力曲線をえがく破壊がおこり、速度をおそくすると、雪には塑性変形がおこった。木下はこの2つの変形の境界となる速度を限界圧縮速度とよんでいる。限界圧縮速度は温度によってもかわり、温度が低くなるとこの速度はおそくなっていた。

第2図(b)の記録の大部分は、Aと印をつけた鋸歯状波で、この場合にも、一つの鋸歯毎に雪の試料は部分的に破壊された。Bと印した抵抗力は、Aのような急激な低下を示さず、次第に増加し、雪が塑性的に変形しはじめたことを示している。(b)は圧縮速度 $v=10.5$ mm/minで(a)の v よりもおそく、側圧 p は 0.6 kg/cm²で(a)の p よりも大きくなっている。 v を(a)とおなじ値に保ち、 p を 1.4 kg/cm²に増加させてえられた記録が(c)である。

(c)の記録にはAの鋸歯状波が少なく、3つの鋸歯につづいてBの波があらわれた。B点をすぎた後、抵抗力 F は一時的にゆるやかに減少したがその後増加を続けC点にいたった。BからC迄の間に雪には破壊がおこらず、雪は塑性的に圧縮された。Cで圧縮を止めると F は指数函数的に減少した。Bの後の F の減少は、今回の一連の実験で雪が塑性変形した場合には必ず認められた。しかし、おなじ試験機を使って、成田が $1\sim 5$ mm/minの圧縮速度で行なった実験⁶⁾にはあらわれていない。Bの後の F の一時的な減少のあらわれ方は圧縮速度によっても変わるようである。

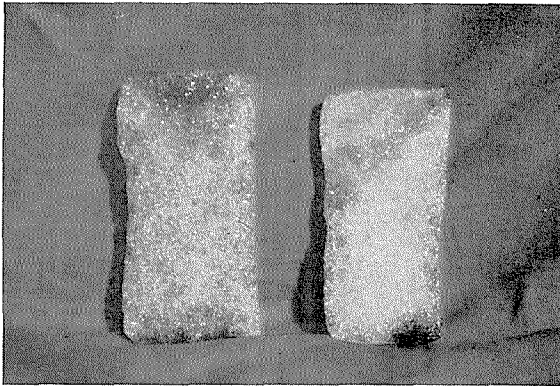
(a)と(c)の実験条件のちがいは、側圧 p が(a)では 0.4 kg/cm²で、(c)では 1.4 kg/cm²であったことだけである。すなわち、おなじ密度、硬度(10 kg/cm²)、温度(-12°C)、圧縮速度でも、側圧 p の小さい時には破壊変形が、 p の大きい時には塑性変形がおきたわけで、木下の限界圧縮速度は側圧によっても変化することをあらわしている。

第2図(d)は側圧 $p=1.6$ kg/cm²、圧縮速度 $v=11.4$ mm/minでおこなわれたもので、(c)にくらべて p は大きく、 v は小さくなっている。このため、破壊変形を示すAの鋸歯状波は(c)よりもさらに少なくなり、B以下の塑性変形を示す F があらわれた。

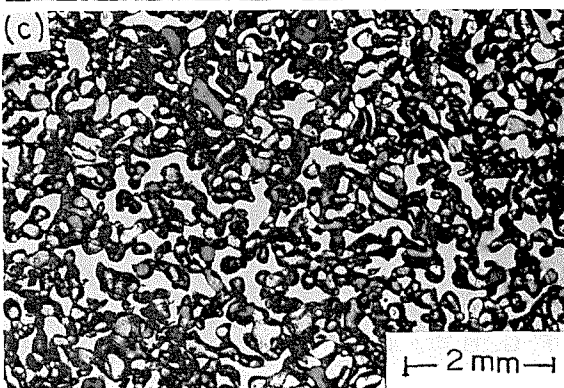
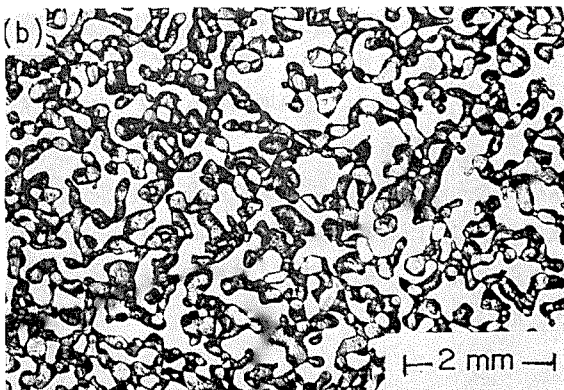
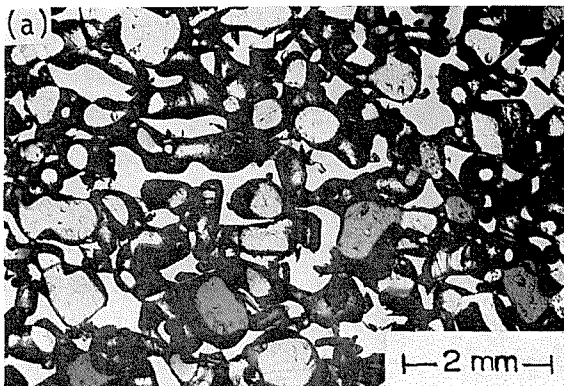
IV. 破壊様式

