

Ⅲ-23 高温下における花崗岩および砂岩の一軸圧縮クリープ特性

愛媛大学工学部 正会員 木下尚樹 フェロー会員 稲田善紀
愛媛大学大学院 学生会員 〇友永翔太
(株)芙蓉コンサルタント 正会員 谷光生 正会員 山田公雄

1. はじめに

熱水の地山岩盤内貯蔵についての検討の結果、空洞周辺岩盤には空洞内の熱水を熱源とした熱応力が発生して空洞の安定性に影響を及ぼすことがわかっている¹⁾。また、長期間の熱水貯蔵を想定すると、長期にわたる熱応力の影響によりクリープ現象が発生することが考えられる。

そこで本研究ではクリープも考慮した安定性解析を行うための基礎資料を得るために、高温下における花崗岩および砂岩の一軸圧縮クリープ試験を行い、常温下のクリープ特性と比較した。また、Burgers model を用いてクリープに関する諸定数の算定を試みた。

2. 実験方法

実験に使用した岩石は砂岩(島根県松江市産)および花崗岩(愛媛県今治市産)である。

一軸圧縮クリープ試験に使用する供試体は $\phi 2.5\text{cm} \times 5.0\text{cm}$ に成形後、真空脱気により供試体内に蒸留水を浸潤させ湿潤状態とした。一軸圧縮クリープ試験で用いた試験機は定格荷重 150kN の油圧サーボ試験機である。高温セル内を室内温度の蒸留水で満たし、その中に供試体を設置し、所要温度まで $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 以下で加熱した。所要温度に達した後は 60 分以上保温した。今回の実験では 20°C および 80°C の温度で実験を行った。

クリープ荷重は、短期間でクリープ破壊を促すため、一軸圧縮試験で得られた圧縮応力-体積ひずみ曲線よりダイラテンシーの開始点を推定し、それ以上の応力を設定した。本来クリープ試験では瞬時に載荷することになっているが、実際には無理なため、今回は 1MPa/s で載荷した。後述する瞬間ひずみはこの条件で測定されたものである。

荷重は試験機本体に設置されたロードセルにて測定した。ひずみは供試体に貼り付けられた 2 枚の 2 軸ひずみゲージにより測定した。また、比較のため試験機本体にある変位計でも測定した。セル内温度センサー、ロードセル、ひずみゲージ、変位計の出力を AD 変換器を通して Personal computer で記録した。

3. 実験結果

実験結果より砂岩および花崗岩のクリープひずみと時間の関係を図 1 に示す。砂岩、花崗岩ともに温度が高くなると破壊するまでの時間が短くなる傾向がみられた。

図 2 は砂岩および花崗岩のひずみ速度と時間の関係を両対数で表したものである。ひずみ速度が減少していく 1 次クリープ領域では勾配が -1 の直線関係になる傾向がみられた。この場合温度による変化はほとんどみられなかった。3 次クリープを考えるために、破壊が起こるまでの経過時間 t_F と任意の時刻 t との差を、残存寿命 T と定義して²⁾、残存寿命とひずみ速度の関係を両対数で表したものが図 3 である。3 次クリープ領域では、残存寿命とひずみ速度の間には、両対数グラフ上ではほぼ直線関係がみられた。この場合も温度による変化はほとんどみられなかった。

図 4 は各岩石の温度と最小縦ひずみ速度の関係を示したものであるが、両岩石ともに高温になると最小ひずみ速度が大きくなる傾向がみられた。これは高温下では岩石を構成している鉱物粒子間の熱膨張率の違いによりマイクロクラ

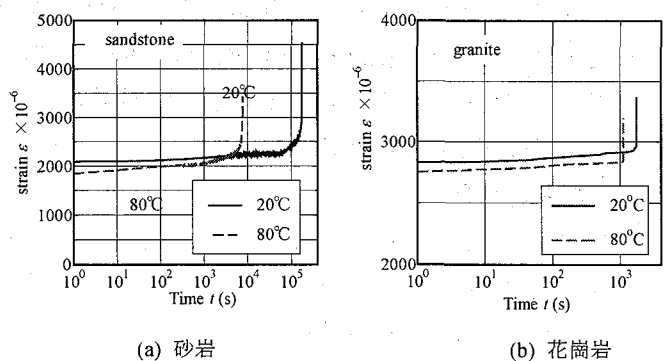


図 1 岩石のクリープひずみと時間の関係

ックの発展が促進されたことが原因として考えられる。

4. Burgers model を用いた諸定数の推定

岩石のクリープを表すために最もよく用いられる力学的模型の一つに、式(1)で表される Burgers model がある。

$$\varepsilon = \sigma_0 \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{\mu_1} t + \frac{1}{E_2} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{E_2}{\mu_2} t \right) \right\} \right] \quad (1)$$

