

Ⅲ－11 高温下における岩石のクリープ挙動について

愛媛大学工学部 正会員 木下尚樹
愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田善紀
愛媛大学大学院 学生会員 ○友永翔太

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、高温下における岩石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安山岩（愛媛県久万高原町産）および花崗岩（愛媛県今治市産）である。表1は使用した岩石の湿潤状態の常温下および高温下における一軸圧縮強度および弾性係数である。高温下では一軸圧縮強度は低下しているが、弾性係数は常温下とほぼ同じ値を示している。

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 100kN 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。

クリープ荷重はそれぞれの温度における一軸圧縮強度の 90% とした。本来クリープ試験では瞬時に载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 で载荷した。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 に記録した。

3. 実験結果

実験結果より安山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。安山岩、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は安山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

表 1 岩石の一軸圧縮強度および弾性係数

rock	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Axial compressive strength (MPa)	Tangential Young's modulus (GPa)
andesite	20	148	40
(wet)	80	110	40
granite	20	164	52
(wet)	80	140	51

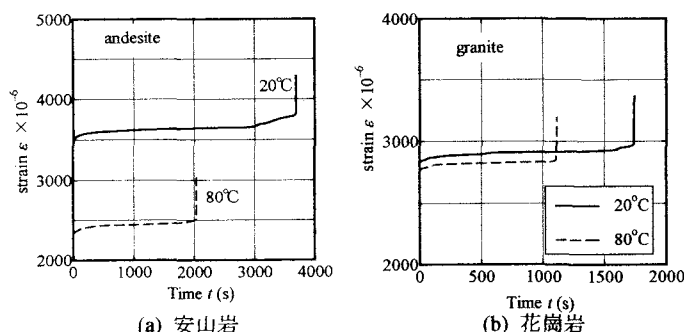


図 1 岩石のクリープひずみと時間の関係

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

$$T = t_F - t \tag{1}$$

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．

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(2)で表される Burgers model (図4) がある．

$$\varepsilon = \sigma_0 \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{\mu_1} t + \frac{1}{E_2} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{E_2}{\mu_2} t \right) \right\} \right] \tag{2}$$

ただし， ε ：ひずみ， σ_0 ：クリープ荷重， t ：時間

ここでは実験結果から，式(2)に示されるクリープに関する諸定数の算定を試みた．結果を表2に示す．安山岩，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．これは一軸圧縮強度試験の結果の弾性係数と同じ傾向を示している．また，2次クリープの特性を示す μ_1 は安山岩，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，平均値で表す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) N.Kinoshita & Y.Inada; Consdieration of temperature distribution around rock caverns used for heated water storage, Proc. of the ISRM Int. Symp. 3rd ARMS, pp,1041-1046, Nov. 2004.
- 2) 山口梅太郎，西松裕一：岩石力学入門，pp.199～200，東京大学出版，1991.

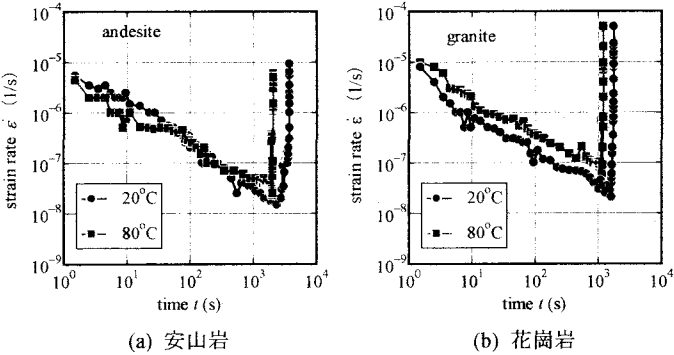


図2 岩石のひずみ速度と時間の関係

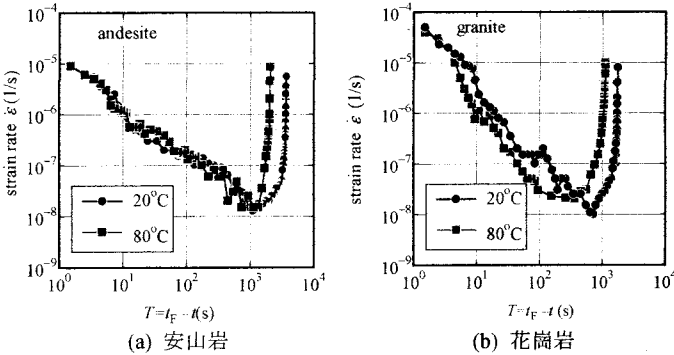


図3 岩石のひずみ速度と残存寿命の関係

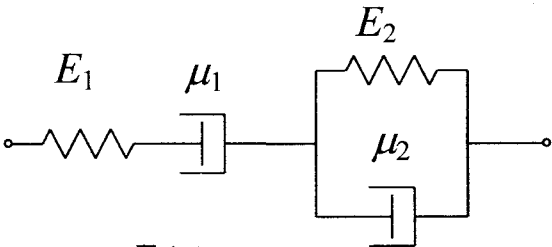


図4 Burgers model

表2 Burgers model の諸定数の値

rock	temp (℃)	E_1 (GPa)	μ_1 (GPa s)	E_2 (GPa)	μ_2 (GPa s)
andesite	20	40.2	6.5×10^6	1.2×10^3	8.4×10^4
(wet)	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
(wet)	80	50.7	1.9×10^6	2.0×10^3	1.9×10^4