遠藤⁵⁾は一軸圧縮試験における雪の柱の破壊のしかたを、1) 粉碎圧密型、2) 縦われ型、3) 欠けおち型、4) 横われ型、5) 内部破壊型の5つに分類した。三軸試験の場合、雪を包んでいるゴム膜のために、破壊された雪が試料から離れることがないため、どのような型で破壊されたかをはっきりと見ることは出来なかった。しかし、破壊された雪はゴム膜を押し拡げようとして凹凸を作るため、ゴム膜の変形の仕方からみて、破壊の様式を推定することは出来た。三軸試験の破壊では、試料の破壊は上端又は下端で始まる場合が多く、その後試料の雪質、圧縮速度、側圧によって、他の様式の破壊がおこるようである。

第3図は実験の後、試料を縦に切断し、うすめたインクで着色したものである。インクで濃く染っている部分は、破壊されてばらばらになった雪粒が、さらに圧密されたところであ



第3図 圧縮後の試料の切断面。インクで着色されている



第4図 雪試料の薄片写真

- (a) 密度 0.45 g/cm^3 , 圧縮前
- (b) 密度 0.37 g/cm^3 , しまり雪, 圧縮前
- (c) (b)の試料を塑性変形で20% 圧縮したもの

る。圧縮部が円錐状や斜めに形成されている。

第4図に積雪試料の薄片写真を示した。(a), (b)は、それぞれ、密度 0.45 g/cm^3 , 0.37 g/cm^3 の試料で圧縮をうけていないものである。(a)の試料は大部分がかたしまり雪で、その中にこしもざらめ雪の雪粒が混ったもの、(b)の試料はしまり雪の雪粒である。このように、試料によって、雪粒の性質はかなり異なるのであるが、今回は雪の密度と硬度だけを取り上げ、雪の顕微鏡組織迄に立入った区別をつけなかった。第4図(c)は(b)の試料の雪を塑性的に20%圧縮したものである。

V. 実験結果

第1表に一連の実験結果を示した。試料の密度、硬度、圧縮速度のほぼおなじものを一まとめにして、A, B, ..., Hと名づけ、密度、硬度がおなじ雪に、同じ側圧の下で圧縮速度をかえて行なった実験をIの1から5迄とした。抵抗力 f は、雪が第2図(a)のような鋸歯波をとまう破壊をした時には鋸歯の最大値 F の、第2図(c), (d)の塑性変形の型の F の場合にはB点の F の、いずれも試料の単位面積当りの値で示してある。また抵抗力 f の値に○印をつけたものは、第2図の(b)のように破壊変形がつづいた後、塑性変形がおこった場合、そのB点の F から求めた単位面積当りの抵抗力である。備考欄の「破」は破壊変形、「塑」は塑性変形で、第1表の歪 ϵ まで圧縮した時の変形形式をあらわしている。()内の数字は破壊の回数、「破」の左肩の×の印は、その破壊が一軸圧縮における欠けおち型に似ていることをあらわしている。

側圧を加えた時、試料は軸方向にも圧力をうけてわずかに縮むが、実験に用いた試料では、その縮みは100分の数mmの僅かな縮みであった。また、圧縮がすすむにつれ、円筒の外径もいくらか増加するが、成田⁶⁾の実験にも示されているように、その増加量もわずかであった。この論文では試料の断面積は変化しないものとして取扱った。

