



Title	海氷の繰り返し圧縮による破壊
Author(s)	納口, 恭明; NOHGUCHI, Yasuaki; 田畑, 忠司 他
Citation	低温科学. 物理篇, 37, 63-68
Issue Date	1979-03-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18370
Type	departmental bulletin paper
File Information	37_p63-68.pdf



海水の繰り返し圧縮による破壊^{*,**}

納 口 恭 明

(北海道大学大学院 理学研究科)

田 畑 忠 司

(低温科学研究所)

(昭和53年10月受理)

I. ま え が き

海水の曲げ強度や圧縮強度などを求めるための破壊試験は、歪速度あるいは応力増加速度一定のもとに行なわれており、しかも破壊強度は、これらの値に強く依存していることが知られている。すなわち、海水の破壊に対して時間は大きな意味を持つのである。

海水試料に一定荷重を加えるクリープ試験が田畑^{1,2)}や Peyton³⁾によって行なわれているが、クリープによる破壊の実験はあまり多くはない。1977年、著者らは北海道オホーツク沿岸のサロマ湖において、海水の円筒試料に比較的高い一定応力水準を一軸圧縮試験機によって与えて破壊させた⁴⁾。この一定応力水準は、圧縮と緩和の繰り返しにより、ある応力のある範囲内に維持するものである。1977年の実験は、主に -7°C 以下の温度で鉛直試料について行なった。これに引き続いて1978年2月にサロマ湖で同様な繰り返し圧縮試験を、水平試料と結水点付近の鉛直試料について行なった。

II. 測 定 方 法

実験に用いた一軸圧縮試験機と試験方法とは前報⁴⁾のと同様である。すなわち、最大荷重と最小荷重を設定し、最大荷重まで定歪速度で圧縮した後、試験機の駆動を停止して歪を一定に保ったままで応力を緩和させる。このふたつを繰り返すことによって一定応力を維持した。荷重と変位量は、それぞれロードセルとダイヤルゲージによって測定した。圧縮の際の歪速度は主に $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ であり、一部比較のために $5 \times 10^{-5}/\text{sec}$ も用いた。又、最大荷重と最小荷重の差は平均荷重の数%から数10%であった。

試料はサロマ湖の海水(氷厚約20cm, 塩分量約3~7%)の中の表層の粒状構造を示すいわゆる雪氷の部分を取り除いたS2型(c軸が水平な柱状氷)の氷から水平方向(水平試料)と鉛直方向(鉛直試料)の試料をコアドリルで採取した。試料の直径と高さは、それぞれ79mmと100mmである。

この繰り返し圧縮試験と比較のために、これと並行して定歪速度(約 $5 \times 10^{-5}/\text{sec}$)の圧縮試験も行なった。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1966号

** 北海道大学低温科学研究所 流水研究施設研究報告 第66号

III. 測定結果

1. 歪・時間曲線

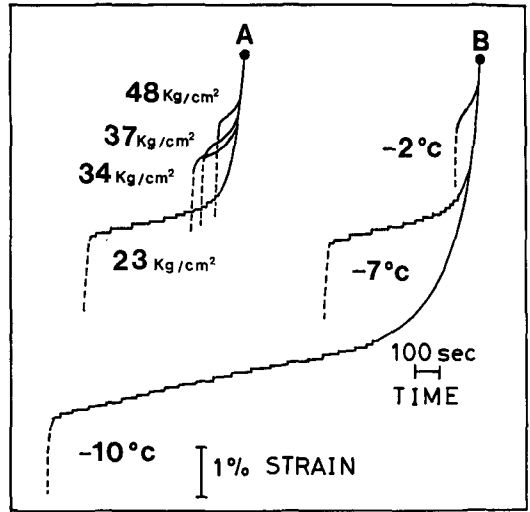
第1図には温度、平均負荷による鉛直試料と水平試料の歪・時間曲線の影響を示した。各曲線の最後の所の黒丸印は破壊点を表わしている。爆発的に破断を起したものは、その点を破壊としたが、それ以外のは、圧縮時に荷重が最大荷重までに至らずに低下し始めた所を破壊と決めた。爆発的な破断は、鉛直試料でしかも低温・高応力の場合しか起らなかった。荷重を加え始めた時の歪の測定の精度が良くなかったので、図では逆に破壊点をそろえて画いてある。実線部分は、目的の応力水準に達した後の歪の記録である。

