

凝灰岩を用いた加温条件下での三軸せん断-保持-せん断試験

京都大学大学院 学生会員 ○荒木 壯則  
 京都大学工学研究科 正会員 岸田 潔, 細田 尚  
 山口大学理工学研究科 正会員 中島 伸一郎  
 愛媛大学理工学研究科 正会員 安原 英明

1. はじめに

エネルギー貯蔵や廃棄物処分等の地下利用において岩盤の長期挙動の把握は重要な課題である。そこで、熱・水・応力・化学連成を考慮した長期岩盤の力学的・水理学的挙動の解明が必要不可欠である。加温した場合の堆積岩の力学的特性に関する研究は実地されている<sup>1)</sup>が、強度回復についてはあまり研究がなされていない。本研究では、堆積岩の一種である凝灰岩の三軸せん断試験を実地し、残留状態で応力保持を行った。残留状態での力学的挙動が、保持時間、応力、温度条件でどのように変化するかを調べた。

有効拘束圧0.7MPa, 温度条件20℃, 60℃で実施したせん断-保持-せん断過程での軸差応力-軸ひずみおよび体積ひずみ-軸ひずみ関係をFig.1に示す。いずれの温度条件においても保持に伴い応力緩和が発生し、再せん断にとともに強度が増加し、ピークを迎えて残留状態に戻ることが確認できる。再せん断後のピーク強さは、保持前の軸差応力より大きくなり、明らかな強度回復が確認できる。

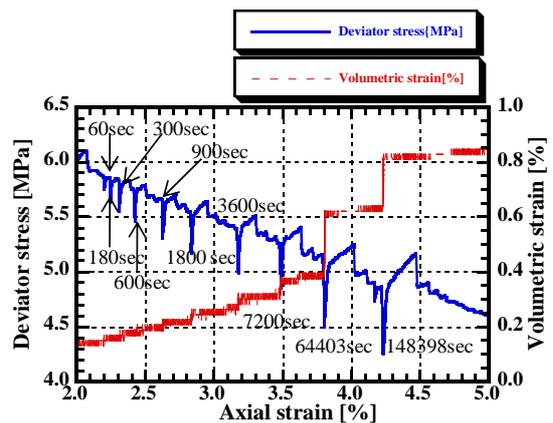
また、体積ひずみは、残留状態では緩やかに増加し

2. 三軸せん断-保持-せん断試験

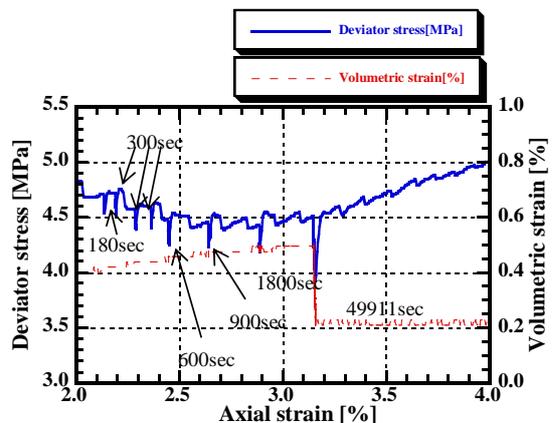
本研究で用いた岩石試料は、軽石火山礫凝灰岩（流紋岩質軽石火山礫凝灰岩）である。緑灰色で多孔質のvesicular軟質火砕岩であり、主に径5 mm以下の軽石pumice片などの火山碎屑物から構成される。軽石片は、変質して緑～白色を呈し扁平なものが多く存在する。

軽石の気孔（空隙）組織および火山ガラス微粒子の多くが、粘土鉱物のセラドナイトに変化している。一方、濃緑色の「ミノ」では、気孔・気孔壁の全組織または気孔に限りモンモリロナイト化している。一部の気孔には、低温熱水に溶解したガラス成分の結晶化により粘土鉱物と共生して斜プチロル沸石の晶出も認められる。これらの分析結果より、本研究で用いる岩石は、熱による変質が想定される。

この岩石試料を用いて5つの円柱供試体を作製し、実験を行った。実験は、圧密排水状態で行い、軸ひずみ速度を0.01 %/minとして三軸せん断を行った。保持は、ピーク後残留状態で行い、保持時間は、60, 180, 300, 600, 900, 1800 秒を基本とし、長期保持としては、約12時間や約24時間、約3日の保持を行った。有効拘束圧は、0.7 MPaとし、温度は20, 60, 75, 90℃で実験を行った。



(a)  $\sigma_3 = 0.7$  MPa, thermal condition is 20 °C



(b)  $\sigma_3 = 0.7$  MPa, thermal condition is 60 °C

Fig.1 Enlarged plots of the deviator stress-axial strain and the volumetric strain- axial strain relations focused on the slide-hold-slide process

キーワード：凝灰岩, 三軸せん断, 加温, 強度回復, 応力緩和

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター1 Block 3 FAX : 075-383-3271

ている。長期間保持することにより、20℃条件では体積ひずみが増加し、膨張を示す。これは、応力緩和で拘束がゆるくなり、膨張したものと考えられる。一方、60℃条件では、長時間保持に伴い体積ひずみは収縮を示す。