一般に物質内のある点における応力状態は、その点において直交する3つの主応力の方向と大きさがきまれば決定される。この実験のように、円筒形の試料が軸方向に圧縮され、円筒面で静水圧をうけている場合、試料の両端付近を除いて、応力状態は試料内のどの点についてもおなじで、主応力の1つは軸方向を向き、他の2つは軸に垂直で、したがって、筒面にも垂直である。

軸方向の主応力の大きさを σ_1 とし、他の二つの主応力を $\sigma_2 = \sigma_3$ とすれば、

$$\sigma_1 = f + p,$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = p$$

で、 f , p はそれぞれ単位面積当りの抵抗力、側圧である。剪断応力 τ は

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{f}{2}$$

で与えられ、 f の最大値より求めた τ の最大値 τ_{\max} が第1表に示してある。

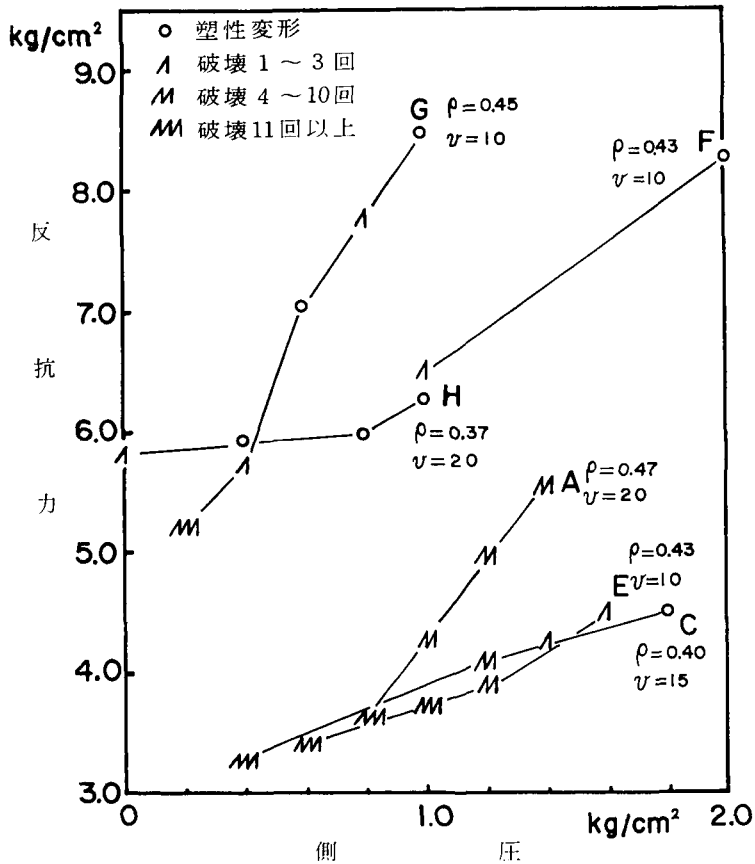
第1表の測定結果のうち、A, C, E, F, G, Hのグループの測定について側圧と抵抗力の