鉛直試料・水平試料ともに温度の上昇・圧縮負荷の増加にともなって、破壊までに要する時間や破壊時の歪が減少しているのがわかる。鉛直試料の歪・時間曲線からは、定常クリープと加速クリープの差がよく現われているが、水平試料の場合は、歪速度の変化があまり急ではなく、定常クリープの存在は明らかではない。はじめから、だらだらと破壊点へ近づいているようである。

歪・時間曲線は、定歪速度の部分（圧縮時）と定歪の部分（応力緩和時）とからなる階段状の曲線であるが、それらを滑らかにつないだ曲線から得られる各点の傾きを繰り返し圧縮試験の歪速度とする。

2. 最小歪速度

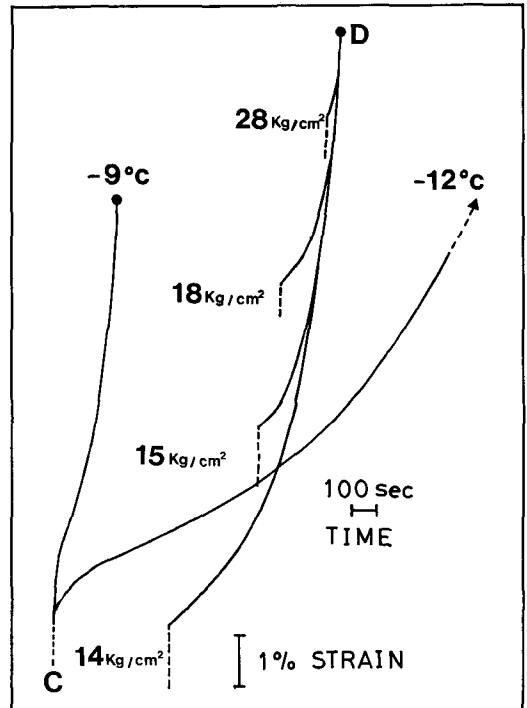
一般に水平試料の場合、徐々にではあるが常に歪速度は増加し続けるため、最小歪速度は目的の負荷を与えた初期の点のみ実現される。一方鉛直試料の場合、比較的長い、歪速度一定の区間にわたって最小歪速度が実現される。



