第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集
(社)土木学会　2000 年1月　自由投稿論文(66)

# クリープ破壊時間の予測方法
# METHODS TO PREDICT THE TIME OF CREEP FAILURE

伊東　孝*・橋本恵三**・赤木知之***
Takashi ITO, Keizou Hashimoto 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. In this paper, we present the some ways of estimating Creep failure time. At the acceleration Creep step, we applied a technique of Saito. Then, it considered about the relation between the prediction time and the prediction precision. At the secondary creep step, we examined about the effectiveness of the way of prediction based on the relation between the minimum strain rate and the creep failure time. Lastly, we examined about the possibility of prediction at the step in the early stages.

## 1．まえがき

栃木県大谷の陥没事故は、大谷石採取跡空洞の残柱の逐次破壊が長年にわたって進行した結果と思われる。また、大規模な自然斜面の地滑りもすべり面の破壊が徐々に進行する現象で、これらはクリープ破壊現象と見なすことができる。地山が動き出したからといって、すぐに破壊するわけではないので、クリープ変位の挙動とクリープ破壊時間の関係を把握できれば、クリープ破壊を予測することが可能となろう。

本研究では、大谷石のテストピースについて、クリープ破壊実験を繰り返し、クリープ破壊に至る前のクリープ変位を分析して初期の段階でのクリープ破壊時間の予測方法について検討したものである。まず、加速クリープ段階での予測方法である斉藤の手法を適用し、予測時期と予測精度の関係について考察をおこなった。つぎに、最小ひずみ速度と破壊時間の関係に基づいて予測する方法の有効性について検討し、最後に全クリープ過程の近似式を求め、初期の段階での予測の可能性について検討を行った。

## 2．クリープ試験概要および試料

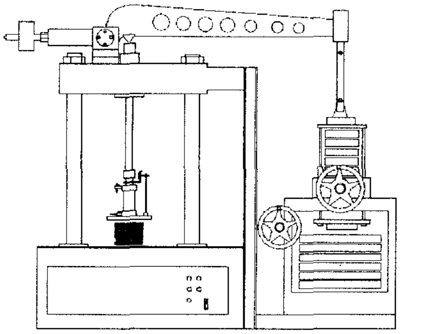
クリープ試験装置（圓井製作所）の概要を図ー１に示す。載荷方式はレバー式（倍率１０倍）で、重錘により各試料に設定するクリープ応力を負荷する。この試験装置の最大の軸負荷荷重は約５０ＫＮである。この装置を室温２０±０.１° Ｃの恒温室内にセットし実験を行った。また、側圧載荷装置は油圧式で最大１０

*　　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

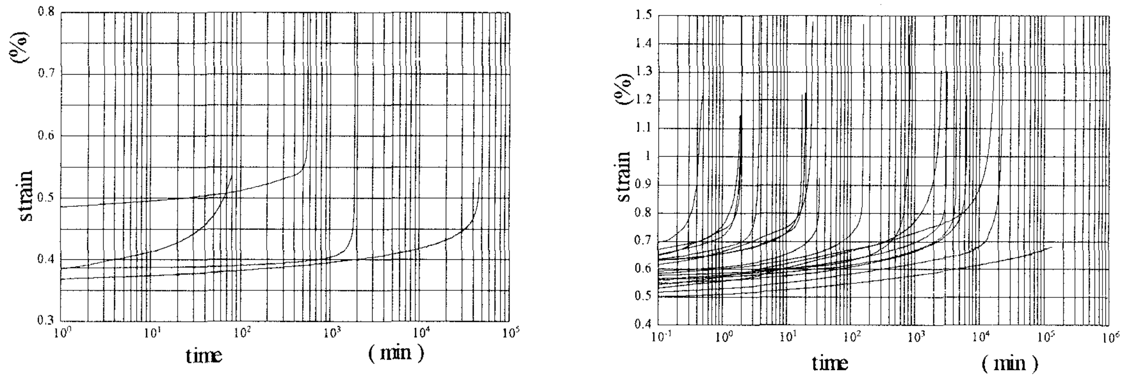
MPa の拘束圧を作用させせることができる。本研究で用いた試料は大谷石と通称される第三紀堆積の多孔質凝灰岩である。試験片は直径５０mm、高さ１００mm の円柱形に整形した。大谷石の物理的および力学的な基本物性値を表－１に示す。