第1表 三軸圧縮試験の結果

	密度 ρ g/cm ³	硬度 R kg/cm ²	圧縮速度 v mm/min	歪み ϵ	歪み速度 $\dot{\epsilon}$ sec ⁻¹	抵抗力 f kg/cm ²	側圧 p kg/cm ²	最大せん断力 τ_{max}	備考
A-1	0.47	18	20.0	0.14	0.31	3.59	0.8	1.795	×破(15)
A-2	0.47	18	21.6	0.16	0.32	4.26	1.0	2.13	破(8)→塑
A-3	0.47	18	22.0	0.16	0.33	4.97	1.2	2.485	破(10)→塑
A-4	0.47	18	19.5	0.10	0.27	5.55	1.4	2.975	破(5)→塑
B-1	0.44	10	15.0	0.21	0.23	3.57	1.0	1.785	破(14)→塑
B-2	0.44	10	14.5	0.18	0.21	4.11	1.2	2.055	破(13)
C-1	0.40	10	14.8	0.20	0.22	3.27	0.4	1.635	破(40以上)
C-2	0.40	10	14.8	0.15	0.23	4.08	1.2	2.04	破(4)→塑
C-3	0.40	10	14.6	0.17	0.22	4.23	1.4	2.115	破(3)→塑
C-4	0.40	10	14.8	0.16	0.22	04.25	1.8	2.26	塑
D-1	0.40	10	10.5	0.20	0.16	2.97	0.0	1.485	×破(31)
D-2	0.40	10	10.5	0.21	0.16	3.16	0.4	1.58	×破(26)
D-3	0.40	10	10.8	0.19	0.17	3.62	0.6	1.81	破(16)→塑
D-4	0.40	10	10.7	0.15	0.17	3.62	0.8	1.81	破(3)→塑
E-1	0.43	10	11.0	0.21	0.77	3.43	0.6	1.175	破(36)
E-2	0.43	10	10.2	0.19	0.15	3.74	1.0	1.87	破(11)→塑
E-3	0.43	10	11.1	0.17	0.17	3.89	1.2	1.945	破(8)→塑
E-4	0.43	10	11.7	0.11	0.17	4.49	1.6	2.245	破(1)→塑
F-1	0.43	15	11.0	0.17	0.17	6.51	1.0	3.255	破(1)→塑
F-2	0.43	15	10.8	0.27	0.16	08.28	2.0	4.14	塑
G-1	0.45	20	11.4	0.16	0.17	5.18	0.2	2.59	×破(19)
G-2	0.45	20	11.1	0.13	0.17	5.73	0.4	2.865	×破(3)→塑
G-3	0.45	20	11.5	0.19	0.18	07.04	0.6	3.52	塑
G-4	0.45	20	11.8	0.12	0.18	07.76	0.8	3.88	破(1)→塑
G-5	0.45	20	10.9	0.11	0.16	08.47	1.0	4.235	塑
H-1	0.37	14	21.2	0.16	0.31	05.82	0.0	2.91	破(1)→塑
H-2	0.37	14	21.7	0.20	0.32	05.92	0.4	2.96	塑
H-3	0.37	14	22.6	0.17	0.33	05.97	0.8	2.985	塑
H-4	0.37	14	21.9	0.16	0.33	06.29	1.0	3.145	塑
I-1	0.39	15	21.8	0.11	0.33	05.44	1.0	2.72	破(1)→塑
I-2	0.38	15	17.1	0.15	0.26	05.24	1.0	2.62	破(2)→塑
I-3	0.39	15	15.2	0.15	0.23	05.47	1.0	2.735	塑
I-4	0.38	15	12.1	0.11	0.18	04.82	1.0	2.41	塑
I-5	0.38	15	9.4	0.12	0.14	04.90	1.0	2.45	塑

