



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	雪を平板でおすときの接触面の観察
Author(s)	木下, 誠一; KINOSITA, Seiiti
Citation	低温科学. 物理篇, 22, 73-82
Issue Date	1964-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18008
Type	departmental bulletin paper
File Information	22_p73-82.pdf



雪を平板でおすときの接触面の観察*

木下 誠 一

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和 38 年 12 月受理)

一様な雪の円壺を定速度で圧縮する場合、圧縮の速度がある限界値より大きいと、破壊が起る。その限界値は、雪質、温度で多少異なるが、雪の円壺の高さには余り関係せず、ほぼ数 mm/min の圧縮速度である。つまり、速度の限界値として意味があるのは、歪速度ではなく、円壺の端面が実際に移動する圧縮速度である。このことは、破壊の現象が、円壺の端面と密接な関係をもつことを示唆する。事実、破壊は、円壺の上又は下の端面で間歇的に起り、破壊した雪粒は側方に飛散する。このときの円壺の縮み方の経過及び抵抗力については、既に詳しい報告が出されている^{1),2)}。

これまでの実験においては、破壊の様子を円壺の側方から観察しただけであったが、今回、透明な圧縮板を使い、破壊する端面の直接観察をおこなった。その結果、側方からは、雪の円壺が一層ずつ破壊剝離されて行くようにみえたのが、実はそうではないことが解った。端面では、圧縮板と雪との摩擦のため、接触面の雪粒が動かない。そして、破壊は、端面のふちの部分と、接触面の不動部分を底面とする下向きの円錐面にそって起る。又、薄片を作って組織を調べた結果、この円錐は、相互のつながりを断ち切られた多くのこまかい氷粒が、つめこまれて出来ていることが解った。

以下に、その実験について述べる。

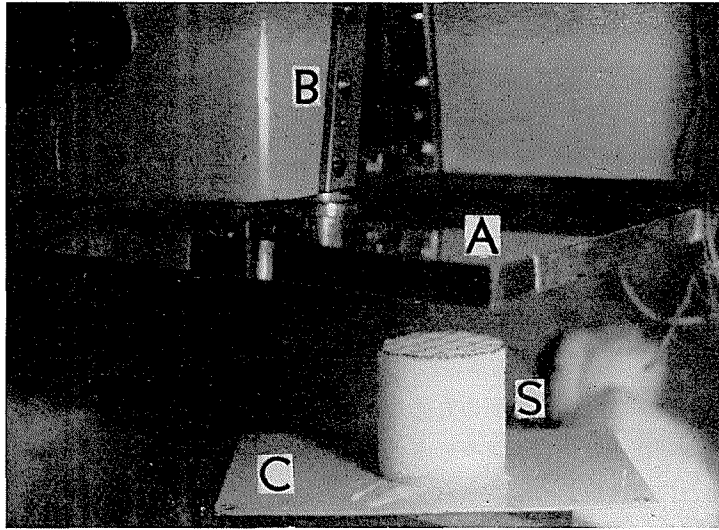
I. 実験装置

実験は、低温実験室内で 10 トンの圧縮試験機を用いておこなわれた。実験装置の主要部を第 1 図の写真に示す。雪の円壺 S と圧縮板 A との接触面が観察できるように、圧縮板には丈夫で厚い透明なメタアクリルの板(厚さ 18 mm, 40 cm×40 cm)を用いた。圧縮板の中央には、真鍮の取手が垂直にとりつけてある。それを試験機のクロスヘッド B にかませ、雪の円壺 S の上面が、圧縮板の中心から離れた部分で圧縮されるようにした。こうすると、圧縮中に雪の円壺の上面に起る変化を、直接に、圧縮板をとおして上方から観察することが出来る。

用いた試験機では、クロスヘッド B が固定されており、雪の円壺 S をのせた下部の支持台 C が、油圧で上昇する。それで、雪の円壺の上面に起る変化は、固定した写真機によって、逐次撮影される。雪の円壺の上面には、目印としてインクで格子縞をかいた。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 661 号

