

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

埼玉大学工学部 正会員 山辺 正
 埼玉大学大学院 宮本綾子 山本寛子
 大成建設土木技術部 正会員 伊藤文雄
 大成建設技術センター 正会員 小川豊和

1. はじめに

岩盤が構造物基礎や放射性廃棄物処分場として利用される場合には、その長期安定性や時間依存性を十分に把握しておく事が重要となる。特に軟岩のように岩石自身の物性が、岩盤の力学挙動に大きく影響する場合には供試体レベルの力学特性を把握する必要も高い。本研究では、軟岩である田下凝灰岩を用いて、環境温度を制御した一軸・三軸クリープ試験を実施し、変形特性の温度依存性について検討した。

2. 温度制御環境下の三軸クリープ試験

想定した環境温度下で三軸圧縮試験を実施し三軸圧縮強度を決定した後、その強度との相対的な軸差応力レベルをパラメータとしたクリープ試験を実施した。具体的には環境温度の目標値を20℃, 60℃, 90℃, 拘束圧力を0, 2, 10MPa, 軸差応力レベルを75~95%に組み合わせて実験を行った。実験にあたっては、環境温度を設定した後、供試体内部の温度も環境温度に等しくなると考えられる十分な時間経過の後、所定の拘束圧力下で予め決定した軸差応力レベルを保持したクリープ試験を実施した。実験に用いた岩石は乾燥状態の新鮮な凝灰岩で、常温下の一軸圧縮強度は29MPa, 初期間隙率は22.4%である。なお、実験のために準備した円柱供試体(総数70本)は同一のブロックから採取し、端面を慎重に整形した後、三軸クリープ試験の実施前にP波とS波を測定し動弾性係数・動ポアソン比が一定の範囲内にあるものだけを試験対象とした。

三軸クリープ試験の一例を環境温度をパラメータとして図1に示す。同図の縦軸は、軸方向ひずみ $\epsilon_1(t)$, 横軸はクリープ開始からの経過時間 t (秒) であり \times 印は破壊を意味し、拘束圧力は全て10MPaとした。図中に示す92℃の破壊時間は、20℃の約1/340になっており、この凝灰岩では高温になるほど三軸強度が低下するとともに、クリープ時の破壊時間が短くなった。

3. 観測的方法による変形予測

図1における92℃の実験結果を用いて、実験時の軸方向および横方向ひずみから得たクリープひずみを移動平均し、クリープスペクトルを計算した。具体的には、赤木の方法¹⁾にならい、一定応力 σ_0 のもとでのひずみの時間変化をクリープコンプライアンス $J(t)$ を用いて $\epsilon(t) = J(t) \sigma_0$ とし、この $J(t)$ を次式で表した。

$$J(t) = J_0 + \sum_{i=1}^{n-1} J_i (1 - e^{-t/T_i}) + J_n$$

ここで J_i は各要素のコンプライアンス, T_i は遅延時間, J_n は粘塑性コンプライアンスであり、本研究では粘塑性コンプライアンスを0として2次クリープまでの挙動をモデル化した。

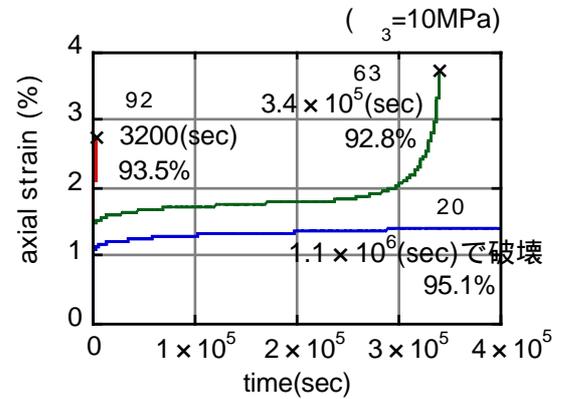


図 - 1 三軸クリープ試験に与える環境温度の影響

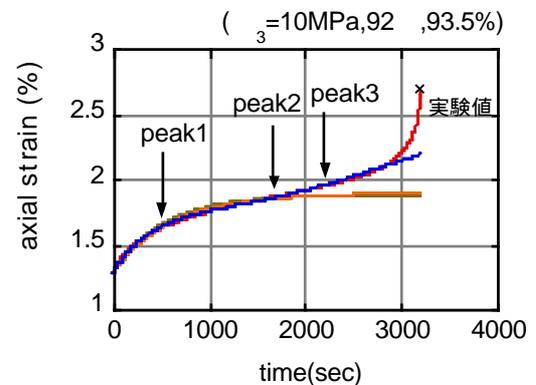


図 - 2 観測的方法による実験値と解析値の比較

実験結果から、平滑化した時間～クリープひずみ曲線の傾きにクリープ開始からの経過時間をかけてスペクトルを求め、1回微分スペクトルとした。このスペクトルに現れるピークを遅延時間と見なすことにより構成則を決定できるが、本研究では、縦ひずみと横ひずみに対する1回微分スペクトルが、同時にピークを持つ時間を遅延時間とした。なお、微分の回数を上げることで、形式上は精度の高い遅延時間を決定できることが知られている²⁾。ただし、ひずみ変化・時間変化に対して多数のデータが計測されていない場合には、微分の回数を高くすることは遅延時間の決定精度を低くすることに注意する必要がある。