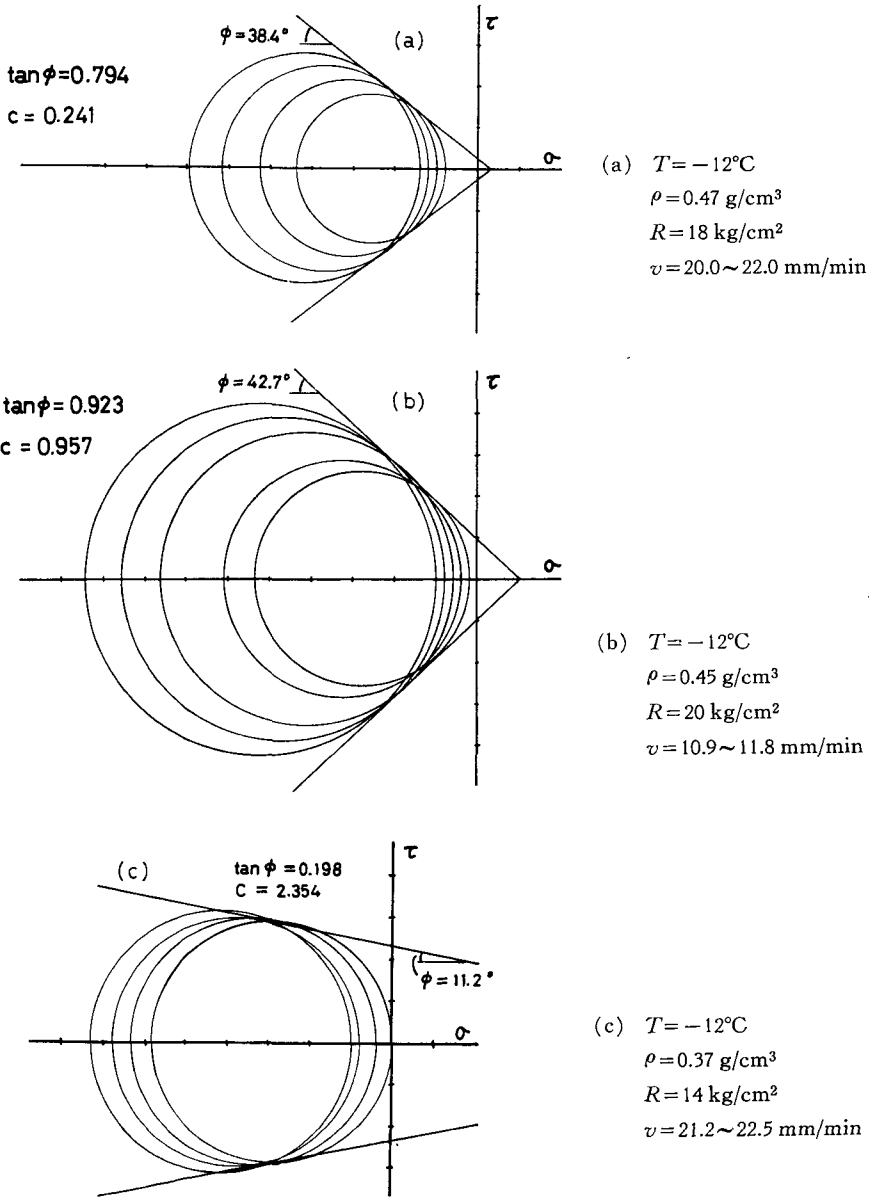
雪温 -12°C

関係を示した。第1表のB, Dのグループの測定値は、第5図のC, Eの線の近くに分布するので、第5図には示さなかった。いずれの曲線も、側圧が大きくなれば、反抗力も大きくなることを示している。図の左上に記入してあるように、各測定点に、鋸歯状波の記号をつかい、鋸歯の数で破壊の頻度を示した。第2図(b)に示した、圧縮の始まりから、塑性変形が始まるB点迄の鋸歯の数である。側圧が小さい間は雪の破壊をあらわす鋸歯の数が多いが、側圧が大きくなるにつれて鋸歯の数は減り、さらに側圧が増すと塑性変形のみがあらわれることを示している。



第5図 反抗力 f と側圧との関係。A, C, E, F, G, H は第1表の左の欄のグループ名。 ρ , ν はそれぞれ雪の密度 (g/cm^3), 圧縮速度 (mm/min)

第6図の(a), (b), (c)は第1表からえられた破壊時の σ_1 , $\sigma_2 (= \sigma_3)$ をつかって画いた一連のモール円とその包絡線である。破壊時の応力状態を示す一群のモール円の包絡線から、雪の破壊条件を求めるために画いた図である。側圧を余り大きくすると、試料が側圧のために押しつぶされるので、 σ の広い範囲にわたる測定は出来なかったが、モール円の包絡線は、かなりよい直線性を示している。このように、包絡線がよい直線性を示す結果は、密度と硬度の値が大きい雪についてえられたもので、(a), (b)にくらべて硬度 R の小さい雪の(c)の場合に、包絡線は直線よりも外れてくる。



第6図 雪の破壊のモール円とその包絡線

(a), (b) のように包絡線が直線であらわされる場合には、モールの破壊条件として

$$|\tau| = c - \sigma \tan \phi$$

の凝集力 c 、内部摩擦倍数 $\tan \phi$ をさだめることが出来る。このようにしてえられた雪の密度 ρ と $\tan \phi$ との関係を第7図に、 c と ρ との関係を第8図に示した。いずれの図においても、圧縮速度を3つの領域に分け、記号をちがえて書き入れてある。

第7図によると密度 ρ が増加するにつれて $\tan \phi$ も増加し、したがってモールの包絡線

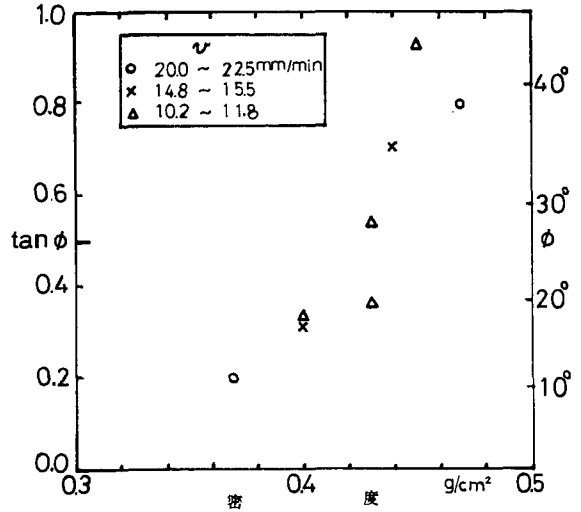
は立ってくるようはなり、 v の影響はあまり認められない。一方、 c は密度 ρ が減少すると増加する傾向を示している。