雪の円壻の端面破壊は、上端面だけで起ることも下端面だけで起ることも、また上下両端面で同時に起ることもある。この実験では、上端面の破壊が必要なので、下端面を下部支持台 C に凍りつかせた。 -20°C ほどに冷えた低温実験室の中で、スポイトに吸わせた 0°C の水を、支持台 C の上にまき、その水がまだ凍りきらないうちに、雪の円壻をその上にのせる。この水は雪に吸われて凍り、雪の円壻は支持台 C に凍りづけされる。第 1 図で、雪の円壻 S の下部に 1 cm ほどの厚さの氷の層がみえる。こうすれば、下端面は破壊せず、破壊はつねに上端面だけで起る。



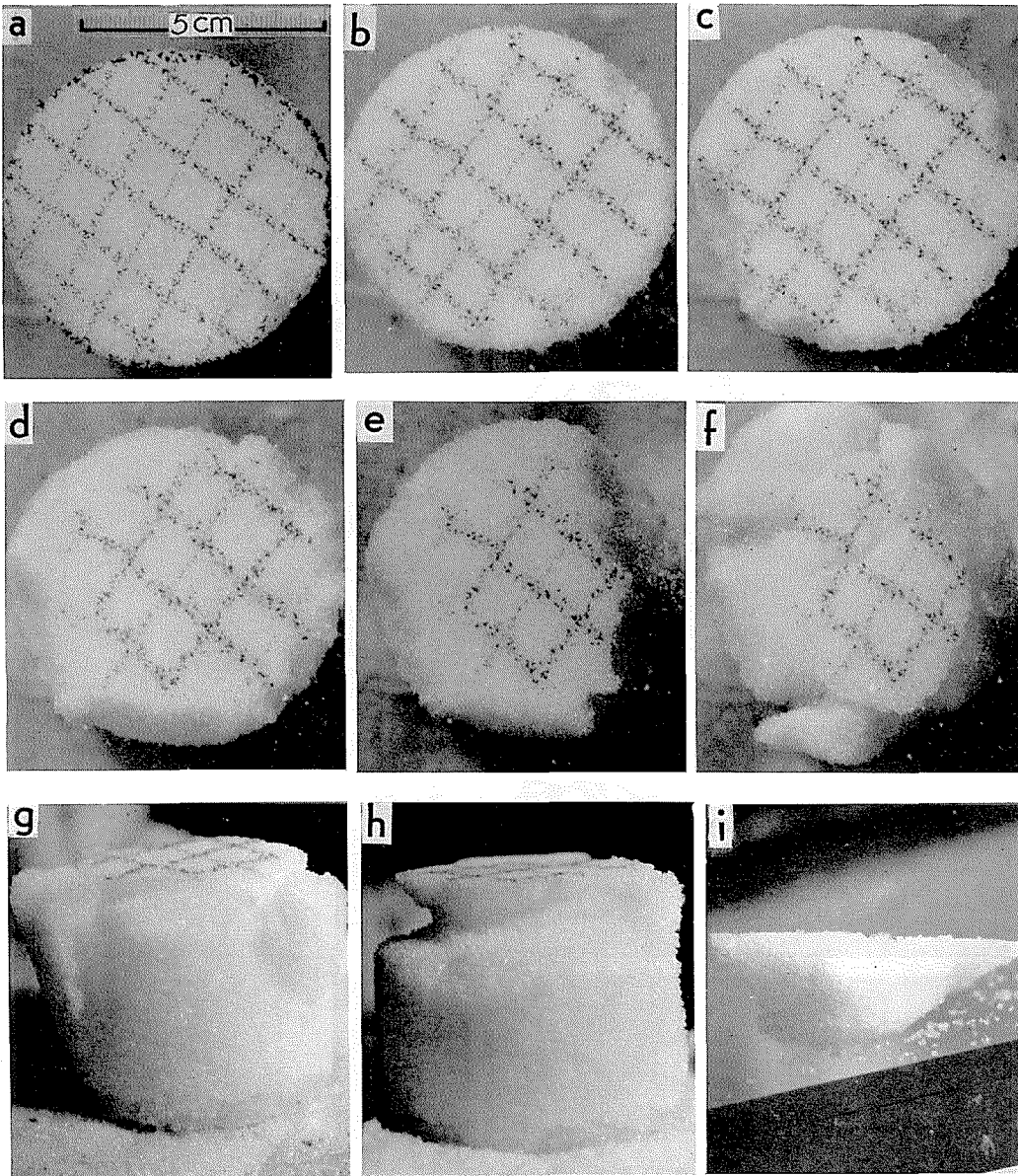
第 1 図 実験装置の主要部

A: 圧縮板, B: クロスヘッド, C: 支持台, S: 雪の円壻

II. 実 験 (1)

雪の円壻の上端面がどのように変って行くかを観察した一例を、第 2 図の一連の写真に示す。この雪の円壻は、はじめの直径 6.6 cm、高さ 7 cm で、密度 0.30 gr/cm^3 の一様なしまり雪でできている。第 1 図の写真は、この円壻を圧縮しはじめる前の状態である。円壻の上面にはたてよこ 5 本ずつの格子縞と、ふちにそって円周が、印されている。第 2 図は、円壻を上からみたところで、**a** は圧縮開始前、**b, c, d, e, f** は圧縮中の有様を示す。圧縮は、温度 -23°C 、速度 2.5 cm/min で行なわれた。