スペクトルのピーク時間を遅延時間とするフォークト要素の和として2次クリープまでの挙動をモデル化した。ピークが現れる度に粘弾性定数を更新することにより、順次、変形予測を試みた。環境温度92℃、拘束圧力10MPa、応力レベル93.5%で実施した三軸クリープ実験の例(図1参照)について検討した。この方法では時間の経過とともに、現れたピークを追加しながらその時間までのひずみの値から、クリープコンプライアンスJの値を順次更新した。ピークの決定方法は前述の通りであり、この供試体においては図2の位置で観測されたスペクトル上の3点のピークを用いた。第3番目のピーク時間は2200秒であったが、その時間までのデータに基づいてクリープコンプライアンスを計算した結果、図2に示すように実験値と2800秒付近までほぼ一致することが判る。

4. 遅延時間の温度依存性と変形予測

高温環境下で図2のように得られたピーク時間を縦軸にとり同様のデータ解析から常温時のピーク時間を横軸にとることを考える。高温および常温下のピークが、供試体内部に発生する何らかの変化を表しており、それらが順次1対1に対応するものならば図3を得る。

図3から、高温側のクリープ試験において第n番目までのピーク時間により傾向線を推定することができ、更に高温側に第(n+1)番目のピークが現れた時、常温側に対して第(n+1)番目のピーク時間を予測することが出来る。実験結果においては、図3の高温側(縦軸)に第4番目のピーク時間として2700秒を観測すれば、常温側(横軸)に 4.9×10^5 秒のピーク時間(遅延時間)を推定することが出来る。このように推定した常温時の遅延時間を用いて、常温時のクリープ挙動を予測すると図4を得る。第4番目のピーク時間までのデータから、 6.5×10^5 秒まで推定できていることが判る。

5. まとめ

軟岩である新鮮な凝灰岩を用いて環境温度を制御した一軸・三軸クリープ試験を実施した。観測的方法により変形を予測するとともに、高温環境下ではクリープ現象が加速される性質を利用して、常温時のクリープ変形を予測できる可能性を示した。今後は、湿潤状態での熱環境下クリープ試験を実施し、本研究で得られた方法論の適用性を確認するとともに、物性値の熱環境依存性を考慮した数値解析³⁾に、本研究の効果を取り込んだ解析を実施する。さらに、粘塑性コンプライアンスの表現を確定し、より精度の高い変形予測を行う予定である。

本報告は、電力10社による電力共通研究の成果の一部である。

参考文献

- 1) 赤木知之：レオロジーモデル定数の一決定法，土と基礎，Vol.25, No.3, pp.47～52, 1977.
- 2) 山本三三三：物体の変形学，誠文堂新光社，1970.
- 3) 山辺正，宮本綾子，伊藤文雄，谷卓也：温度場を考慮した軟岩のクリープ挙動と数値解析への適用，第31回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.231～235，2001.

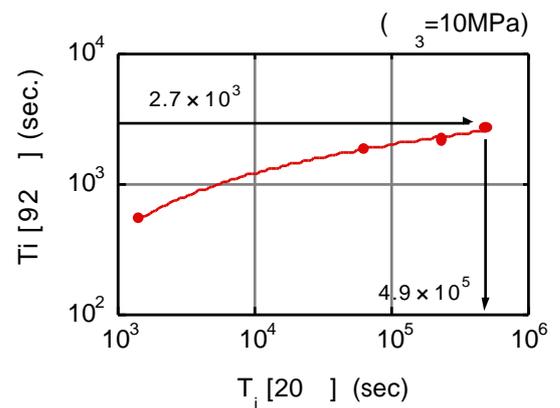


図 - 3 遅延時間の温度依存性

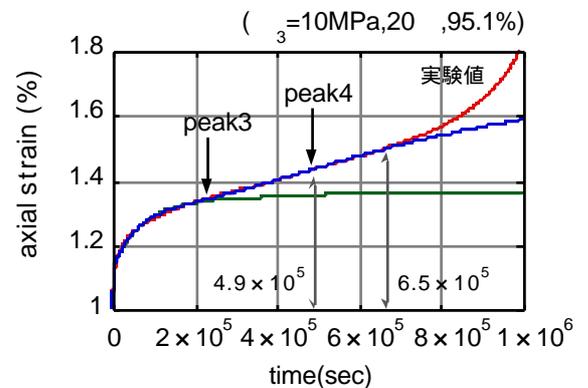


図 - 4 常温クリープの変形予測