

花崗岩の変形挙動における時間の効果に関する検討

埼玉大学 地圏科学研究センター 正会員 長田 昌彦
 埼玉大学 工学部建設工学科 正会員 山辺 正

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分環境は、硬岩では地下 1000m における環境が想定されている。このような環境では、温度・圧力条件とも大きくなるため母岩の変形挙動にも注意を向ける必要があるとともに、その時間依存性挙動を明らかにしておく必要がある。しかしこれらの温度・圧力条件、および時間依存性挙動などの材料物性はサイト・スペシフィックな側面を持つので、現段階ではどの要因が最も力学的な挙動を支配しているかを明らかにしておくことが重要であろう。特に時間依存性挙動については、実時間スケールでの挙動の把握は実現不可能であるから、どのような変形挙動の特徴を持っているかを実験的に把握したうえで、その特徴を如何にモデルに取り込んでおくか、またその解析方法を確立しておくことが必要である。当然の事ながら、これらの温度・圧力条件のなかには、圧力場としては土被りのみではなくテクトニックな応力場も想定すべきであり、温度場については地温勾配のみでなく、廃棄物からの熱の供給による影響も考慮すべきである。

本研究では硬岩の代表である花崗岩を対象として、ひずみ速度を変えた繰り返し載荷試験およびクリープ試験結果を通して、花崗岩の変形挙動における時間の効果を検討する。

2. 試料

供試体には円柱形（ $\phi 50\text{mm} \times H 120\text{mm}$ ）に整形した乾燥状態の稲田花崗岩を用いた。（物理的性質については文献¹⁾参照）拘束圧は 10MPa に統一し、すべての供試体で Rift 面に垂直な方向に載荷した。

3. ひずみ速度を変化させた繰り返し載荷試験

異なるひずみ速度で三軸圧縮試験を実施した場合、強度が変化すること、またダイレイタンス後の周方向ひずみおよび体積ひずみの挙動が異なることがわかって²⁾いる。

ここではダイレイタンス後においてひずみ速度を変化させた場合どのような変形挙動を示すかを把握するために、図 1 に示すように、2 オーダー異なるひずみ速度を設定して繰り返し載荷試験を実施した。説明のため、各載荷段階を a ~ c とする。

結果を図 2 に示す。参考のためそれぞれのひずみ速度で単調載荷した場合の結果も合わせて示している。図より、c 段階ではほぼ青線に沿って変形が進み、b 段階では赤線に沿って変形が進んでいることがわかる。および a 段階での繰り返しに対しては、ほぼ線形的に挙動しているが、細かく見ると c 段階の最大応力付近では赤線に沿って変形が進んでいる。

c 段階の載荷をより大きい応力レベルまで続けた場合、軟岩のように³⁾青線に沿って変形が生じるかどうかに興味あるところではあるが、この試験では確認できていない。異なるひずみ速度で、ある一定のひずみ量まで載荷した供試体では観察されるマイクロクラック量に違いが見られ、ひずみ速度が遅い方がクラックが多く発達している⁴⁾。従って c 段階と同じダメージを有する青線上の点に向かって変形が進むことが推定されるので、今後確認したい。