破壊は、1 乃至 2 秒毎に間歇的に起り、そのたびごとに、破壊された雪粒が側方にはじきとんだ。写真 **b** では、ふちのインクの円が消えているが、これは、まず端面のふちで破壊が起ったことを示す。次の **c** では、格子縞の端が **b** よりも少し消えて居り、又写真の左下方及び右上方では、ふちの一部が欠け落ちている。次の **d, e** では、格子縞が更に端の方から少しずつ消えて行き、又欠け落ちるふちの部分も次第に増して行く。**e** では、はっきりみとめられる格子縞は、たてよこ 3 本ずつに減っている。最後の **f** では、残っている格子縞は **e** のときと変りな

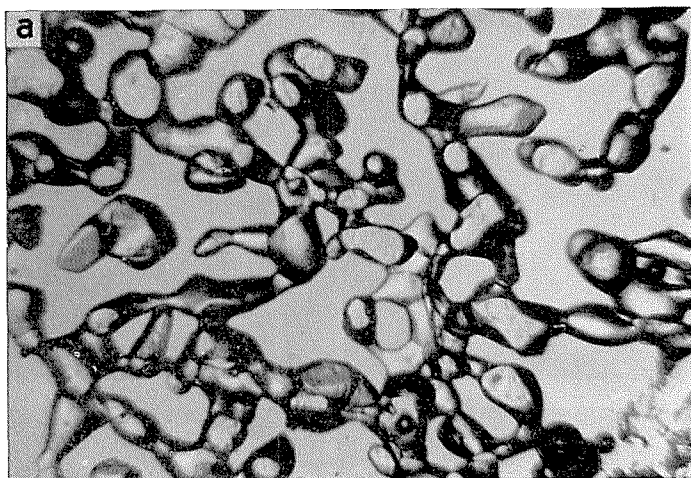


第 2 図

a, b, c, d, e, f: 雪の円錐が圧縮される際の上端面の変化 (上方からの観察)

g, h: 圧縮後の雪の円錐, i: 円錐の上部に残った硬い円錐

はじめの雪の密度: 0.3 gr/cm^3 , 実験温度: -23°C , 圧縮速度: 25 mm/min

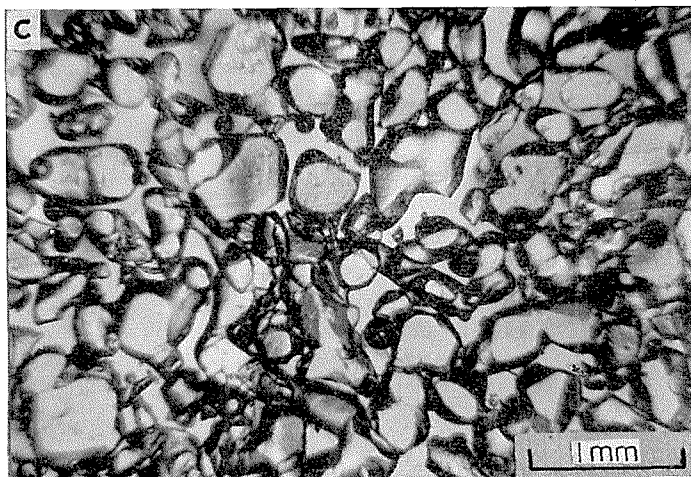
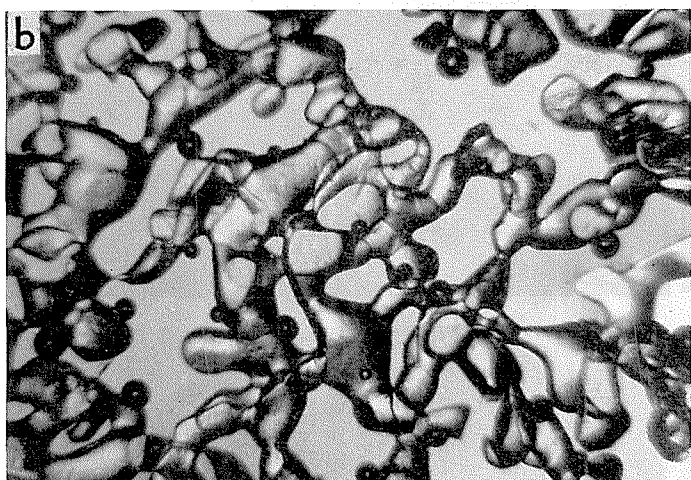


