HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	網状組織をもつ物質の圧縮　Ⅰ：エアライトホーム（ポリウレタン）の圧縮
Author(s)	木下，誠一
Citation	低温科學. 物理篇，21，23-29
Issue Date	1963-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17994
Type	departmental bulletin paper
File Information	21_p23-29.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Seiiti KINOSITA 1963 Compression of Materials with Network-Texture. I. Compression of "Airlite Foam". *Low Temperature Science, Ser. A, 21.* (With English résumé p. 28)

網状組織をもつ物質の圧縮 I*

—エアライトホーム（ポリウレタン）の圧縮—

木下誠一

（低温科学研究所　応用物理学部門）

（昭和37年10月受理）

エアライトホーム（ポリウレタン）は，断熱剤の商品名である。大部分が空気で，実質のポリウレタンは，細い繊維状をなして網状に連結している。外見はちょうどしまり雪のように白く，割合硬い。筆者は，積雪の圧縮を専門に研究しているのであるが，積雪も，ほぼ半分ほどが空気で，実質の氷は，細長い粒子の形をなして網状に連結している。積雪の圧縮を研究する上の一助として，同じ網状組織をもつエアライトホームを圧縮してみた。

I. エアライトホームの組織

エアライトホームは，ポリウレタン生成の過程で，ガスを適当に発泡させて作られたものである。用いたエアライトホームの密度は，僅かに 0.04 gr/cm^3 という非常に小さいものである。実質のポリウレタンの密度は 1.2 gr/cm^3 であるから，このホームの 97% は空気である。

1 mm ほどの厚さの薄片に切りとって，その組織を顕微鏡でみたのが，第1図の写真の **1** と **2** である。**1** は発泡方向に垂直な薄片，**2** は発泡方向の薄片である。黒い繊維状のものが網目をなしてつながっているが，この黒いのがポリウレタンである。繊維の太さは，0.1 mm 程度で，一つの網目の目の長さは，発泡方向に垂直な面で 0.2～0.6 mm，発泡方向で 1～2 mm である。

II. 圧縮力曲線

エアライトホームを角柱に削りとり，上下両面を出来るだけ平面に仕上げて，万能試験機で圧縮する。第3図がそのときの圧縮力曲線の一例である。縦軸に圧縮力，横軸に角柱の高さをとってある。このときは，断面が 7.6 cm×7.2 cm，高さが 8.3 cm の角柱を，速度 20 mm/min でおしたのである。発泡方向に圧縮するようにしてある。実験の温度は +12°C であった。圧縮開始の A 点から，力は急激に増大するが，4 mm ほど縮んで，B 点 (225 kg, 4.1 kg/cm^2) に達すると，力の増大がとまる。この点が降伏点である。以後ほぼ一定な力を保ちながら，圧縮が進む。そして，高さが，はじめの約 1/4 の 2 cm 近くになると (曲線の C 点)，力は突然急激

* 北海道大学低温科学研究所業績　第633号

に増大し，たちまち500 kgをこえた。

III. 圧 縮 経 過

圧縮力ははじめ縮みに比例して増大するが，ある値（降伏点）に達してからは，暫くの間その値を一定に保つ。これだけでみると理想塑性体の応力-歪曲線といえるが，エアライトホームは，実際に塑性的に縮むのであろうか。それを調べるため，角柱の一側面に細長いインクの印を等間隔に10個上から下まで並べてつけた。そして，これらのインク印の間隔が圧縮の経過とともにどのように縮むかをみた。第2図にその経過の写真を示す。

第2図の**1**は，はじめのエアライトホームの角柱を示す。高さ9.5 cm，横幅8.3 cmである。側面に10個のインクの印をつけてある。この角柱を1.8 mm/minの速度でおしたのである。

2では，角柱は僅か3 mmほど縮んだだけで，インク印間隔はたがいに余り変らない。力ははじめの上昇段階である。

3では，上端面と印1との間の間隔だけが，ひどく縮んで，他の間隔はみな変りない。このときには，力はすでに一定段階に達していた。その力の値は，245 kg (3.5 kg/cm²) であった。

