

## 環境条件を考慮した軟岩の時間依存性挙動とその変形予測に関する実験的研究

埼玉大学 正会員 山辺 正 宮本綾子  
大成建設 正会員 青木智幸 小川豊和

## 1. 目的

岩盤が高レベル放射性廃棄物の処分場や構造物基礎として利用される場合、その長期安定性と時間依存性挙動を把握する必要がある。特に、軟岩を対象として考える際には均質で亀裂も少ないため供試体レベルでの物性を把握することが有意義である。

軟岩のクリープ現象に関する従来からの研究により、応力レベル・環境温度・水の存在が時間依存性挙動の支配要因となることが知られている。放射性廃棄物の処分施設として想定される坑道周辺の岩盤や緩衝材の物性を考慮した非定常熱伝導有限要素解析の結果から、廃棄体周辺の岩盤は一定時間の経過後には100℃を越えない程度の高温になることが予測されている。このような温度場に置かれた軟岩の粘弾塑性挙動を解明することで、より現実的な変形挙動を予測することができる。

本研究では、軟岩の粘弾塑性挙動について明らかにするために田下凝灰岩を用いて種々の環境温度・拘束圧力の下で室内クリープ試験を行った。岩石がクリープ破壊する過程にはひずみが急激に進行する点があり、実験値からクリープスペクトルを計算した際にスペクトルのピークとして表される。そのピークを遅延時間とした粘弾性モデルとして実験結果を離散化し、クリープコンプライアンスを決定した。また、その結果を利用して温度条件の異なるクリープ試験に対して、ひずみの進行を観測的に予測する方法について検討した。

## 2. クリープ実験

乾燥状態および湿潤状態の田下石を用いてクリープ試験を行った。条件は、応力レベル75～95%、拘束圧力0～10MPa、環境温度20～90℃とした。図1は、応力レベル約93%、拘束圧力10MPaで行ったクリープ試験の結果をそれぞれの温度について比較したものである。高温になるほどひずみ速度が速く、破壊時間が短くなった。

## 3. クリープスペクトルの計算

クリープひずみは一般化フォークトモデルを用いて

$$\varepsilon(t) = J(t)\sigma_0, \quad J(t) = J_0 + \sum_{i=1}^{n-1} J_i(1 - e^{-t/T_i}) + \eta_n \quad (1)$$

で表現される。

ここで、 $J_0$ は瞬間応答を示す弾性変形のコンプライアンス、 $J_i(i \geq 1)$ は各要素のコンプライアンス、 $T_i$ は遅延時間、 $t$ はクリープ開始からの経過時間である。 $\eta_n$ は粘塑性コンプライアンスで、本研究では2次クリープまでを対象

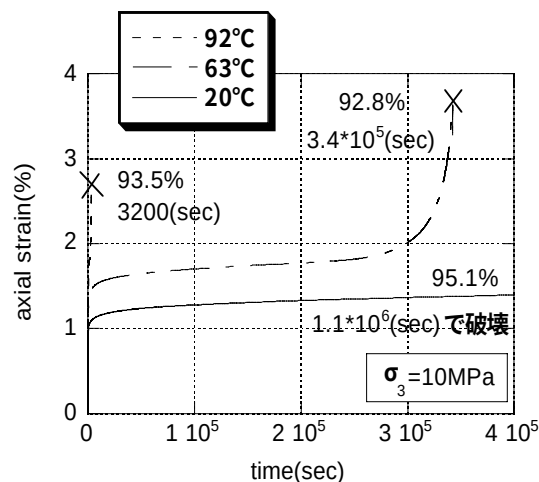


図1 環境温度の違いによるひずみの比較

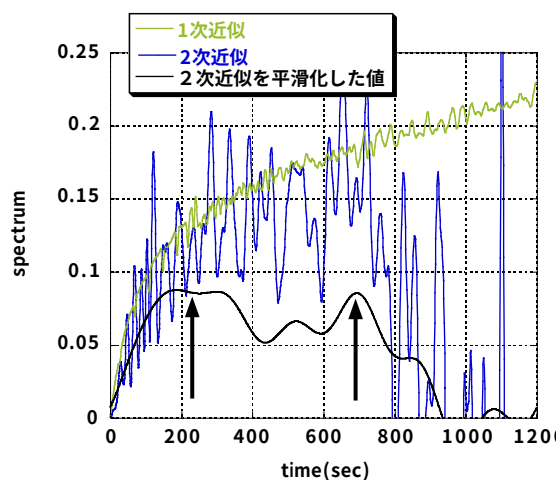


図2 クリープスペクトル  
1次近似と2次近似の比較

としたため  $\eta_n=0$  とした。クリープ試験の結果を用いてクリープスペクトルを計算した。これはコンプライアンスの遅延時間に対する分布関数であり、

$$\Phi_k(t) = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{(-1)^{k+1}}{(k-1)!} (kt)^k \frac{d^k J(kt)}{dt^k} \dots\dots\dots (2)$$

