

温度・拘束圧制御下の泥岩不連続面剛性及び摩擦強度の経時変化に関する研究

愛媛大学大学院 理工学研究科 生産環境工学専攻 学生会員 ○大西史記

正会員 安原英明

正会員 木下尚樹

Key Words : repeated shear test, mudstone, discontinuity, rigidity

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分を行うための処分場を建設するにあたり、大規模な地下空洞の建設が想定される¹⁾。その際、地下空洞の掘削により周辺岩盤内に集中応力が発生し、岩盤内に微小な亀裂が発達する。この現象が生じる領域を掘削損傷領域（EDZ : Excavation Damaged Zone）と呼ぶ。掘削損傷領域における地下岩盤の岩石特性を経時的に評価することは、地層処分の安全面を考える上で必要不可欠である。本研究では、単一不連続面を有する岩石の変形挙動の評価を目的として、温度・拘束圧を制御した繰り返しせん断試験を実施し、岩石不連続面の剛性及び摩擦強度の経時変化について評価した。

2. 繰り返しせん断試験概要

供試体は泥岩およびステンレス鋼（オーステナイト系 SUS303）を用いた。供試体寸法は直径 30 mm、高さ 60 mm であり、傾斜角度 60°の傾斜不連続面を与えた。ここで、各供試体の力学物理特性を表 1、試験模式図を図 1 に示す。本研究では、温度を 25°C、拘束圧を 3MPa に設定し、拘束圧保持期間を 0 日、1 日、2 日、4 日、8 日、16 日の 6 種類を設けた。また、保持期間中における岩石のクリープ変形挙動を把握するために変位計を用いて垂直変位を測定した。そして、保持期間終了後は繰り返しせん断試験を実施した（図 2）。繰り返しせん断試験では、3.0 MPa の側圧を作用させた状態で、せん断が確認できるまで軸差圧を载荷し、せん断させた後、軸圧を初期値である 3.0 MPa まで除荷した。この载荷・除荷の一連の流れを 3 サイクル実施した。そして、試験結果より式(1)を用いて最大静止摩擦係数（せん断時の静止摩擦係数）を算出し、摩擦強度の時間依存性について評価した。

$$F = \mu N$$

$$N = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \cos 2\alpha \quad (1)$$

$$F = -\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \sin 2\alpha$$

ここで、 F : 最大静止摩擦力[N]、 μ : 静止摩擦係数、 N : 垂直抗力[N]、 σ_x : 鉛直面に作用する垂直応力[MPa]、 σ_z : 水平面に作用する垂直応力[MPa]である。また、軸ひずみ変化による割線断線係数を確認するために、せん断試験における载荷時の軸差応力-軸

表 1 各供試体の力学物理特性

	ステンレス鋼	幌延泥岩
密度 [kg/m ³]	8.00×10 ³	1.63×10 ³
圧縮強度 [MPa]	255	9.9
弾性係数 [GPa]	193	1.72
ポアソン比 [-]	3.0	0.47

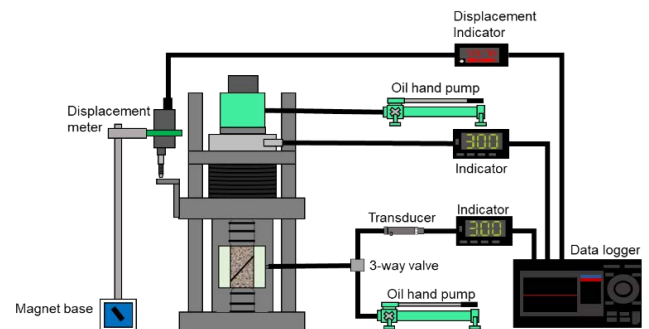


図 1 試験模式図

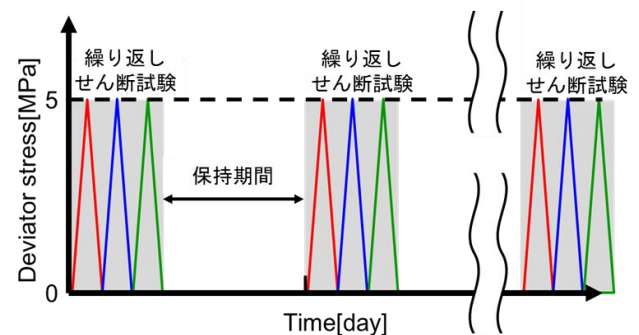


図 2 繰り返しせん断試験の実行程

ひずみ関係より割線断線係数を式(2)により算出した。

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

ここで、 E_s :割線弾性係数[MPa], σ :軸差応力 [MPa], ε :軸ひずみ[-]である. 次に, 各サイクルの拘束圧保持日数の違いにおける割線弾性係数 E_s の結果から 2, 3 サイクル目での割線弾性係数の平均値をとり試験開始時 0 日目の値で除することで, 割線弾性係数の平均変化率を式(3)により算出した.

$$E_{sn}(t) = \frac{E_s(t)}{E_s(t_i)} \quad (3)$$

ここで、 $E_{sn}(t)$:時間 t における正規化した割線弾性係数の平均値[-], $E_s(t)$:時間 t における割線弾性係数の平均値[MPa], $E_s(t_i)$:時間 t_i における割線弾性係数の平均値[MPa], t_i :初期時間である.