4では，上端面から印3までの間が縮み，残りの印3から下端面までの間は，依然として変りない。

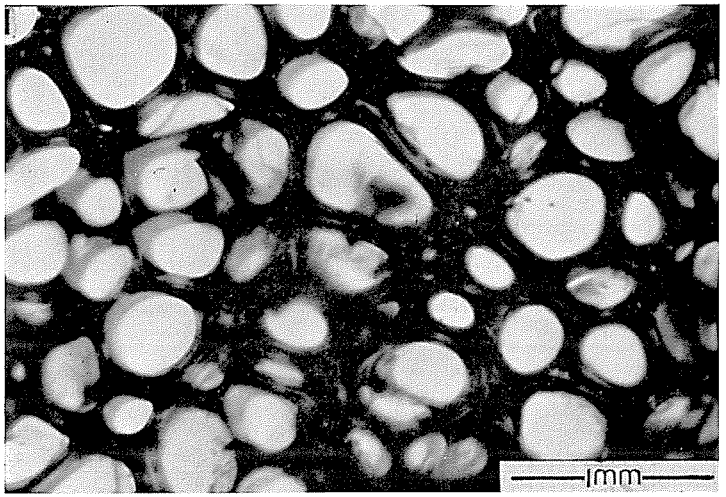
5では，すでに**4**で縮んでいた上端面から印3までの間は，その後縮むことがなく，その下の印3から5印までの間が縮んでいる。そして，残りの印5から下端面までは，やはり変りない。このように縮みの前線が次第に下方に進んで行く。縮み前線が通った部分は，みな，はじめのほぼ23% に縮んでいる。

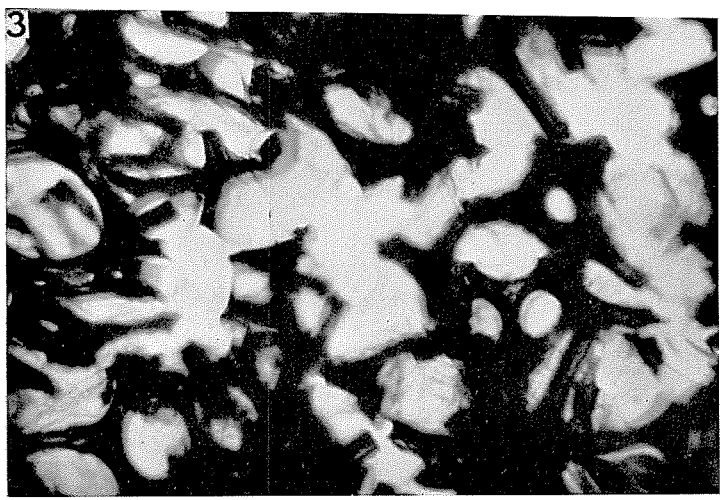
この縮みの前線は，写真**6**では印7まで，**7**では印8まで，**8**では印9まで進んだ。そして，**9**では下端面にまで達した。このときの柱の高さは2.2 cmで，はじめの23% である。それまで一定であった力が最後の急上昇段階に入ったところである。ここで圧縮をやめたのであるが，圧縮機からとりはずしたところ，高さ2.9 cmにまで膨脹した。

圧縮力が降伏点をこすと，特別に歪の大きい領域が柱の上面からあらわれ，次第に下方に広がって行く。弾塑性変形理論によると，この領域が塑性域とよばれるものである。塑性域では，その歪が降伏点のときの柱全体としての歪に比べると遙に大きい。そして，塑性域以外のところでは，降伏点のときの歪のままである。これが弾性域である。圧縮が進むと，塑性域が広がり，弾性域がせばまって行くのである。この実験のエアライトホームの場合では，塑性域における歪が77% で，弾性域における歪は，降伏点のときの歪3% である。

塑性域が柱全体に及んでしまった圧縮後のエアライトホームの薄片を作り，その組織を調べてみた。その写真を第1図の**3**に示す。圧縮前の組織の写真**1**，**2**にみられるような網目組織はくずれ，ちぎれたポリウレタンの繊維がつみ重っている。