第3図 薄片の写真
(厚さほぼ 0.15 mm)

a: もとの雪(しまり雪,
密度 0.30 gr/cm³)

b: 破壊しないで残った部分の
雪

c: 円礫の上部に残った硬い円
錐の雪, 破壊した雪粒がつ
まっている



いが、円壘全体にわたる割れ目がみとめられる。

最後まで残った格子縞のインクの印は、個々の線の幅がひろがり、いく分ばやけてはいるが、相互の間隔は、圧縮前と殆ど変らない。このことは、その部分の雪粒が、はじめからほとんど動かなかつたことを示すもので、圧縮板と雪との間に、摩擦があることの証拠に他ならない。

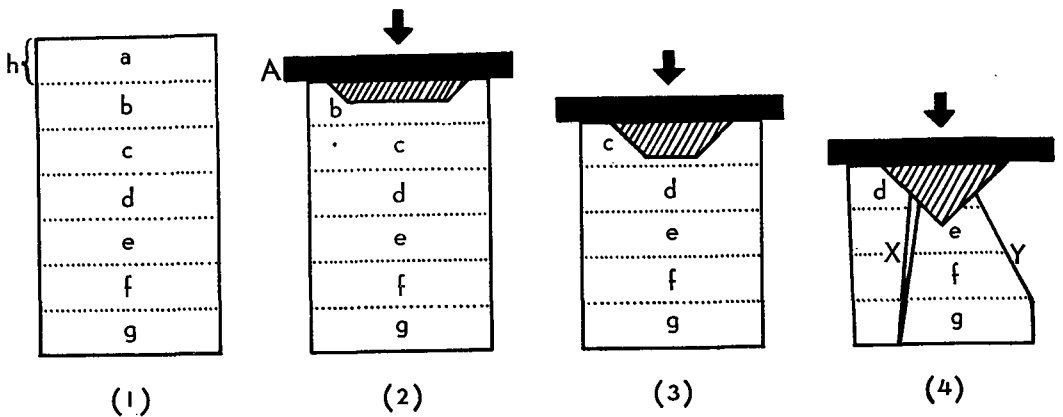
実験終了後の雪の円壘を横からみた写真が **g** である。上端面に残ったインクの印を底面とする楔が、円壘の中に打ちこまれているような印象をうける。事実、この部分を指先ではじると、硬い塊が感じられ、**h** のように、硬い部分が円錐形に露呈して来る。**i** は、とり出した円錐である。

第3図は、顕微鏡的組織をみるために作った薄片の写真である。**a** は、圧縮前の雪から切り出した薄片で、太さ $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ の氷の粒子が網目状につながっている。これは、密度 0.3 gr/cm^3 ほどのしまり雪に普通にみられる組織である。**b** は、実験終了後までに破壊もせず、また余り圧縮もされずに、円壘の周辺及び下部に残った雪の薄片である。**a** と比べて、顕著な差異は認められない。この実験では、抵抗力として最大 40 kg が現われたので、この雪は平均として 1 kg/cm^2 ほどの圧力をうけたわけであるが、筆者が前におこなった実験³⁾ (塑性圧縮による積雪の氷への転化)でも、また若浜の実験⁹⁾ (薄片の圧縮)においても、この程度の圧力では、はっきり見分けのつくほどの変化が雪の組織に現われなかった。