3. 繰り返しせん断試験結果

まず, 各供試体における拘束圧保持期間に伴う最大静止摩擦力 $\Delta\mu$ の変化を図 3 に示す. どちらも $\Delta\mu$ は拘束圧保持期間とともに, 対数線形的に増加している結果が得られた. これは, 傾斜平滑不連続面における実接触面積の増加により, 供試体の傾斜平滑不連続面での摩擦強度が増加したと予想される. 次に, 各供試体における割線弾性係数の平均変化率を図 4 に示す. ステンレス鋼供試体 (S-01) では, 1 日拘束圧保持を行うことで, 50 %程度の割線弾性係数の増加が確認できた. 1 日目以降は, 明瞭な変化が見られなかった. 泥岩供試体 (H-01) では, 1 日拘束圧保持を行うことで, 60 %程度の割線弾性係数の増加が確認できた. また, 拘束圧保持 2 日目を除いて, 4 日目以降は増加する傾向が見られた. 以上より, 拘束圧保持期間に伴い, 供試体の剛性及び摩擦強度が上昇すると予想される.

4. おわりに

本研究では, 岩石不連続面の剛性及び摩擦強度の時間依存の評価を目的として, 温度・拘束圧制御下の繰り返しせん断試験を実施した. その結果, 拘束圧保持期間に伴い, 供試体不連続面の剛性及び摩擦強度は上昇する傾向にあることが予想された. 今後は, 高温条件や 16 日以上拘束圧保持期間を設けた繰り返しせん断試験の実施や試験装置に透水機構を加え, 水理学的影響についても評価する必要がある.

5. 参考文献

- 1) 放射性廃棄物の最終処分に関する法律, 第一章 総則, 第二条

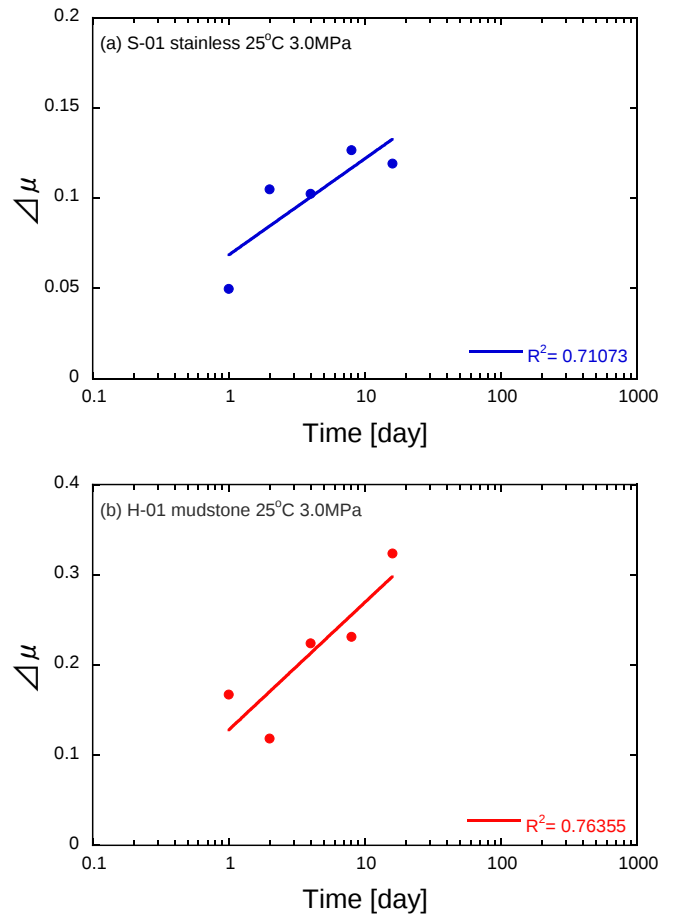


図 3 保持期間に伴う最大静止摩擦力 $\Delta\mu$ の変化
(a)ステンレス鋼 (S-01) , (b)幌延泥岩 (H-01)

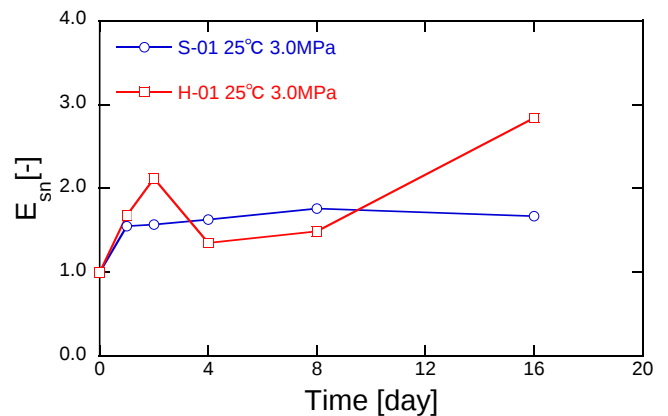


図 4 割線弾性係数変化率