### 3. 考察

#### (1) 再せん断過程での強度増加

保持後の再せん断過程でみられる強度増加は、Fig.2に示すように、再せん断後のピーク軸差応力と保持直前の軸差応力の差分( $\Delta q$ )で定義する。Fig.3に拘束圧0.7MPaで温度が異なる場合の $\Delta q$ と保持時間関係を示す。いずれのケースでも保持時間に比例して $\Delta q$ が増加することが確認できる。これらの関係は、Dieterichが示す対数線形<sup>2), 3)</sup>で表現することが可能である。限られた実験結果ではあるが、加温することで $\Delta q$ は減少する傾向にある。先にも述べたが、本供試体は、一部の気孔には、低温熱水に溶解したガラス成分の結晶化により粘土鉱物と共生して斜方チロル沸石の晶出も認められる。すなわち、温度を作用させることで、粘土鉱物の晶出を促し、強度増加が顕著に表れなかったことが考えられる。

#### (2) 保持による応力緩和

拘束圧0.7MPaで温度が異なる場合の応力緩和( $\Delta q_c$ )と保持時間の関係をFig.4に示す。 $\Delta q_c$ は、Fig.2に示すように保持期間の軸差応力の減少量とする。Fig.4より、時間に比例して $\Delta q_c$ が増加することが確認できる。また、加温した場合、常温と比べて加温したものは $\Delta q_c$ が大きいことが確認できる。これは、せん断面の接触している部分が加温と共に軟化し、常温時よりクリープ現象が進んだためと考えられる。

### 4. まとめ

凝灰岩による圧密排水条件での三軸せん断-保持-せん断試験を行い、残留状態で保持することで、保持時間に比例して再せん断後の強度回復現象が確認できた。一方、加温したケースでは、明瞭な強度増加が確認できなかった。これらは、本研究で用いた供試体の温度による鉱物的な化学変化に起因する可能性が考えられる。特に、モンモリロナイトはせん断面において多大な影響を及ぼすことが知られている<sup>4)</sup>。この強度回復に対する影響として、膨張による粒子再配列や間隙水

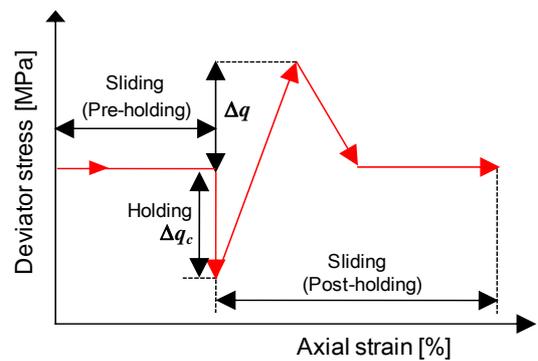


Fig.2 Definition of stress reduction and stress recovery in slide-hold-slide process

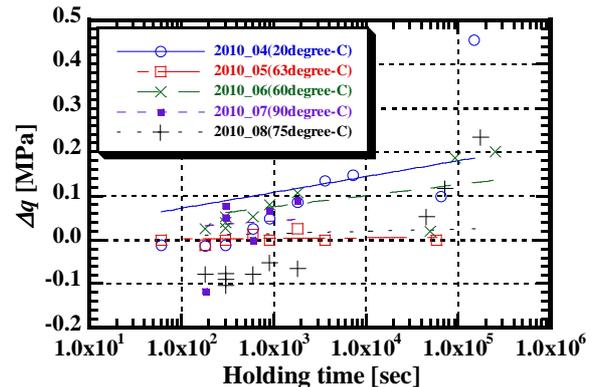


Fig.3 Shear strength recovery are plotted versus holding time(0.7MPa)

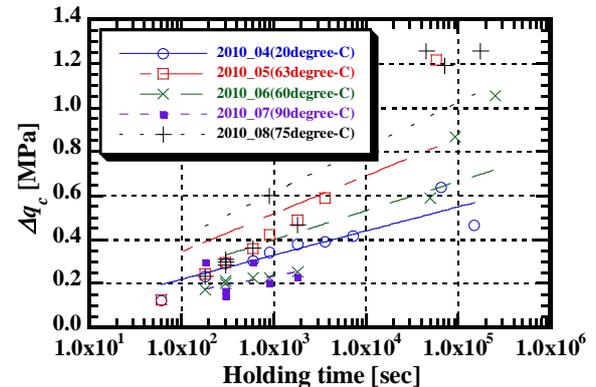


Fig.4 Shear strength reduction are plotted versus holding time(0.7MPa)

の出入による吸着力がある。これらの度合いが、加温によって低下するため強度回復が小さくなったと考えられる。

本研究の一部は、科研費 (No. 20560460) の助成により実施した。

#### 参考文献

- 岡田哲実：高温環境下における堆積軟岩の力学特性（その1）-三軸圧縮試験による温度依存性の把握-，電力中央研究所報告，N04026，2005。
- Dieterich, J. H.: Time-dependent friction in rocks, JGR, Vol. 77, pp. 3690-3697, 1972.
- Dieterich, J. H.: Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations, JGR, 84, 2161-2168, 1974.
- 山崎孝成：再滑動型地すべりにおけるせん断帯の構造と土質特性に関する研究，佐賀大学，博士論文，130-135，2000