キーワード：稲田花崗岩、繰り返し載荷試験、クリープ試験、マイクロクラック

〒338-8570 埼玉県浦和市下大久保 255 TEL：048-858-3547，Fax：048-858-7374

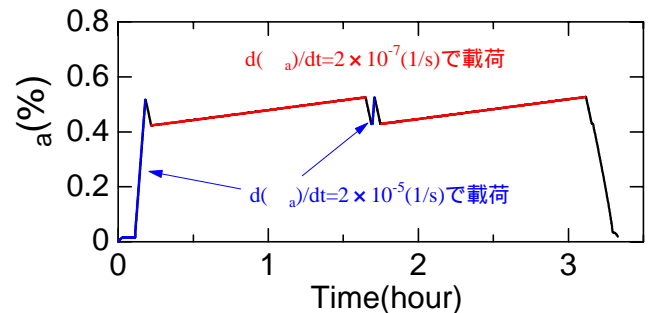


図 1 ひずみ速度の設定

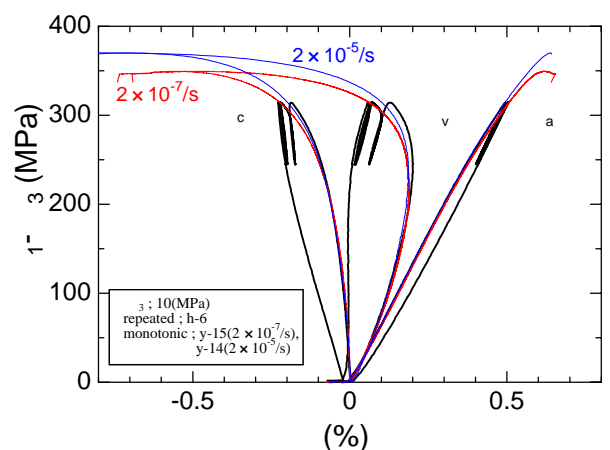


図 2 応力 ひずみ関係

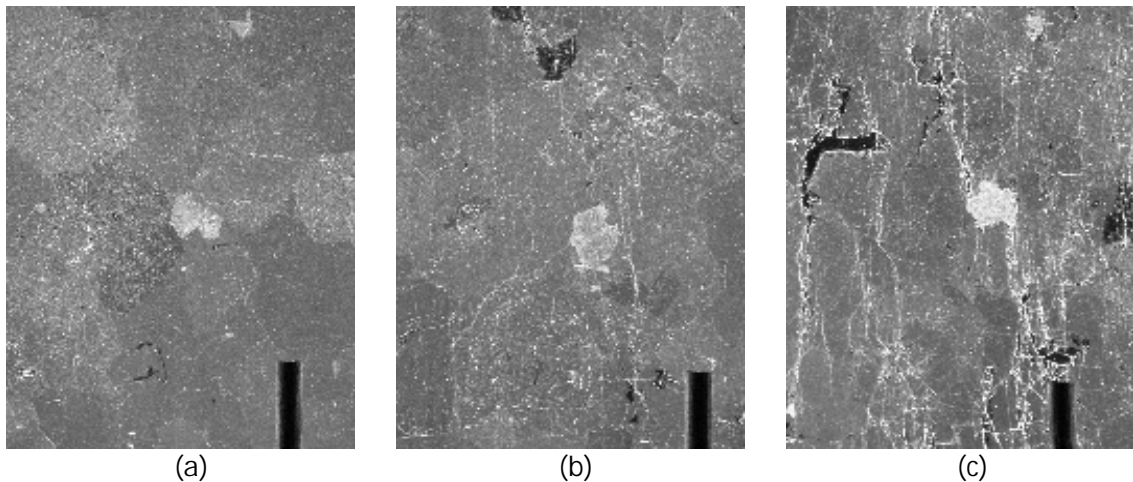


写真 1 稲田花崗岩のレプリカ写真。(a) インタクト, (b) 応力レベル 90%で 8 時間クリープ後, 除荷, (c) 応力レベル 85%で 8 時間クリープ後, 定ひずみ速度で破壊させた。(scale: シャープペンシルの芯, 0.5mm)

4. クリープ試験

クリープ試験は図 3 中に示す各応力レベルで実施した。一般的なクリープ試験とは異なり, 設定した応力レベルまで定ひずみ速度で載荷し, その後軸差応力を一定に保っている。試験時間の都合上, 8 時間でクリープ破壊しない供試体については, 定ひずみ速度で破壊させている。なお, 原点は拘束圧負荷前としている。

多くの岩石の場合, クリープ時の変形は軸方向ひずみより周方向あるいは半径方向ひずみに顕著に現われる。そこでクリープ試験結果を図 3 のように周方向ひずみについてまとめた。図より 8 時間以内にクリープ破壊するものから, 時間内では 2 次クリープまで変形が進行しているものがあることがわかる。また 3 次クリープの開始を破壊と定義すると, 破壊時の周方向ひずみ量は, 定ひずみ速度で破壊させたものを含めて, 0.6%弱とほぼ一定している。

写真 1 は供試体中央付近におけるマイクロクラックの発達状況を撮影したものである。載荷軸は上下方向である。花崗岩は主に石英, 長石類, および黒雲母から成る不均質な岩石であるので, クラックの発達状況を比較するために, 同サイズの黒雲母を一つ含む領域を撮影している。(a)はインタクトな供試体であり, 中央の白い部分が黒雲母, 濃い灰色の部分が石英, 薄い灰色部分が長石類である。この写真では初期クラックはあまり顕著には観察されない。(b)は応力レベル 90%まで載荷し, 8 時間クリープさせた後除荷した供試体であるが, インタクトに比べ, 明らかに軸方向のクラックが増えていることがわかる。(c)は応力レベル 85%で 8 時間クリープさせた後, 定ひずみ速度で破壊させた供試体であるが, 多くのクラックが発達し, それらが連結していることがわかる。

5. まとめと今後の課題

クリープ時の変形もマイクロクラックの発達と密接に関連しており, これはマクロ的には周方向ひずみの挙動と密接に関連していることがわかった。今後このようなクラックの発達過程を表現できる解析方法の確立・改良や高レベル放射性廃棄物処分を想定した温度環境における時間の効果に関する検討を行う必要がある。実現象を考えた場合, 環境が一定である条件のみでなく, その遷移過程, 例えば温度を変化させながらのクリープ試験などを実施することも必要ではなからうか。

参考文献: 1) 長田昌彦ほか(1999): 応用地質, Vol.40, No.1, 36-46. 2) 武石裕幸ほか(1998): 第 10 回岩の力学国内シンポジウム, 31-36. 3) 高橋ほか: 堆積軟岩排水クリープ挙動の予測, 4) 長田昌彦・吉中龍之進(1999): 日本応用地質学会平成 11 年度研究発表会, 103-106.

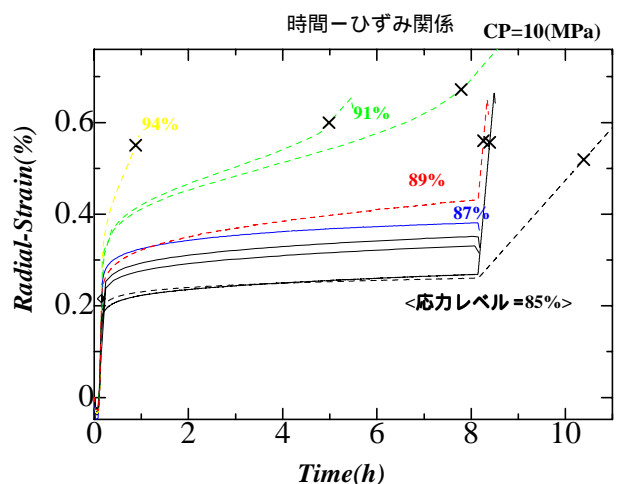


図 3 周方向ひずみのクリープ曲線