

軟岩(大谷石)の三軸クリープ特性
TRIAXIAL CREEP CHARACTERISTICS OF SOFT ROCKS

伊東 孝*・藤原孝道**・赤木知之***

Takashi ITO, Takamichi FUJIWARA and Tomoyuki AKAGI

The creep characteristic of soft rocks should be evaluated by considering the creep failure. If the creep failure is not likely to occur, creep characteristics can be expressed in terms of creep coefficients and delay time constants. Creep coefficients represent the ratio of creep deformation to the total deformation. Delay time constants govern the progression of creep deformation with time. However, if the creep failure is to occur, creep characteristics can be expressed by the minimum creep strain rate, creep failure time and failure strain. In this paper, we present creep characteristics with the consideration of creep failure through triaxial creep tests. In the triaxial creep tests the confined pressure was varied and, creep characteristics are evaluated for various creep stress levels and the confined pressure.

1. まえがき

近年、軟岩を基礎とする大規模土木構造物や軟岩中に掘削されたトンネルや地下空洞の建設が増加してきている。このような構造物の長期にわたる安定性を論じる際には、岩石のクリープ特性を知る必要がある。岩石のクリープ特性は、最終的に破壊に至らない場合とクリープ破壊する場合に分けて論ぜられるべきであろう。クリープ破壊に至らない場合は、弾性変形に対するクリープ変形の比、すなわちクリープ係数、およびそのクリープ変形の時間的進行度合いを表す遅延時間によって特徴づけられる¹⁾。クリープ破壊に至る場合は、最小クリープひずみ速度およびその到達時間と破壊時間およびその破壊ひずみ等によって特徴づけられる。

本研究はクリープ破壊に至る場合のクリープ特性を実験的に調べ、拘束圧を種々変えた三軸クリープ試験によって、これらの諸特性がクリープ応力および拘束圧によって如何に影響を受けるかについて論じたものである。

2. 実験概要および試料

クリープ試験装置(圓井製作所)の概要を図-1に示す。載荷方式はレバー式(倍率10倍)で、重錘により各試料に設定するクリープ応力を負荷する。この試験装置の最大の軸負荷荷重は約50kNである。この装置を室温 $20 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の恒温室内にセットし実験を行った。また、側圧載荷装置は油圧式で

* 正会員 工博 豊田工業高等専門学校 助教授 環境都市工学科
** 学生会員 豊田工業高等専門学校 建設工学専攻
*** 正会員 工博 豊田工業高等専門学校 教授 環境都市工学科

最大10MPaの拘束圧を作用させることができる。本研究で用いた試料は大谷石と通称される第三紀堆積の多孔質凝灰岩である。試験片は直径50mm、高さ100mmの円柱形に整形した。クリープ試験に先立ち、一軸圧縮試験および三軸圧縮試験を行った。図-2に三軸試験より得られたモールの円および破壊線を示した。これらの一連の試験で得られた物理的および力学的な基本物性値を表-1に示す。表-2は行ったクリープ試験の条件をまとめたものである。表に明らかなように、側圧は1、1.5、2および3MPaの5種である。

クリープ試験の載荷荷重を決める際に、応力比という概念を用いる。一軸クリープの場合は一軸圧縮強度に対する載荷するクリープ応力の比で表されるものである。三軸クリープの場合、本研究では図-3に示すように設定された応力状態を示すモール円の半径とそのモール円の中心から破壊線までの距離の比で表すものとする。

表-1：大谷石の物理・力学諸量

単位体積重量(湿潤)	1.79 (g/cm ³)
一軸圧縮強度(湿潤)	8.5 (MPa)
引張強度(湿潤)	1.0 (MPa)
粘着力 c	3.4 (MPa)
内部摩擦角 ϕ	18.4 (°)
弾性係数 E	2.24 (GPa)
ポアソン比 ν	0.2