で計算される。この式で  $k=1$  としたのが1次近似、 $k=2$  としたのが2次近似となる。図2は応力レベル93.5%、拘束圧力10MPa、92℃で行ったクリープ試験のスペクトルを1次近似と2次近似で比較したものである。2次近似を用いると特に1次クリープの範囲でのピークが明瞭になった。決定したピーク（図2の↑）を遅延時間として、実験値に最小二乗法を用いて上記の粘弾性定数を決定した。

#### 4.観測的方法

クリープひずみの進行に伴いピークがあらわれる毎に粘弾性定数を更新することにより、2次クリープまでの範囲で変形を予測した。図3からピーク時刻より多少先のひずみまで追跡することができ、2次クリープの範囲でひずみ挙動をある程度近似できることがわかる。

#### 5.環境条件の影響

クリープ試験の結果、高温になるほどひずみ速度が速く、破壊時間が短くなることがわかった。このことから高温クリープ試験で決定した遅延時間と粘弾性定数を用いて拘束圧力、応力レベルの等しい常温下のクリープ挙動を予測できる可能性があると考え、その手法について検討した。まず、62℃、応力レベル78%、拘束圧力0MPa、乾燥状態のクリープ実験について破壊までのすべてのデータを用いて遅延時間を決定しコンプライアンスを計算した。次に、常温のクリープ試験のピークがわかった段階で、その時点のひずみ速度の比に応じて高温側で決定したコンプライアンスを変化させて式(1)に代入し、図4の結果を得た。

#### 6.結論

- 1) 応力レベル・拘束圧力が等しい場合、環境温度が高いほど、ひずみ速度は速くなり破壊時間が短くなることが確かめられた。
- 2) クリープスペクトルにおいて2次の近似式を用いることでピークが明瞭になった。1次近似ではピークが判別しがたいケースでも遅延時間を決定することができた。
- 3) 高温クリープ試験で決定した遅延時間と粘弾性定数を用いることで常温下のクリープ挙動を予測する方法について検討した。ピークを適切に決定することができれば、常温側で観測的に粘弾性定数を決定しながら更新していくことで2次クリープまでの範囲でひずみ挙動が予測できる可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 山辺正、宮本綾子、伊藤文雄、小川豊和：温度場を考慮した軟岩の時間依存性挙動とその変形予測に関する実験的研究、第55回土木学会年次講演会共通セッション、2001。

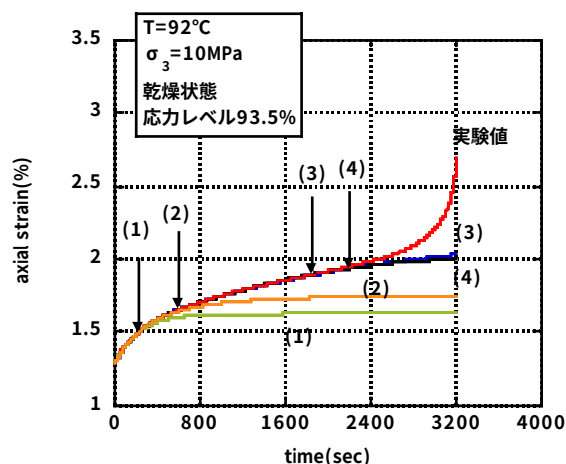


図3 観測的方法  
↓はピーク時刻を示す。(1)～(4)の順に粘弾性定数を更新した。

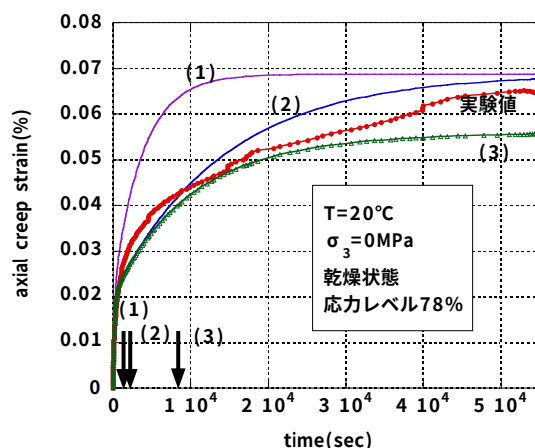


図4 環境温度62℃で行った実験から求められた定数を用いて常温下のひずみ挙動を予測した例。  
↓で示した時間にピークが表れた。