第3図の **c** は、第2図の **i** の円錐からとった薄片である。太さ $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ の氷粒が沢山つまっているが、この氷粒は、破壊をうけて相互のつながりを断ち切れ、ばらばらになった多くの雪粒であろう。つまり、円錐面にそって新しい破壊が起り、破壊した雪粒は円錐の中に入りこまれて、つめられて行くものと思われる。又、円錐底面(圧縮板との接触面)は、みかけ上不動ではあったが、この底面でも、雪粒間のつながりは破壊され、下方からは破壊した雪粒が空隙に入りこんだと思われる。それで、個々のインク印の線の幅が少し広がったのであろう。

圧縮がある程度進めば、第2図の **e**, **f** のように、格子縞の残存範囲は縮少しくなる。そして、雪の円壘には縦に全体にわたる割れ目が現われ、破壊した雪粒がこの割れ目を通して逃げ出すのがみられる。この段階では、円錐はもはや成長せず、ただ楔のように下降して行くだけなのであろう。

以上の観察から、雪の円壘の破壊の経過を模式的に推定してみよう。第4図の(1)に示すように、はじめの雪の円壘を水平に同じ高さ h のいくつかの層にわけ、上から **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f**, ……と名前をつける。(2)は、圧縮が h だけ進行した状態で、層 **a** の周辺部は側方へ飛散し、残りの中心部分は、層 **b** 内の斜線領域につめこまれた。中心部分で破壊した雪粒は、接触面での摩擦のため、側方まで逃げきれずに堆積したのである。破壊は最大剪断応力方向に起ると考えられる。それで、恐らく斜線領域の側面は図のように、最大剪断応力線の軌跡である円錐面の一部となるであろう。(3)は、圧縮が $2h$ だけ進んだところで、層 **b** の周辺部は飛び去り、斜線領域の側面と下面で破壊した雪粒は斜線領域内に入りこまれ、層 **c** のなかに図のような截頭円錐を作った。(4)は、更に圧縮が進行して、層 **c** も消失し、斜線領域が下方に成長し、側面全体が最大剪断応力方向になって、円錐が完成したところである。こうして、円錐が出来上ると



第 4 図 雪の円錐が破壊しながら縮む経過の模式図

- (1) 圧縮前。厚さ h の層 (a, b, c, d, e, f, g) に分けて考える
- (2) 圧縮が h だけ進んだところ。斜線領域には、円錐上面の中心部で破壊した雪粒がつめこまれる。A は圧縮板
- (3) 圧縮が $2h$ だけ進んだところ
- (4) 圧縮が $3h$ だけ進んだところ。X, Y は割れ目で、Y の右上が欠け落ちる