第1図 (a) 鉛直試料の歪・時間曲線

A: 温度 -7°C における歪・時間曲線

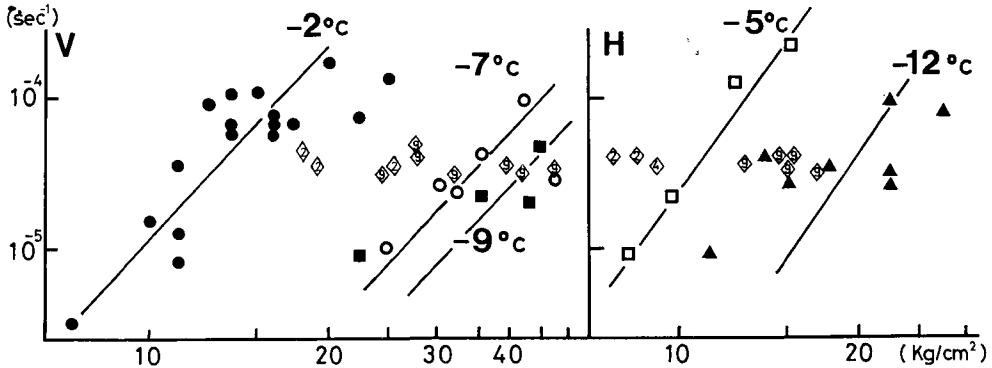
B: 平均負荷 23 kg/cm^2 での歪・時間曲線



第1図 (b) 水平試料の歪・時間曲線

C: 平均負荷 11 kg/cm^2 での歪・時間曲線

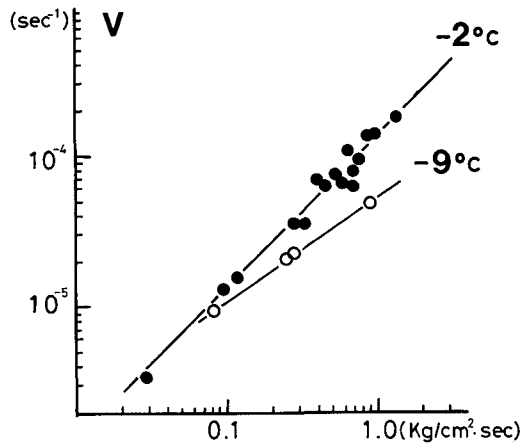
D: 温度 -12°C における歪・時間曲線



第2図 平均負荷と最小歪速度の関係 (Vは鉛直試料, Hは水平試料)
ひし形は定歪速度圧縮試験の結果であり, 中の数字は負の温度を表わす

歪・時間曲線から求めた最小歪速度と平均負荷との関係を第2図に示す。また同時に、 $10^{-4} \sim 10^{-5}/\text{sec}$ の間の定歪速度の圧縮試験によって得られた最大応力と歪速度とが記入されている。こうして記入した図中の点の位置は、繰り返し圧縮試験によって与えられた同じ温度における点の位置と、あまり相異はない。定歪速度の圧縮試験の場合、温度が低下すると最大応力は増加するが、同様に繰り返し圧縮試験の場合では、同じ最小歪速度を得るための負荷は、温度が低下するとともに増加する。又、同じ温度では負荷の増加とともに最小歪速度は増加する。水平試料と鉛直試料を比較すると、すべり面が圧縮方向と様々の角度をなす水平試料の方が鉛直試料よりも大きな最小歪速度を持つ。

歪・時間曲線における最小歪速度は、その点での応力緩和に要する時間に反比例している。このため最小歪速度は、応力・時間曲線の中の一連の緩和曲線の中で最も小さな応力降下速度と等価な性質を持つであろう。第3図に -2°C と -9°C の鉛直試料の応力・時間曲線から求めた最小応力降下速度と最小歪速度との関係を示す。これから最小応力降下速度と最小歪速度はべき乗の関係で結ばれる