VI. 抵抗力と圧縮速度との関係

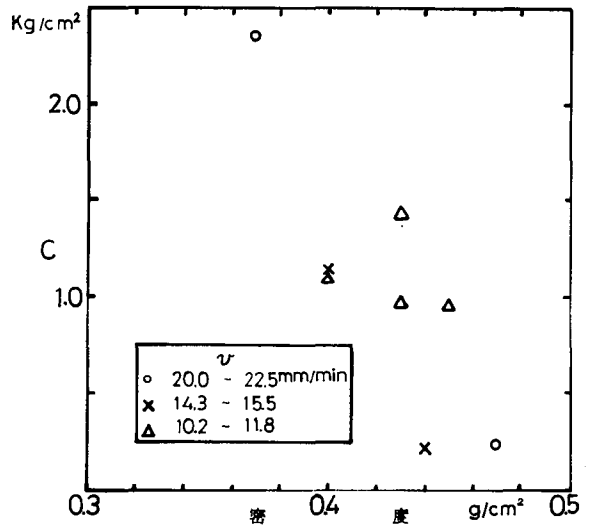
第1表のI-1からI-5迄に側圧を 1.0 kg/cm^2 に保ち、圧縮速度 v を $10 \sim 20 \text{ mm/min}$ の間で変えた測定値が示されている。この圧縮速度 v は、歪速度 $\dot{\epsilon}$ にして $1.4 \sim 3.3 \times 10^{-1} \text{ sec}^{-1}$ で、一軸圧縮における実験で遠藤⁵⁾が破壊変形から塑性変形へと、雪の変形様式が移行する $\dot{\epsilon}$ とした $2 \sim 4 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ の100倍にもあっている。

しかし、第1表のI-1, I-2の2例で、圧縮初期に破壊がおこっただけで、その後は塑性変形となり、他の3例は塑性変形のみがおこった。第III.節でのべたように、側圧が加えられたために、破壊変形から塑性変形にうつる限界速度が、速度の早い方へ移行したと考えるべきであろう。

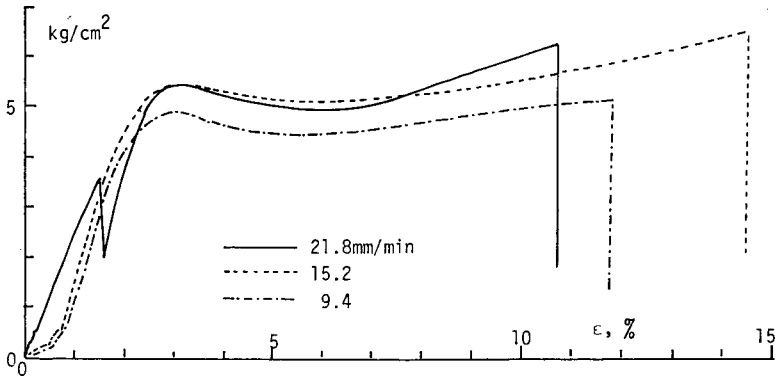
第9図にI-1, I-3, I-5の抵抗力—歪曲線を示した。図に実線で描かれているI-1の圧縮速度 $v = 21.8 \text{ mm/min}$ の場合、圧縮の初めに小さな破壊があって、抵抗力 f は低下したが、その後 f は増加し、3%の歪 ϵ における降状点に達した後減少した。歪 ϵ が6%をこえると、 f はふたたび増加し、雪は塑性的に圧縮されるが、10.6%の ϵ で圧縮を中止すると、雪の歪はその値に保たれたまま、 f は図にあらわれているように減少する。すなわち、応力緩和があらわれる。又、第9図には、歪が7乃至8%をこえた後の f の増加は、圧縮速度 v が大きいほど大きくなること示されている。



第7図 雪の密度と内部摩擦係数 $\tan \phi$ との関係



第8図 雪の密度と凝集力 c との関係



第9図 抵抗力歪曲線。 $T = -12^{\circ}\text{C}$, $\rho = 0.38 \sim 0.39 \text{ g/cm}^3$, $R = 15 \text{ kg/cm}^2$