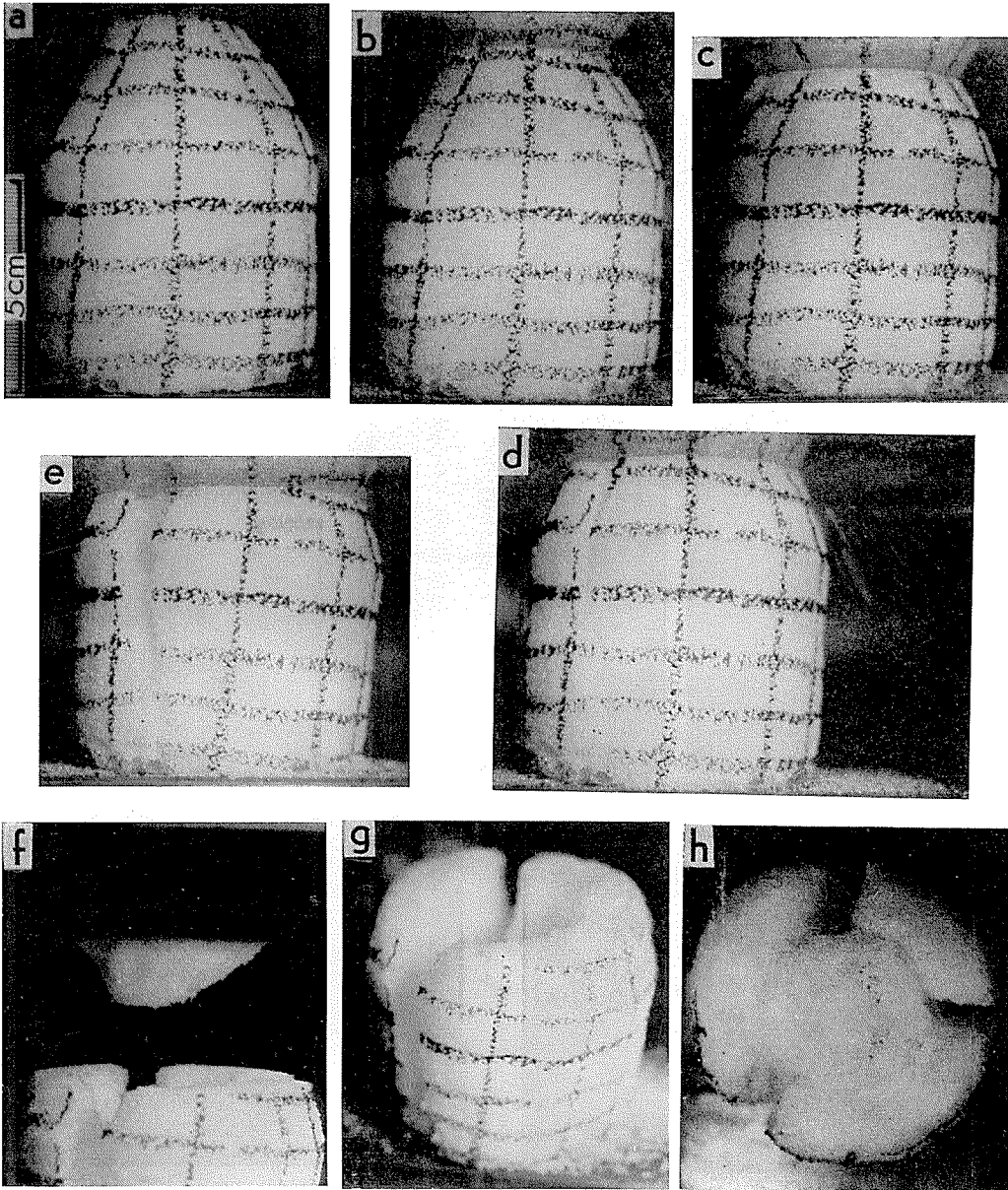
円錐側面にそつての破壊はとまり、残っている雪の円錐全体にわたつて割れ目が現われるのであろう。(4) の 2 本の直線 X, Y は、割れ目で、Y から右が欠け落ちた有様が示されている。

III. 実 験 (2)

横から観察しなくても、上から見るだけで雪の円錐の圧縮程度が解れば、実験上便利である。そのために、第 5 図、第 6 図のような、側面と上端面とにインクで格子縞をかいた上部が円錐形、下部が円錐形の雪の柱を用いた。これを上からみると、第 6 図の **b** のように、インクでかいた同心円がいくつか見え、この同心円は、外側の大きなものほど、下の方に位置している。それ故、同心円がいくつ消えたかで、圧縮の進行程度が判定出来る。しかし、ここでは、まず、特に側方から観察した場合の写真第 5 図について説明する。

第 5 図の雪の柱は、高さ 9 cm、下部の直径 7.5 cm、上端面の直径 3.4 cm である。雪は第 2 図の雪と同じであり、実験温度、圧縮速度もまた第 2 図の場合にほぼひとしい。写真 **a** が、はじめの状態、圧縮進行とともに、**b, c, d, e** と変化した。前の実験と違って、この実験では雪の柱の側面に格子縞があるので、雪の柱は逐次上方から消えてゆくが、残りの部分は殆ど変化をうけない有様がよく解る。写真 **d** では、左の方に縦に割れ目が出来はじめた。又、右上側方から右斜め下にかけては、白いぼんやりした線が数本ならんでいるのがみえる。これは、破壊した雪粒がとび散る瞬間が写真にうつつたのである。**e** が、最後の状態で、縦の割れ目は上の方ほど大きく開いている。