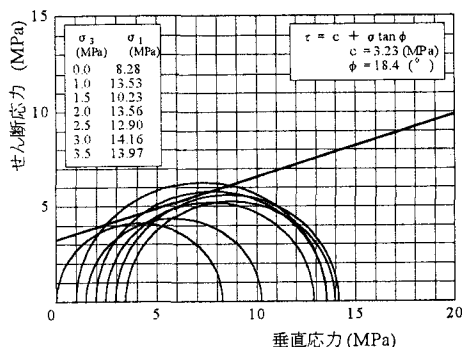


図-2：モール円と破壊条件

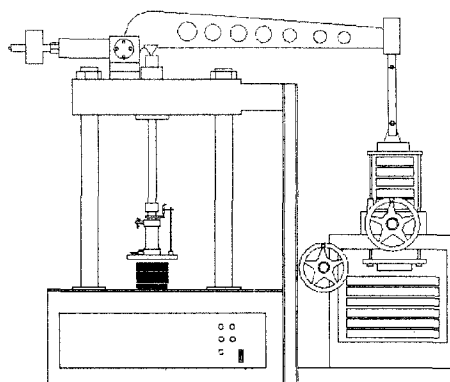


図-1：クリープ試験装置

表-2：クリープ試験条件

側 圧 (MPa)	軸差応力 (MPa)	応 力 比 (%)
1.0	9.4	97
	8.9	93
1.5	9.2	93
	8.7	89
2.0	9.6	92
	9.1	89
	8.5	85
3.0	9.2	85
	8.7	81
	8.2	77

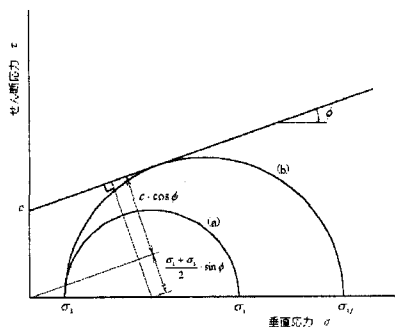
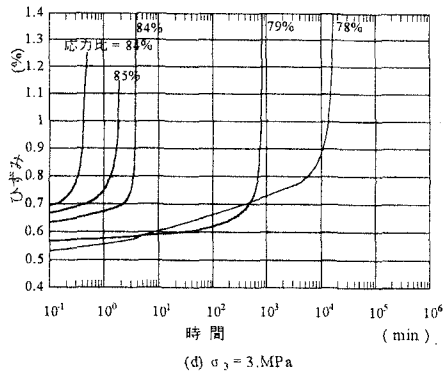
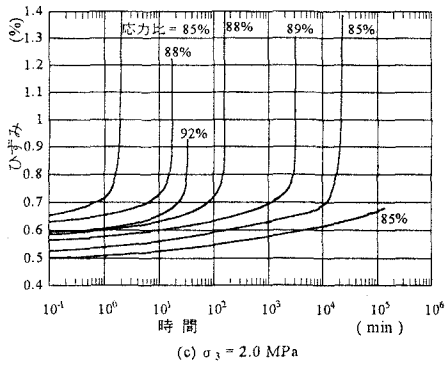
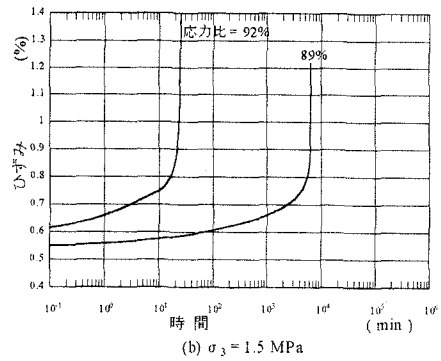
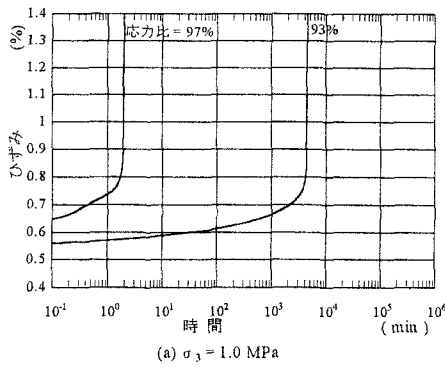