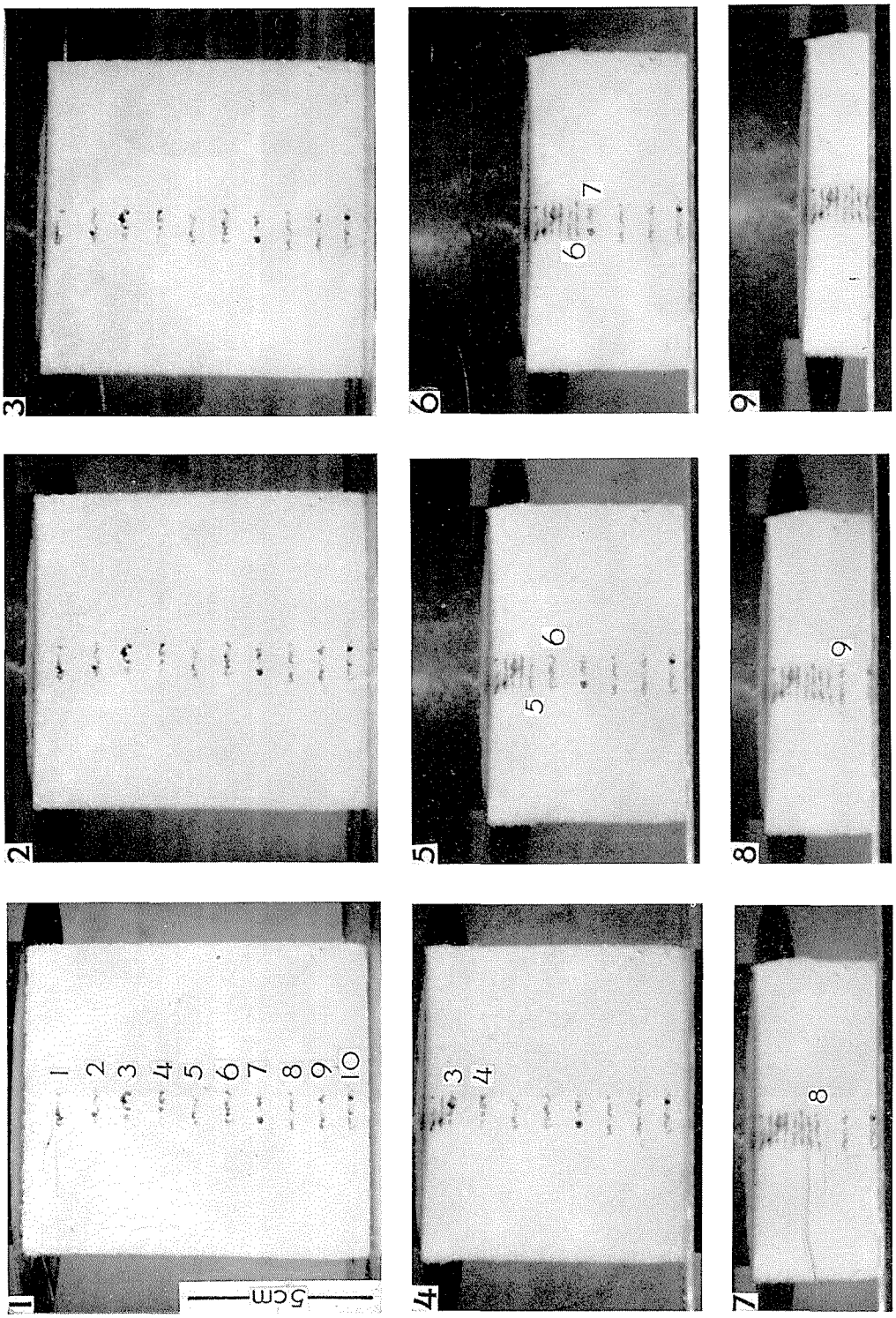
この写真から，塑性域というのは，実は，ポリウレタン繊維の網目結合が破壊された領域

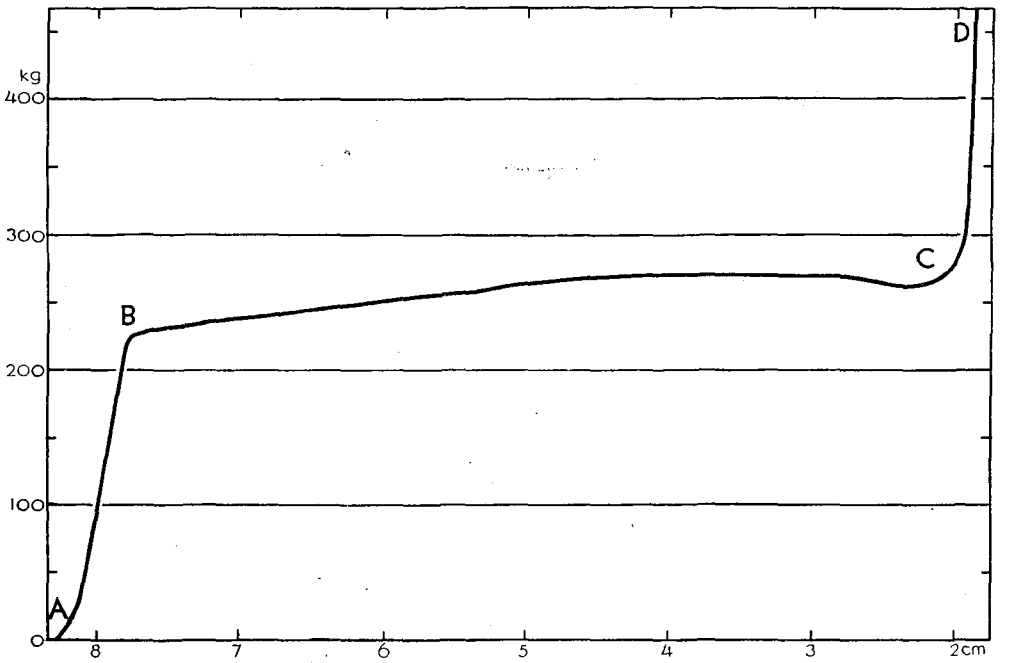




第1図　エアライトホーム薄片の写真
厚さ約 1 mm，密度 0.04 gr/cm³
黒い繊維状のものがポリウレタン
1. 発泡方向に垂直な薄片
2. 発泡方向の薄片（写真上方が発泡方向）
3. 圧縮後の薄片（発泡方向に垂直）