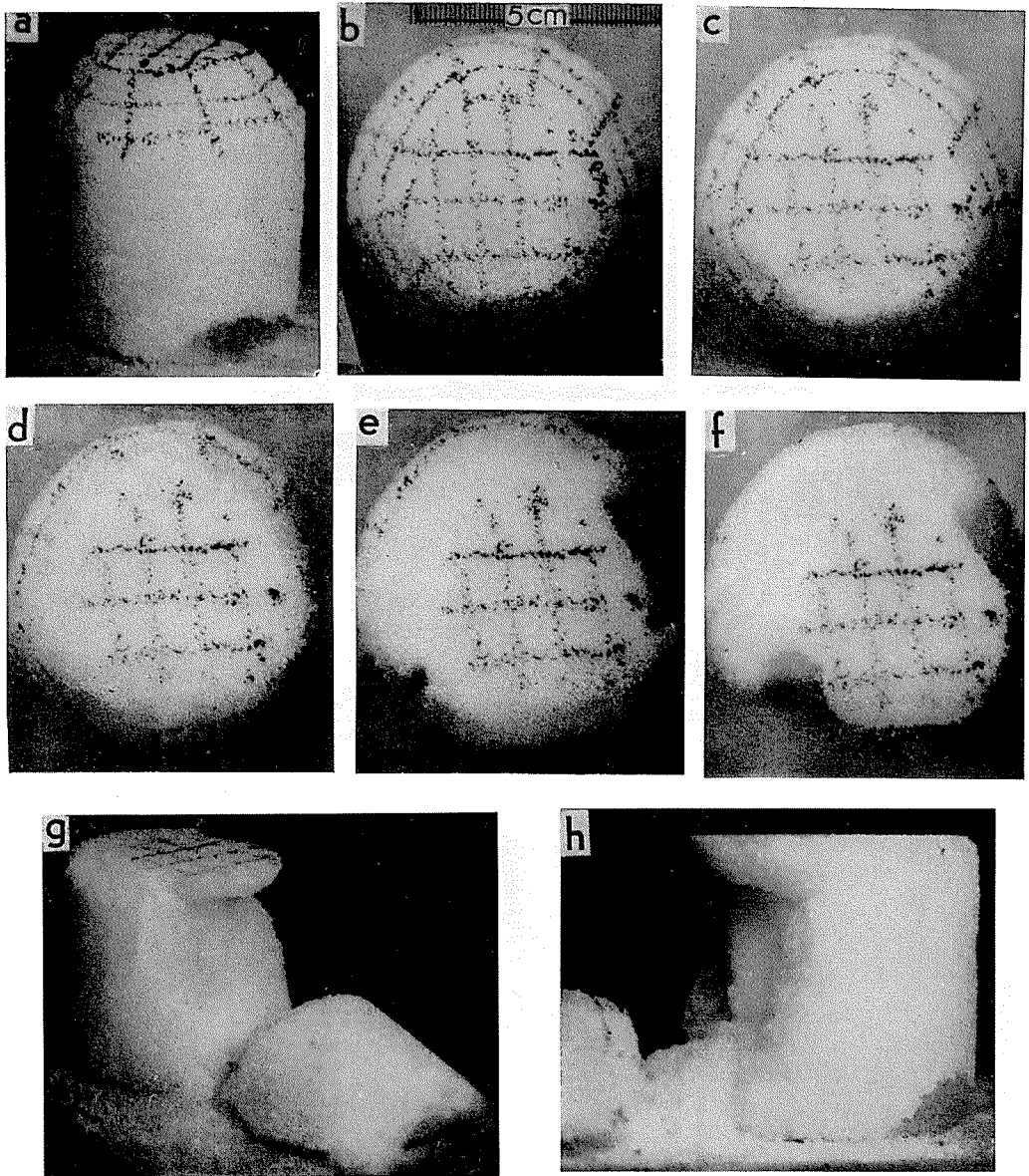
実験終了後、圧縮板を離れたところ、第 2 図の場合と同じ円錐が、圧縮板にくつついたままになって、もちあげられた。第 5 図の写真 **f** がその様子を示す。**g** は、円錐の抜けたあとを斜め上からみたもの、**h** は、円錐を再びもとのところに埋めて、上からみた写真である。この



第5図 上部が円錐、下部が円壜の雪の柱の圧縮 (側方からの観察)

a: 圧縮前。b, c, d, e: 圧縮経過の写真。f: 実験終了後、硬い円錐が、圧縮板とともにもちあげられる。g: 円錐がぬけたあと。h: 円錐を元に戻して上からみる