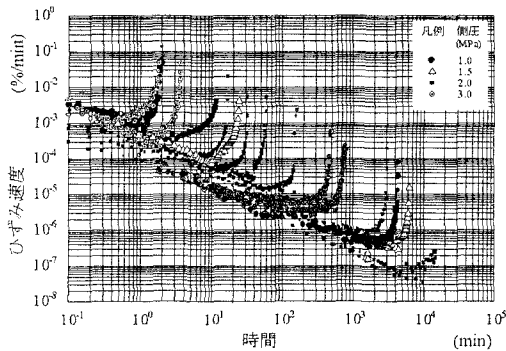
図-3：応力比の定義



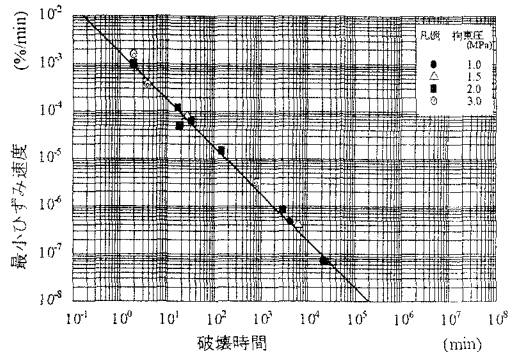
図—4：軸ひずみ—時間関係

3. 試験結果と考察

表—2に示したように、4種類の初期側圧に対して、所定の軸差応力を一度に載荷する方法でクリープ試験を行った。本実験では、変位計が載荷ピストンに取り付けられており、ピストンと供試体との接触によっては、初期ひずみが大きく出ることが避けられなかった。そこで、初期ひずみと破壊時間は比例するものと考えて、クリープ曲線が途中で交差しないように初期ひずみの調節を行っている。図—4に拘束圧毎に軸ひずみ—時間関係に応力比をパラメータとしてそれぞれ示した。応力比の大小がクリープ変形挙動に影響を与えていることがわかる。応力比が増加するに従って破壊までの時間が減少している。ただし、拘束圧が2, 3 MPaの場合にばらつきが見られる。図—5にひずみ速度の時間変化を両対数で示す。これ



図—5：ひずみ速度の時間変化



図—6：最小ひずみ速度と破壊時間の関係

らの図はすべて最終的にクリープ破壊に至っている場合のものである。载荷直後はひずみ速度は急激に減少するが、やがて定常状態に至り、最終的にひずみ速度が加速されて破壊する。すべての拘束圧の結果を示してあるが、この傾向は拘束圧に関わらず同様である。この図より定常ひずみ速度、すなわち最小ひずみ速度を求め、破壊時間との関係を示したものが図一6である。明らかに、最小ひずみ速度と破壊時間は逆比例の関係にあることがわかる。この直線関係は、一般的な岩石の性質として知られている²⁾³⁾。また、本実験結果において、両者の関係は次式のようにになった。

$$t_f \cdot \dot{\epsilon} = 1.8 \times 10^{-3}$$

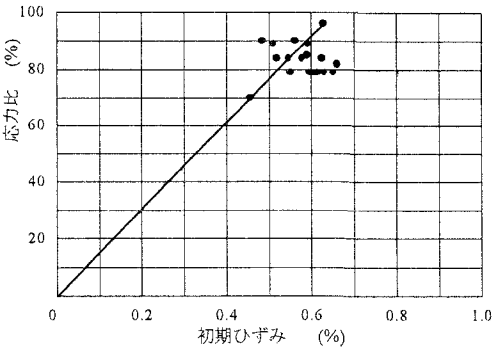
$\dot{\epsilon}$: 最小ひずみ速度 t_f : 破壊時間

(1)

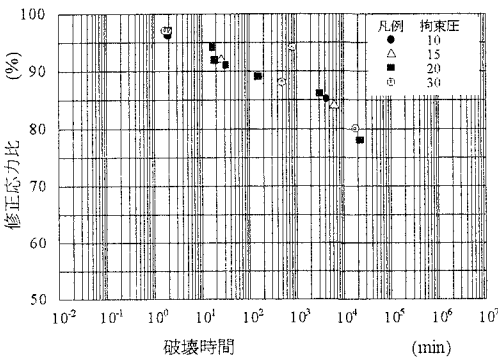
この図より、拘束圧にかかわらずこの関係が成立することがわかる。

次に、応力比と初期ひずみの関係を図一7に示す。大谷石を用いた一連のクリープ試験結果を整理してみると、応力比と他のパラメータとの関係に大きなばらつきが生じていることがわかる。これは、図一4にも現れているように、大谷石の力学的性質のばらつきによるものである。すなわち、設定した拘束圧力に応じて強度を推定しているが、この強度が予測と異なることがばらつきの原因の大きな要因である。先の研究において⁴⁾、大谷石に含まれる強度的な弱部である“みそ”の量を計測し、強度比の修正を行った。しかしながら、みその量だけでは良好な結果が得られなかった。そこで、修正された初期ひずみを用いて応力比の修正を試みた。