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　$\phi$ | 18.4 | (°) |
| 弾性係数　E | 2.24 | (GPa) |
| ポアソン比　$\nu$ | 0.2 | |

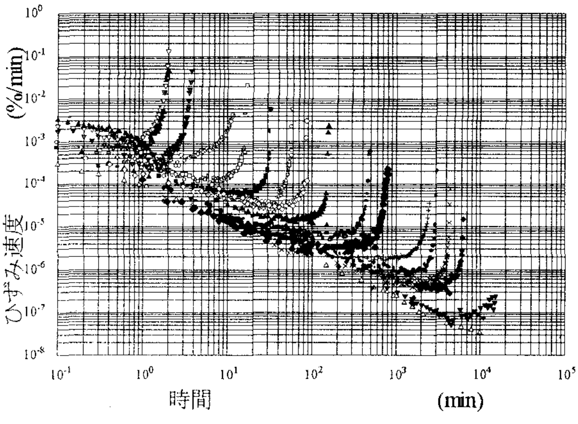


図－１：クリープ試験装置

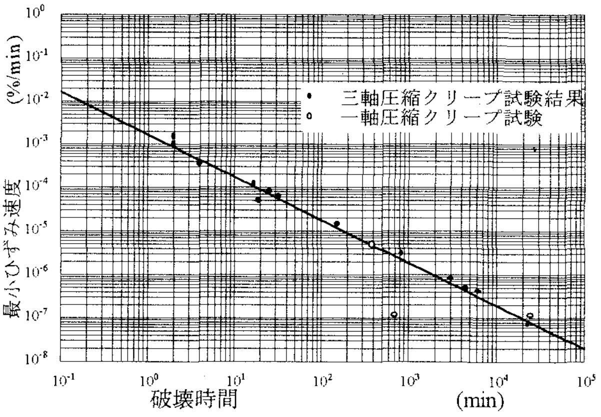



(a)一軸クリープ試験結果　　(b)三軸クリープ試験結果

図－２：軸ひずみ－時間関係




図－３：ひずみ速度と経過時間の関係




図－４：最小ひずみ速度と破壊時間の関係

## 3．クリープ破壊時間の予測

### 3．1　最小ひずみ速度による予測

図－2に一軸および三軸クリープ試験結果を示す。三軸クリープ試験では拘束圧力は1.0MPaから3.0MPaまで変化させた試験を行った。クリープ曲線を数値微分することにより、ひずみ速度が得られる。そのひずみ速度の経時変化を図－3に示す。この図には一軸および三軸クリープ試験結果の両方が描かれている。図－3より各々の供試体に対するひずみ速度の最小値を最小ひずみ速度として、これとクリープ破壊時間の関係を図－4に示す。明らかに両者は逆比例の関係にあることがわかる。また、この関係に拘束圧力の影響は見られない。図－4に見られる直線的関係は、一般的な岩石の性質として知られている[1)2)]。また、本実験結果において、両者の関係は次式のようになった。

$$t_f \cdot \dot{\varepsilon} = 1.8\times10^{-3} \tag{1}$$

$\dot{\varepsilon}$：最小ひずみ速度　　$t_f$：破壊時間

式（1）により、拘束圧力にかかわらず最小ひずみ速度がわかった段階で破壊時間の予測を行うことができる。

### 3．2　加速クリープ段階における予測

この方法は斉藤迪孝が実際に斜面の崩壊時期の予測を行うために導いた方法である[3)]。定常ひずみが進行し破壊に近づくにつれ、ひずみ速度は次第に増大し加速クリープ領域に入る。この場合にもそれぞれの時点におけるひずみ速度と破壊までの残存時間に図－5のような逆比例の関係が成立し、式(2)のように表される。

