

熱・水・応力の影響を受ける花崗岩不連続面の変形挙動

愛媛大学大学院 学生会員 ○崎山久美子 愛媛大学大学院 正会員 木下尚樹
愛媛大学大学院 正会員 安原英明 愛媛大学大学院 正会員 川口隆

1. はじめに

原子力発電の過程において発生する高レベル放射性廃棄物は地下 300 メートル以深の安全な岩盤に地層処分すると計画されている。しかし、高レベル放射性廃棄物は高温であり、そのことにより周辺岩盤の水理学特性・力学特性に大きな影響を与えると考えられている。現段階ではその影響の具体的な把握に至っていない。また、周辺岩盤には多くの不連続面が存在し、それらの不連続面が水理学的・力学的弱面となるため、不連続面における変形特性の把握が必要とされている。

そこで本研究では、周辺岩盤における不連続面の変形挙動評価を目的とし、温度・拘束圧・鉱物溶解条件を制御した持続载荷試験を行い、不連続面の変形特性に及ぼす熱、水および応力の影響を実験的に検証する。また、循環水に溶出される鉱物濃度を ICP 発光分光分析で測定する。

2. 実験方法

不連続面の圧縮変位は持続载荷試験にて測定する。図 1 に実験の概念図を示す。持続载荷試験は供試体を実験用セル内にセットし、一定の垂直拘束圧 (5MPa) 条件下における圧縮変位の経時変化を測定する。用いる供試体は瑞浪産の土岐花崗岩 (直径 30mm×高さ 60mm) とし、圧裂不連続面、平滑不連続面を有する 2 種類の供試体を作製した。また、実部の圧縮変位を測定するために不連続面のない供試体も実験に用いる。セル内は超純水またはシリコンオイル (それぞれ湿潤状態、Non-wet 状態と呼ぶ) で満たし、循環恒温槽を用いて循環させ、常温状態 (セル内温度 20°C) で载荷を開始して圧縮変位の経時変化を測定する。その後温度を上昇させ、高温状態 (セル内温度 80°C) でも同様に圧縮変位の経時変化の測定を行う。湿潤状態においては、循環水中に鉱物が溶解するため、循環水を採取して濃度測定を行う。Non-wet 状態では鉱物溶解は生じない。また、湿潤状態で用いる供試体は超純水を入れたデシケーター内に入れ、真空ポンプで 6 時間以上脱気を行い、供試体内を飽和させる。Non-wet 状態で用いる供試体はシリカゲル入りのデシケーターに入れ、1 週間以上乾燥させる。試験日数は圧裂不連続面および平滑不連続面において 6 日間、不連続面のない供試体においては 2 日間として実験を行う。

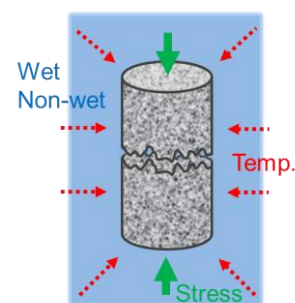


図 1 実験の概念図

3. 実験結果および考察

セル内温度を 20°C から 80°C に上昇させると温度変化により、供試体および試験機が熱膨張するため、供試体の変形の補正を行った。不連続面のない供試体を用いて行った実験結果から温度変化による圧縮変位の変化率 (以下膨張係数と呼ぶ) α を求め、式(1)を用いて圧縮変位を補正した。この際、温度上昇に要する時間は全試験時間と比較して非常に短いため、温度上昇時に岩石実部にはクリープ変形は発生していないものと仮定する。また、岩石の熱膨張特性に対する亀裂の影響は小さいと報告されていることから¹⁾、これらの影響は無視できるものとする。

$$\Delta L_a = \Delta L_b - \alpha \cdot (T - T_0) \quad (1)$$

ここに、 ΔL_a [mm]は温度による影響を補正した変位、 ΔL_b [mm]は計測された変位、 α [mm/°C]は温度変化による計測変位の変化率 (膨張係数)、 T [°C]は計測される温度、 T_0 [°C]は実験開始時の温度である。

補正後の圧縮変位の経時変化を図 2 に示す。本研究では膨張方向を正、圧縮方向を負とする。これらの結果から、温度・不連続面形状・鉱物溶解条件の違いに関わらず、不連続面において圧縮変位はほとんど生じ