第2図（裏面）　圧縮経過の写真


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
5cm



第 3 図 圧縮力曲線。圧縮速度 20 mm/min。はじめの高さ 8.2 cm，断面 7.6 cm×7.2 cm。横軸は柱の高さ。

であることが解る。すなわち，この場合は，塑性域の先端面で破壊が起っていたわけである。したがって，応力—歪曲線の上では，塑性圧縮のようにみえたが，実は，破壊が拡がるという形式で，圧縮が進んで行ったのである。

このような縮みの経過は，圧縮速度を 0.14～20 mm/min に，又，温度を 20°C～−30°C に変えても同じであった。

積雪をある限界の速度よりも速い速度でおすと，このエアライトホームの場合と全く同じく，破壊が広がるという形式で，圧縮が起る[1]。積雪の破壊も，実質部分の氷の網目がちぎれて，氷粒子がばらばらになることである。筆者の論文 "積雪の硬度 I[2]" の第 8, 9, 10 図に，その様子を写真で説明してある。

しかし，積雪の場合には，おす速度が限界の速度よりも小さいと，破壊が全く起らず，全体が一様に縮んで行く。これが塑性圧縮であるが，上記の破壊をともなう圧縮とこの塑性圧縮の両変形の限界の速度は，温度，雪質に関係する[3]。この全く違う二つの変形形式が，圧縮速度の違いで現われるのは，網目組織をもつ物質に特有なものであろうか。今回のエアライトホームの圧縮の実験では，この点を調べることが出来なかった。ポリウレタンの融点が 200°C 以上という高さのためであろう。今後，もっと広範囲の温度，速度で実験をおこなってみたい。

終りに，いろいろ御指導をいただいた吉田順五教授に厚く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 1960 積雪の硬度 I. 低温科学, 物理篇, ***19***, 119–134.
3) 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.

Résumé

"Airlite foam" is a kind of thermal insulating material looking like compact snow in its outer apperance. The foam is like snow also in microscopic texture because it is composed of polyurethane fibers (0.1 mm in diameter and 0.5～1 mm long) joining together to build up a spacial network. The density of Airlite foam is only 0.04 gr/cm^3 while that of polyurethane itself is 1.2 gr/cm^3; the mother material polyurethane occupies only 3.3% of the total volume of the foam.

A square pillar of Airlite foam was compressed at a constant speed. As shown by the curve of Fig. 3 (coordinate: compressive force, abscissa: height of pillar), the compressive force rose rapidly at the beginning of compression until it reached the yield point B to be held almost at a constant value (4.5 kg/cm^2) afterwards. As long as the above curve shows, Airlite foam seems to be a perfectly plastic material. But perfect plasticity does not necessarily follow because of the following fact.

The photographs in Fig. 2 illustrate the process of contraction of a pillar of Airlite foam with ink marks on one of its side surfaces. In the first stage of rapid rise of compressive force, the pillar contracts uniformly from top to bottom, as is indicated by the same amount of reduction of all the intervals between the ink marks (Photo. 2). At the yield point, the contraction begins to be marked by appearance of a region of heavy compression at the top of the pillar, its main part being subjected to no further compression (Photo. 3). The region of heavy compression extends downwards (Photos. 4, 8) and, when the whole pillar comes to be heavily compressed, the compressive force begins to rise quickly again as indicated in the right edge of Fig. 3. The degree of heavy compression is as large as 77%. Since the pillar of Airlite foam does not contract uniformly through its whole length, the curve in Fig. 3 cannot be used to deduce the real mechanical properties of the material.

Experiments were made by varying the compressing speed within the range 0.14～20 mm/min at different temperatures lying between −30°C and +20°C. But no remarkable effects were found on the variation of the temperature and the compressing speed.

The "destructive compression (Ref. 1)" of snow pillar will be of the same nature as the above contraction. A difference lies in the fact that, in the case of snow, the region of heavy compression cannot be maintained in place because the heavily compressed snow disintegrates into particles which are squeezed out.

Photos. 1 and 2 of Fig. 1 are thin sections of Airlite foam before compression cut in different directions; the foam is not isotropic in its texture. Photo. 3 illustrates the texture

in the region of heavy compression. The network is broken at many places and the broken off pieces fill the air spaces which extended widely throughout the foam at the beginning of compression.