$$\log(t_f - t) = \log a - \log \varepsilon \tag{2}$$

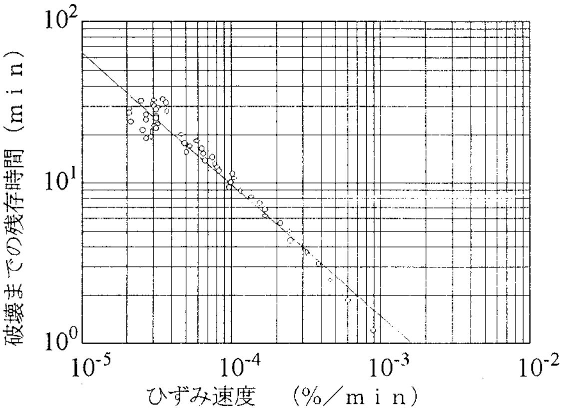
ここで、$t = t_0$ において $\varepsilon$=0 とすれば、次式が成り立つ。

$$\varepsilon = a \log \frac{t_f - t_0}{t_f - t} \tag{3}$$

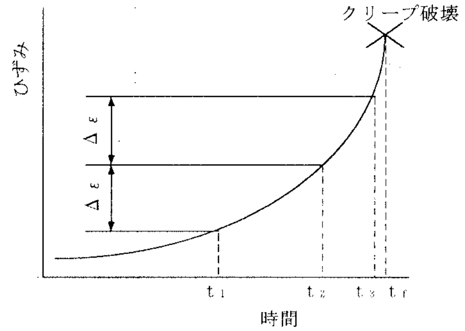
ここに、$t_f$：クリープ破壊時間　(min)

$t_0$：ひずみが0の時間

式(3)は未知数 $a$、$t_f$、$t_0$ の3つを含むことから、クリープ曲線上の3点が与えられれば破壊時間 $t_f$ を求める事ができる。この場合、図－6のようにひずみ間隔を一定に選定し、それに対する時間を読み取る事によって破壊時間を容易に求められるようになる。それらを用い、次式より破壊時間を求める。



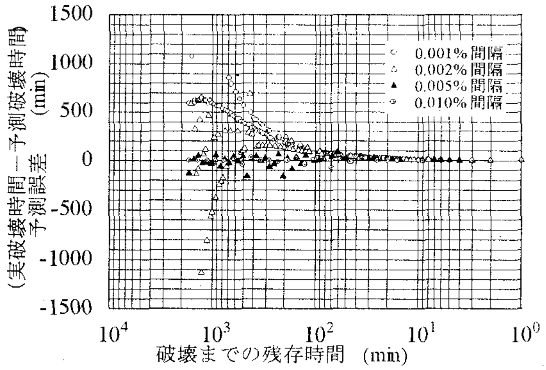

図－5：残存時間とひずみ速度の関係




図－6：破壊時間の図式解法

$$t_f = \frac{t_2{}^2 - t_1 \cdot t_2}{2t_2 - (t_1 + t_3)} \tag{4}$$

上式を用いてクリープ破壊時間$t_f$を求め、これを予測破壊時間とし、実際のクリープ破壊時間との差（予測誤差）とクリープ破壊までの残存時間の関係を図－７に示す。また、クリープ曲線上の３点をとるひずみ間隔の大小による予測誤差の変化についても示す。破壊時間に近づくに従い、予測精度が上がることが、ひずみ間隔の大小に関わらず共通して分かる。また、ひずみ間隔を広くするに従い、予測誤差は小さくなっていく事も分かる。




図－７：予測誤差と残存時間の関係

### ３．３　近似式による予測方法

プロトジャコノフ[4)]は４個のパラメータ（$P$、$n$、$t_m$、$\varepsilon_1$）を含む加速クリープの変形特性までを考慮するクリープ曲線の全過程を表す近似式(5)を導いた。

$$\left(\frac{t_f}{t}\right)^P - \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}\right)^n = 1 \tag{5}$$