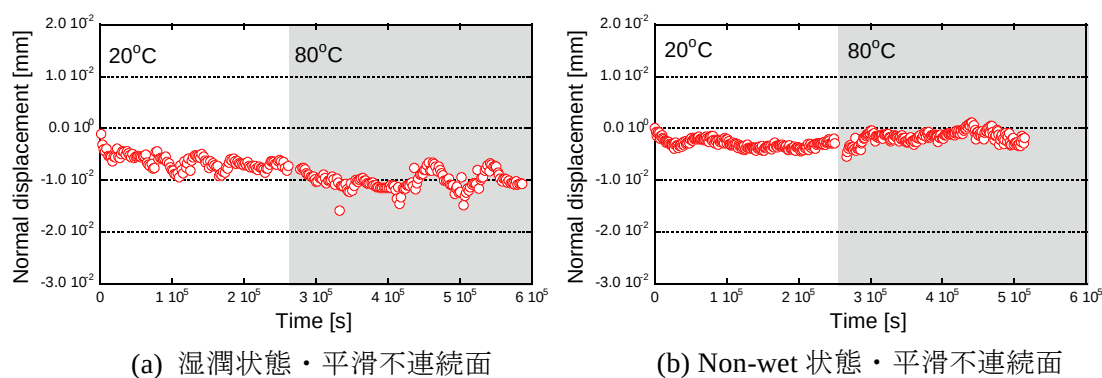


図 2 補正した圧縮変位の経時変化

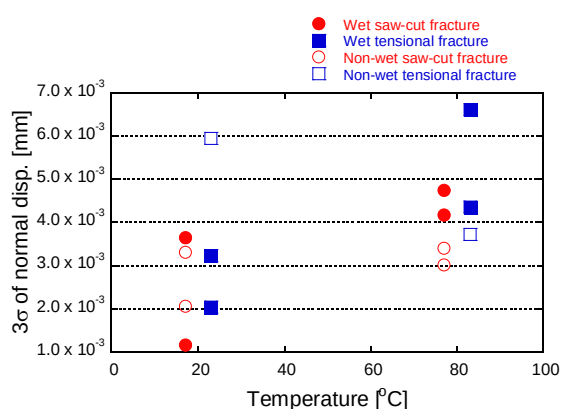


図 3 圧縮変位の標準偏差 3σ

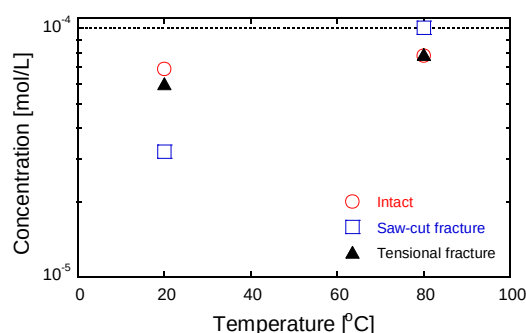


図 4 Si の溶出濃度と温度の関係

ないことが確認できた。つぎに、圧縮変位がどの程度分散しているか確認するために、それぞれの条件において常温（セル内温度 20°C）と高温（セル内温度 80°C）に場合分けし、圧縮変位の標準偏差 3σ を算出して比較を行った。図 3 に算出した圧縮変位の標準偏差 3σ を示す。セル内温度 20°C の場合、湿潤および Non-wet 状態ともに 3σ が $4.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 以下の値となった。しかし、セル内温度 80°C の場合では、湿潤状態は $4.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 以上となり、Non-wet 状態では $4.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 以下となった。以上のことより、湿潤状態・温度 80°C・不連続面有のときに変位の変動が大きくなることが確認できた。

この原因として、湿潤状態で温度が比較的高い場合、亀裂内部のアスペリティ接触領域において、マイクロスケールの破壊や溶解の力学－化学連成現象が顕在化、その結果、アスペリティ接触領域では力学的に不安定な状態になり、マクロスケールの変位変動に繋がったと推察される。図 4 に示す Si の溶出濃度と温度の関係からも温度が上昇することにより鉱物溶解が進んでいると確認できたため、この推察を裏付けられるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では周辺岩盤における不連続面の変形挙動評価を目的とし、熱・水・応力を制御した持続載荷試験を行い、圧縮変位の標準偏差 3σ を算出し、変動特性の検討を行った。また、循環水中の鉱物溶出濃度の測定を ICP 発光分光分析で行った。

今後は、温度・不連続面形状・鉱物溶解条件だけでなく、拘束圧条件も変えることで応力・熱・水の影響を明確化させる必要がある。

参考文献

- 1) 八田敏行, 熊坂博夫, 木下直人, 安部透: 天然のき裂を含む花崗岩質岩石の熱膨張特性, 土木学会論文集, No.750 / III-65, pp.183-191, 2003.