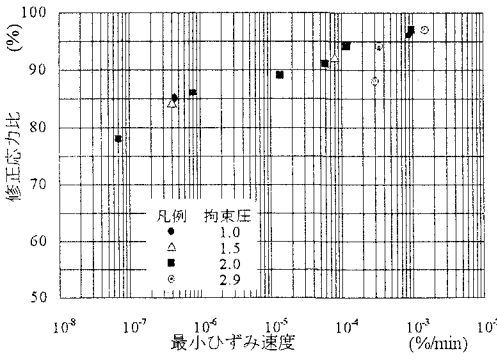
図一7において、初期ひずみは応力比と比例関係にあると仮定し、原点を通る直線でこれらの関係を近似してみた。図中の直線がその関係を示している。図一7で得られた関係を用いて、明らかに推定した応力比とは異なると思われる結果に対して、その初期ひずみ値より応力比の修正を行った。修正された応力比を用いて、破壊時間との関係を図一8に示す。まだ、ばらつきは見られるが全体の傾



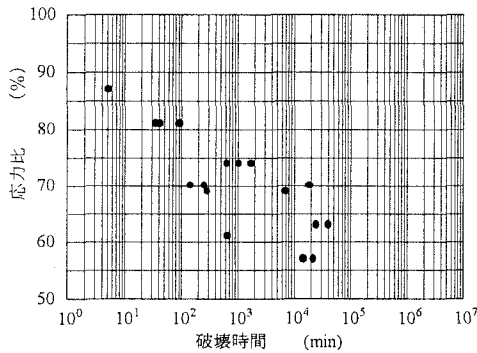
図一7：応力比—初期ひずみ関係



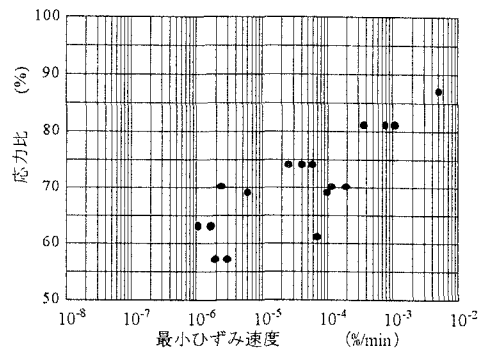
図一8：修正応力比—破壊時間関係



図一9：修正応力比—最小ひずみ速度関係



図—10：応力比—破壊時間（一軸クリープ）



図—11：応力比—最小ひずみ速度（一軸クリープ）

向としては、応力比と破壊時間の間に逆比例の関係があることがわかる。また、拘束圧力による傾向の違いは見られなかった。図—9に応力比と最小ひずみ速度の関係を示す。破壊時間とは逆に最小ひずみ速度に比例した関係が得られた。採取場所が異なる大谷石を用いた一軸クリープ試験の結果より、応力比と破壊時間および最小ひずみ速度の関係を図—10、図—11に示す⁵⁾。一軸クリープの結果も傾向は同じであるが、同じ応力比に対する破壊時間や最小ひずみ速度の値は今回行った三軸クリープ試験の結果とはかなり異なっている。

同じ大谷石でも採取場所が異なることで、試験結果に大きな違いが出ることがわかった。それに比べ三軸クリープ試験における拘束圧の影響はほとんどないものと考えられる。

4. おわりに

大谷石を用いた三軸圧縮クリープ試験を行い、最小ひずみ速度、破壊時間、拘束圧力および応力比の間の関係を調べた。その結果、最小ひずみ速度と破壊時間の関係、応力比と破壊時間の関係、および応力比と最小ひずみ速度の関係において相関が見られた。これは、一軸クリープでも見られる結果であり、拘束圧力の影響は見ることができなかった。これは、拘束圧力の影響よりも大谷石の力学特性のばらつきが大きく微妙な変化をとらえられなかったことによるものと思われる。

参考文献

- 1) 赤木知之：岩石のクリープ特性と一般化レオロジーモデルの適用、材料、第30巻、第336号(1981)
- 2) 斉藤迪孝・上沢 弘：土のクリープ破壊に関する実験的研究、鉄道技術研究報告、No.128 (1960)
- 3) 赤井浩一・足立紀尚・西好一：堆積軟岩の時間依存特性と構成式、土木学会論文集、第282号 (1979)
- 4) 平岩剛・赤木知之・伊東孝：大谷石のみそ含有状態がクリープ破壊特性に与える影響について、土木学会第51回年次学術講演会(1996)
- 5) 伊東孝・赤木知之・寺田光夫・青砥澄夫：軟岩の非線形クリープ特性の評価方法について、第26回岩盤力学に関するシンポジウム論文集(1995)