ここに、$t$：任意時間

$\varepsilon$：任意時間のひずみ

$t_f$：クリープ破壊時間　(min)

$P$、$n$、$\varepsilon_1$：パラメータ

近似曲線を描く際、式(5)に含まれる変形特性を示す４個のパラメータの決定方法は次式の$a$を導く事より求めることができる。そして、これらは主に加速クリープ領域に達する前までで決定する事ができる。

$$a = \frac{P}{n} = \frac{\ln \varepsilon}{\ln t} \tag{6}$$

次に、クリープ曲線の変曲点を決める。変曲点とはクリープ曲線において２次微分量が０となる点である。変曲点が決まったらその点での傾き，すなわち、ひずみ速度を求め次式に代入する。

$$P = \frac{1 - \left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_{t_n} \cdot \frac{t_n}{\varepsilon_n}}{\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_{t_n} \cdot \frac{t_n}{\varepsilon_n} \cdot \frac{1}{a} - 1} \tag{7}$$

ここに、$\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_{t_n}$：クリープ曲線の傾き（ひずみ速度）

$\varepsilon_n$：変曲点でのひずみ

$t_n$ : 変曲点での時間　(min)

$P$を求めることにより破壊時間$t_m$とパラメータ$\varepsilon_1$を次式によって求めることができる。

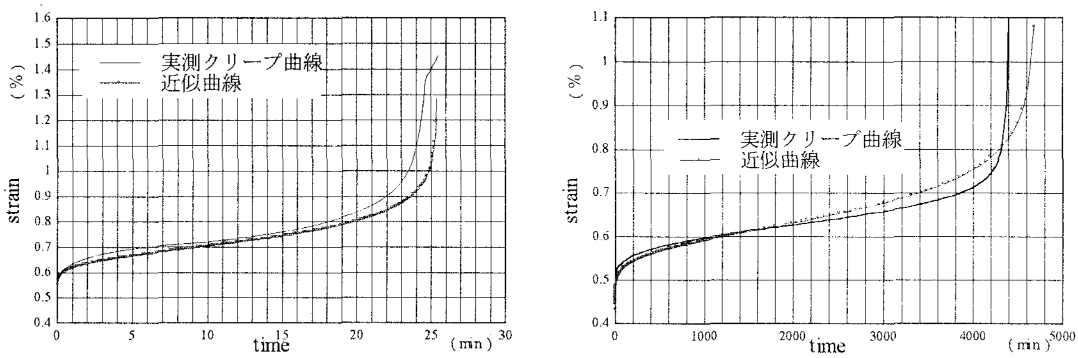
$$t_f = \left(\frac{P+1}{1-a}\right)^{\frac{1}{P}} \cdot t_n \qquad (8)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_n \cdot \left(\frac{P+a}{1-a}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad (9)$$

しかしらがら、変曲点を求めることは非常に困難である。定常クリープ領域における2次微分量は常に0であり、また本研究における供試体では定常クリープ領域の存在自体が明確ではなく変曲点の選定は難しい。よって、仮の変曲点を定め、式(9)によって仮の変曲点以降の時間に対するひずみ量を計算し、測定値と計算値に差を小さくしていき真の変曲点を導いていく。

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \left\{\left(\frac{t_m}{t}\right)^P - 1\right\}^{-\frac{1}{n}} \qquad (10)$$

実際に近似曲線を描き、実際のクリープ曲線と比較したものを図－8に示す。




図－8　実測クリープ曲線と近似曲線の例

参考文献

1) 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)

2) 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)

3) 斉藤迪孝：斜面崩壊予測について、土と基礎 17-2(1969)

4) Toshiro Isobe and Yuusaku Tominaga : A new equation about creep deformation on weak rock,International symposium on weak rock,(1981)