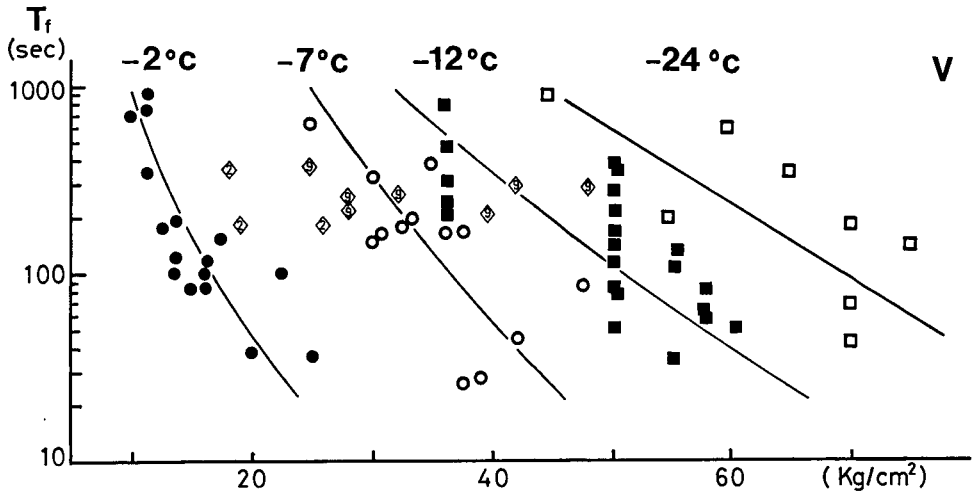


第3図 最小歪速度と最小応力降下速度の関係

ことがわかる。特に -2°C の場合、線形な関係にある。このように繰り返し圧縮試験では、歪の記録がなくても応力の記録だけで同等の情報が得られる。

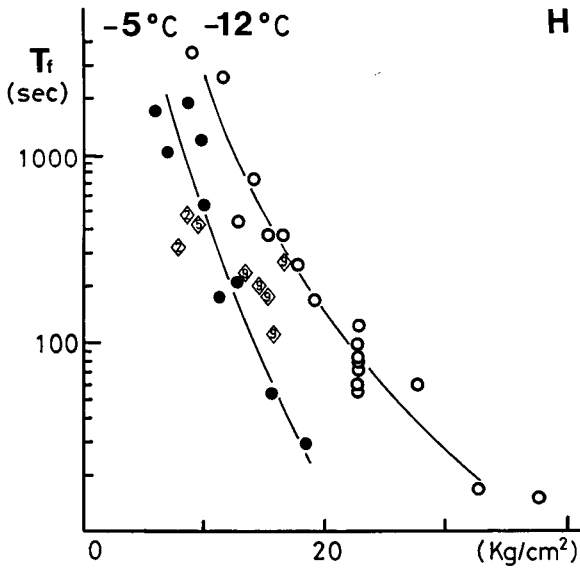
3. 破壊時間

破壊までに要する時間は、負荷の減少や温度の低下にもなって急激に増大する。それぞれの温度における平均負荷と破壊時間との関係を第4図に示す。同時に定歪速度圧縮試験により得られた最大応力とその点に至るまでに要した時間を図中に記す。水平試料の場合、定歪速度圧縮試験の点と繰り返し圧縮試験の点は位置的にあまり相異はない。鉛直試料の場合も、ばらつきは大きいと同じことがいえる。



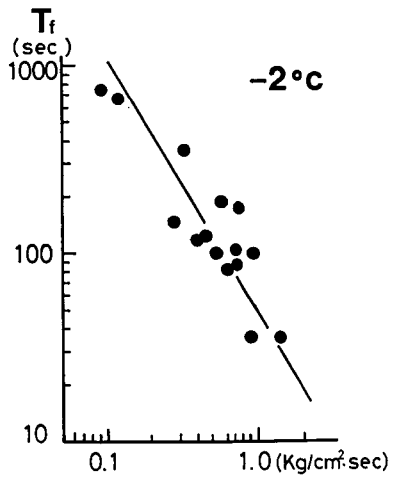
第4図 (a) 鉛直試料の平均負荷と破壊時間の関係

ひし形は定速度圧縮試験の結果であり、中の数字は負の温度を表わす



第4図 (b) 水平試料の平均負荷と破壊時間の関係

H



第5図 最小応力降下速度と破壊時間の関係

第5図は、 -2°C 鉛直試料について破壊時間と最小応力降下速度の関係を示している。たとえば、 $1\text{ kg/cm}^2\cdot\text{sec}$ の最小応力降下速度を持つものの破壊時間が数10秒であるのに対して、 $0.1\text{ kg/cm}^2\cdot\text{sec}$ の最小応力降下速度では、破壊までに1,000秒近くを要する。

4. 圧縮の繰り返し回数

破壊に至るまで行なった圧縮の繰り返し回数は、その試料自体の性質の他に、平均負荷・荷重の変動幅・圧縮時の応力増加速度に依存していることは自明である。圧縮時の応力増加速度が小さすぎると、最小荷重から最大荷重へ達するまでの時間が長くなって応力緩和に要する時間に対して無視できなくなる。その結果、繰り返し回数も少なくなるであろう。しかし、今

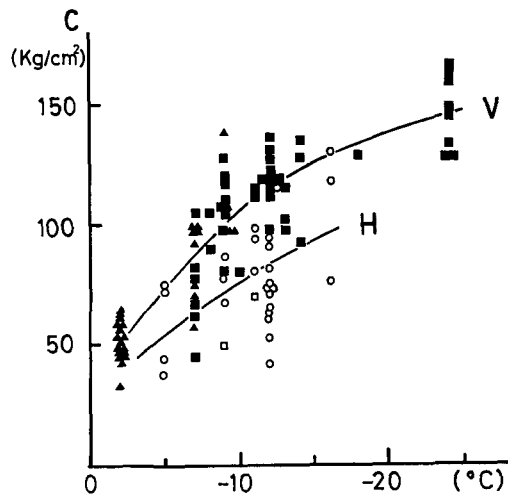
回の実験で採取した歪速度では、破壊に要した時間のうち圧縮を行っていた時間の合計は、緩和を行っていた時間の合計に比べてかなり小さなものであったので、応力増加速度の影響は無視できるものと考えられる。