VII. ま と め

この実験は、雪が三軸圧縮をうけた場合、i) 一軸圧縮にくらべて破壊のおこり方がどのようになるか、また ii) 三軸圧縮の破壊強度からえられる一連のモール円はどのような包絡線を画くかなどを知る目的で行なわれた。

圧縮速度 v は、木下や遠藤の一軸試験の結果を参考にして、一軸圧縮の塑性変形と破壊変形との境界である $10 \sim 20 \text{ mm/min}$ で行なった。雪の密度は $0.37 \sim 0.47 \text{ g/cm}^3$ の範囲で、硬度は 10 kg/cm^2 以上の雪としては丈夫な雪であった。これは初めに加える側圧のために雪が押しつぶされないように丈夫な雪をえらんだ結果であった。側圧は $0 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2$ の範囲、雪の温度は -12°C であった。えられた結果は次のようにまとめられる。

1) 側圧の小さい時は、三軸圧縮と一軸圧縮による雪の破壊の抵抗力曲線は似ているが、側圧をますと、鋸歯状波を描いていた抵抗力曲線は、鋸歯の幅が広がるようになり、終りには塑性変形にかわる。したがって、破壊変形を塑性変形の限界速度は、一軸圧縮にくらべて v の大きい方に移行する。

2) 温度、密度、硬度がおなじ雪では、 v の大きい方が破壊しやすく、側圧 p の大きい方が破壊しにくい。

3) 密度 $0.37 \sim 0.47 \text{ g/cm}^3$ 程度の雪では、破壊強度から求めたモールの包絡線は直線となり、破壊条件として、

$$|\tau| = c - \sigma \tan \phi$$

の関係が成り立つ。雪の密度が大きい程 $\tan \phi$ は大きく、一方、 c の値は小さくなる。

この研究に対し援助をいただいた木下誠一教授、秋田谷英次氏、成田英器氏に感謝の意を表わす。なおこの研究は雪崩特別事業費によって行なわれた。

文 献

- 1) 木下誠一 1957 積雪における変形速度と二つの変形形式 (塑性変形, 破壊変形) との関係, 低温科学, 物理篇, **16**, 139-166.

- 2) 木下誠一 1958 積雪における変形速度と変形形式との関係 II, 低温科学, 物理篇, **17**, 11-30.
- 3) 木下誠一 1960 積雪における変形速度と変形形式との関係 III, 低温科学, 物理篇, **19**, 135-146.
- 4) Kinoshita S. 1966 Compression of snow at constant speed. *In* Physics of Snow and Ice, Part 2 (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 911-927.
- 5) 遠藤八十一 1967 積雪円柱の圧縮破壊, 低温科学, 物理篇, **25**, 64-72.
- 6) 成田英器 1967 三軸圧縮における雪の変形, 低温科学, 物理篇, **25**, 50-61.
- 7) Landauer, J. K. 1957 Creep of Snow under Combined Stress, *SIPRE Res. Rept.*, **41**, 1-12.

Summary

Cylindrical columns of snow, 5 cm in diameter and 11 cm in height, were enclosed in rubber envelopes and compressed axially with the constant speed v in a chamber of triaxial compression apparatus under the hydrostatic pressure p of ethylene glycol (Fig. 1). The density ρ of the snow was $0.37 \sim 0.47 \text{ g/cm}^3$, its hardness R in Kinoshita's hardness gauge was more than 10 kg/cm^2 and its temperature was kept at -12°C throughout the experiment (Table 1). The speed of compression v was ranged in $10 \sim 20 \text{ mm/min}$ which corresponded to the critical speed v^* : contraction of snow by uniaxial compression appears destructive or plastic depending upon the speed of compression with the critical speed v^* (S. Kinoshita).

Under a constant speed of compression, resistive force of snow to the compression appeared to be a sawteeth shape according to successive minute fractures at both the end of the snow column (Fig. 2). With increase in p , each wave of the saw-teeth became broad and then disappeared, which could be considered that the fracture of the snow turned into plastic deformation. With increase of hydrostatic pressure, the critical speed v^* and the compressive strength became bigger.

The compressive strength of snow and hydrostatic pressure of the experiment gave Mohr's circles (Fig. 6). Their straight envelopes brought forth the well known formula,

$$|\tau| = c - \tan \phi,$$

as the stress criterion for the fracture of snow. With increase in snow density, $\tan \phi$ increased while c decreased (Figs. 7 and 8).