ただし、 ε : ひずみ、 σ_0 : クリープ荷重、 t : 時間

ここではクリープ試験で得られた時間-クリープひずみ曲線から、式(1)に示されるクリープに関する諸定数の算定を試みた。

まず $t=0$ のときクリープ荷重と瞬間ひずみより E_1 が決定される。次に 2 次クリープの開始時間および終了時間を実験結果より推定し、それぞれの時間に対応する縦ひずみから μ_1 が算定される。また 2 次クリープ領域を近似的に直線とみなし、その直線がひずみ軸と交わる点、すなわち直線の切片から E_2 が算定される。さらに実験結果から、この近似直線と実際のクリープ曲線との差(絶対値)と経過時間の値を複数代入し、 μ_2 が算定される。

結果を表 1 に示す。砂岩、花崗岩共に E_1 の温度による変化はほとんどみられない。また、2 次クリープの特性を示す μ_1 は砂岩、花崗岩共に温度の増加に伴いわずかながら小さくなる。 E_2 も小さくなる傾向を示した。 μ_2 は 1 次クリープの初期と終期では値に変動がみられたが、平均で表すとすると温度の増加に伴い低下する傾向にある。

5. おわりに

今回の実験結果より、岩石の一軸圧縮クリープ特性に 20℃ から 80℃ の範囲でも温度の影響があることがわかった。熱水貯蔵時の周辺岩盤のクリープも含めた安定性解析を行う場合、温度の影響を考える必要があるといえる。また、クリープ時の破壊時間については、今後データ数を増やし検討を重ねる予定である。

<参考文献>

- 1) 稲田善紀: 岩盤工学, 178 頁, 森北出版, 1997 年。
- 2) 山口梅太郎, 西松裕一: 岩石力学入門, 199~200 頁, 東京大学出版, 1991 年。

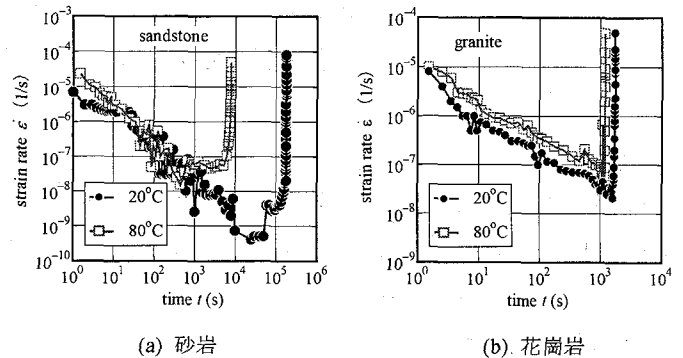


図 2 岩石のひずみ速度と時間の関係

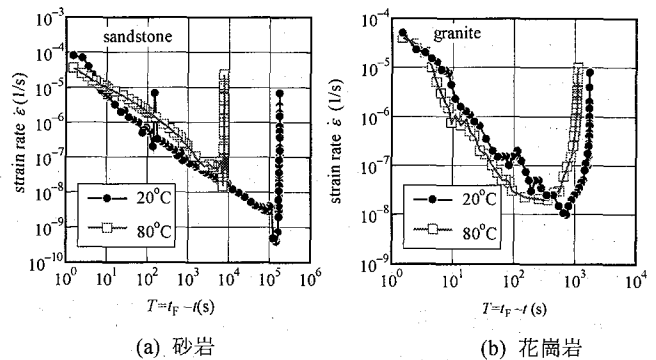


図 3 岩石のひずみ速度と残存寿命の関係

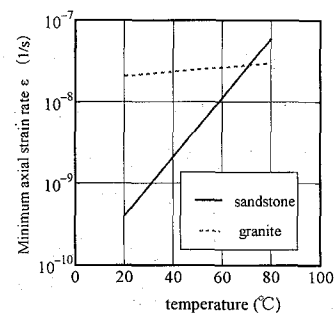


図 4 岩石の温度と最小ひずみ速度との関係

表 1 Burgers model の諸定数の値

rock	temp (°C)	E_1 (GPa)	μ_1 (GPa s)	E_2 (GPa)	μ_2 (GPa s)
sandstone	20	40.2	6.5×10^6	1.2×10^3	8.4×10^4
	80	40.1	4.3×10^6	1.1×10^3	6.2×10^4
granite	20	50.8	2.2×10^6	4.3×10^3	2.3×10^4
	80	50.7	1.9×10^6	2.0×10^3	1.9×10^4