はじめの雪の密度: 0.3 gr/cm^3 , 実験温度: -20°C , 圧縮速度: 12 mm/min



第6図 上部が円錐，下部が円筒の雪の柱の圧縮（上方からの観察）

a, b: 圧縮前。c, d, e, f: 圧縮経過の写真。g, h: 実験終了後，側方からみる

はじめの雪の密度: 0.3 gr/cm^3 , 実験温度: -20°C , 圧縮速度: 10 mm/min

ように、雪の円錐の上部を細くしても、やはり硬い円錐が現われる。以上のことは、円錐の上部を円錐形としても、破壊の機構にはほとんど変化が起らないことを示すものである。

第6図は、別の雪の柱を圧縮して、上方から観察した写真である。雪の柱は、高さ7.7 cm、下部の直径7.1 cm、上端面の直径4.2 cmである。写真 **a** は、この雪の試料を斜めにみたところで、上端面と上部の円錐面とに格子縞の印がつけてある。**b** は、上端面を上方からみたところで、上端面は圧縮の経過につれて写真 **c**, **d**, **e**, **f** のように変化した。第2図の円錐形の雪の柱の場合と同じく、まず上端面のふちが欠ける。しかし、その後は、第2図の場合と違って、上端面の格子縞は殆ど変化しない。ただ、個々の線が少し幅広くなることは同じである。

円錐面につけた同心円は、圧縮が進むに従い、内側のものから次第に消えて、写真 **f** では全部消えている。このことから、先に述べたように、圧縮の度合が解るわけである。圧縮終了後の写真 **g** と **h** には、これまでの例と同じく、上端面を底面とする硬い円錐がみられる。

粗い剛体の平板で物質をおす場合、その物質に塑性状態が現われる程になって、なお、圧縮を進めて行っても、接触面の中心部分を底面とする円錐の領域だけは、いつまでも、塑性状態にならず、しかも変形をうけないでいる。このことは、ちょうどこの実験で、接触面を底面とする硬い円錐が現われ、ある程度圧縮が進むと、その後はこの円錐は形を変えないままであるのとよく似ている。したがって、この場合にも、塑性論的な考えがなり立つのかも知れない。

今回は実験の回数は少なかったが、かなり面白い結果がえられた。今後、圧縮板の材質、試料の雪質、又、実験の温度や速度をいろいろ変えて、実験を進めるつもりである。

終りに、この研究に際し、いろいろ御指導をいただいた吉田順五教授に感謝の意を表します。

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 1962 塑性圧縮による積雪の氷への転化. 低温科学, 物理篇, **20**, 131-157.
- 4) 若浜五郎 1960 積雪の薄片を応用した積雪の組織と内部歪の研究 (II). 積雪薄片の定速度圧縮. 低温科学, 物理篇, **19**, 73-96.

Summary

When a snow cylinder is compressed at a constant speed above a certain critical speed, the cylinder suffers a destructive contraction (reference (1) and (2)). When observed from the side, the cylinder appears to contract in such a way that its end layers are broken down and squeezed out one after another. The series of photographs in fig. 5 illustrate this process.

The author observed the upper end surface from above by using a transparent compression plate (methacrylic acid resin). The series of photographs in fig. 2 show the

changes in the end surface during the destructive contraction of a snow cylinder (density: 0.3 gr/cm^3 , temperature: -23°C , compression speed: 25 mm/min). Before the experiment, a grid was drawn on the upper surface with ink (fig. 1 and fig. 2-a). The ink lines began to disappear at the periphery of the specimen and the remaining portions of the ink lines broadened, but there was no other change (fig. 2). As compression proceeded, several cracks appeared through the ink lines and the peripheral parts of the cylinder's top split out. At the end of the experiment the loose snow at the top of the cylinder was gently removed by hand leaving a cone of compacted snow (fig. 2-h, i). The microscopic observation of the texture of the cone showed that it was an aggregation of numerous small separated ice grains (fig. 3-c).

The above-mentioned process of destructive compression will be more clearly understood by its schematic representation shown in (1), (2), (3) and (4) of fig. 4. The shaded portions of the figure represent areas where snow grains, broken at the top of the cylinder, are packed together. The region enlarges downwards to form, finally a cone, the generating line of which lies in the direction of maximum shear stress. Until the formation of the cone, the snow continues to break down on the lower and side surfaces of the region. After the formation of the cone several vertical splits appear through the snow cylinder (fig. 5, 6).