前報で行なったように、破壊までに試験機によってなされた仕事は一定であると仮定し、次式を用いて平均応力 $b \cdot$ 応力変動幅 $a \cdot$ 繰り返し回数 n から強度の次元を持つ値 c を求めた。

$$c = \sqrt{2abn + b^2}$$

このようにして求めた c と温度との関係を、前報の結果と今回得られた結果とをあわせて

第6図に示す。この結果は、普通の圧縮試験によって測定した強度⁴⁾よりも大きい、ある程度試料自身の性質を表わす量であることがわかる。



第6図 温度と換算強度 c の関係

IV. あとがき

繰り返し圧縮試験は、大筋では定荷重によるクリープ試験と同じではあるが、それ以上に多くの情報を得ることができる。たとえば、歪の記録がなくても応力・時間曲線から歪速度と同等な知識を得ることができるのはその例である。

繰り返し圧縮による破壊後、水平試料の場合はあまり大きな割れ目は生じなかったが、鉛直試料の場合は爆発を伴わない場合でも比較的大きな割れ目が生じた。圧縮時における歪速度と同じ大きさの定歪速度圧縮試験では鉛直試料はすべて爆発的破壊であることと、歪・時間曲線から求めた最小歪速度と同程度の小さな定歪速度圧縮試験では割れ目の生じない破壊であることを考えあわせると、繰り返し圧縮試験の破壊形式は両者の中間的なものであることがわかる。

水平試料には十分な長さの定常クリープがみられなかったのは負荷が大きすぎたためと思われるが、さらに小さな負荷では、圧縮による応力の低下が起らずに大きく変形してしまうことが予想される。

同じ条件では、鉛直試料の方が水平試料よりも最小歪速度は小さく、破壊時間・換算強度は大きいことがわかった。

実験に際して種々の御便宜をいただいた紋別流水研究施設の諸兄ならびに低温科学研究所海洋学部門の方々に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 田畑忠司 1956 海水の粘弾性の研究. 低温科学, 物理篇, **15**, 101-115.
- 2) 田畑忠司・小野延雄 1958 海水の力学的性質の研究 I. 海水の静的粘弾性について. 低温科学, 物理篇, **17**, 135-145.

- 3) Peyton, H. R. 1966 Sea ice strength. Geophys. Inst., University of Alaska, Rept. 187 pp.
- 4) 納口恭明・田畑忠司 1977 海水の圧縮破壊. 低温科学, 物理篇, **35**, 221-231.

Summary

Creep-rupture tests were made by subjecting cylindrical specimens of sea ice from Lake Saroma to repeated compression in 1977 and 1978. After the stress was raised to a certain level by applying compression to a specimen in a constant strain rate, compression was brought to a stop; then the stress was relaxed to a programmed lower level in a constant strain. Thus compression and relaxation were alternately repeated until the specimen failed. During a repeated compression test the average stress was kept constant, in which the stress amplitude was about 5% to 50% of the average stress. Cylindrical specimens were prepared by a boring drill 79 mm in diameter from a columnar type S_2 ice of this lake. Stress and strain were measured by a load cell and a dial gage respectively. Salinity of specimens was 3%~6%, while test temperature was $-2^{\circ}\text{C} \sim -24^{\circ}\text{C}$.

Strain-time curves obtained from tests of vertical and horizontal cores were shown in Fig. 1. In the strain-time curves of vertical cores, both steady-state creeps and accelerating creeps were observed, while in those of horizontal cores the initiation of an accelerating creep was not clear.

The minimum strain rate obtained from the strain-time curves decreased with increasing average stress and temperature (Fig. 2). It was found that the minimum strain rate of the vertical cores was smaller than that of horizontal cores, and that the minimum strain rate was closely connected with the minimum decreasing stress rate during relaxation of stress (Fig. 3).

The dependency of the lapse of time required for a specimen to fail on average stress and temperature was shown in Fig. 4.