

温度・拘束圧制御下におけるベレア砂岩物性パラメータの経時変化

愛媛大学大学院 正会員 安原英明 愛媛大学大学院 学生会員 ○鈴木崇史
愛媛大学大学院 正会員 木下尚樹 産業技術総合研究所 非会員 高橋学

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分施設ニアフィールドの長期性能評価を行う場合、対象となる岩盤の水理学・力学特性を長期に渡り予測評価することは非常に重要である。処分施設は深部環境に建設されるため応力レベルは高く、廃棄体からの発熱により周辺岩盤の温度は上昇する。その結果、岩石構成鉱物の溶解・沈殿現象等の化学作用が卓越し、岩盤の水理学・力学特性に大きな影響を及ぼすことが予想される。しかしながら、温度・応力に依存する化学作用を包含する岩石-水の相互作用現象に起因する岩盤の水理学・力学特性の経時評価については、これまで積極的に行われてこなかったのが現状である。そこで本研究では、熱・水・応力・化学の連成現象に起因するそれら物性パラメータの変化を実験的に考察した。

2. 等方圧縮試験

長期間にわたり温度および拘束圧を制御した等方圧縮試験を実施するため、実験用圧力セルを開発した（共和技研製、岩石三軸セル）（図1）。実験に供した岩石はベレア砂岩で、供試体サイズは、直径30 mm、高さ60 mm。石英が90 %程度含まれており、粘土鉱物の含有率が極めて小さい岩石である。供試体を実験用圧力セルにセットし、軸圧、拘束圧を8 MPaまで上げる。その後シリコンオイルを満たした金属製容器に入れ、温度を90 °C に制御し、1ヶ月（31日）間養生を行った。

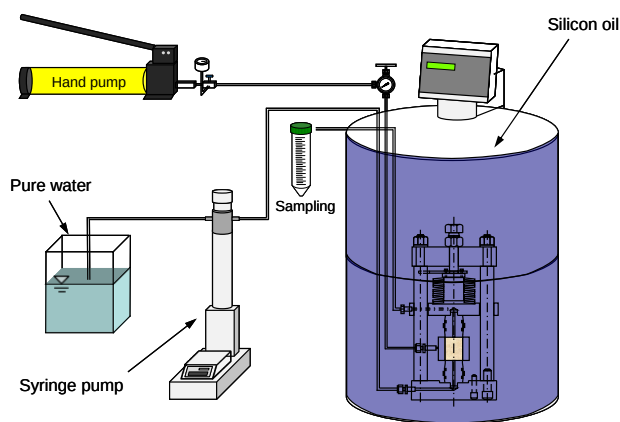


図1 等方圧縮試験の模式図

3. 透水試験

温度、拘束圧共に比較的高い条件では、鉱物の溶解・沈殿等の化学反応が促進されるものと考えられる。その結果、岩石内部の骨格構造が変化し、岩石の透水特性や変形・強度特性に何らかの影響を及ぼすと予想される。本研究では、温度90 °C、拘束圧8 MPa の条件下で、1ヶ月間養生させた時の岩石供試体の影響を把握するために、実験前後で透水試験を実施した。また、透水試験終了後の岩石試料を用いて一軸圧縮試験を実施し、力学特性を評価した。透水試験は、等方圧縮試験（1ヶ月間養生）前後で20 °C の温度条件で実施した。軸圧・拘束圧を8 MPa 作用させ、シリンジポンプ（TELEDYNE ISCO 社製、500D 型）を用いて透水差圧200 kPa の条件で透水を行った（図1 参照）。岩石供試体の透水特性は、透過率 K （Permeability [m²]）を用いて評価した。透過率 K は、ダルシー則が成り立つと仮定して、以下の式で表すことができる。

$$K = \frac{\mu QL}{A\Delta P} \quad (1)$$

ここで、 μ ：透過流体の粘性係数 [Pa sec]、 Q ：流量 [m³sec⁻¹]、 l ：供試体高さ [m]、 A ：供試体断面積 [m²]、 ΔP ：透水差圧 [Pa]である。透水試験は、流量が定常状態に落ち着くまで約15 分間行い、30 秒間隔で流量を計測した。（図2）。養生前、後の定常時の透過率は、それぞれ 9.54×10^{-13} 、 7.66×10^{-15} m² で、31日間で約20 %

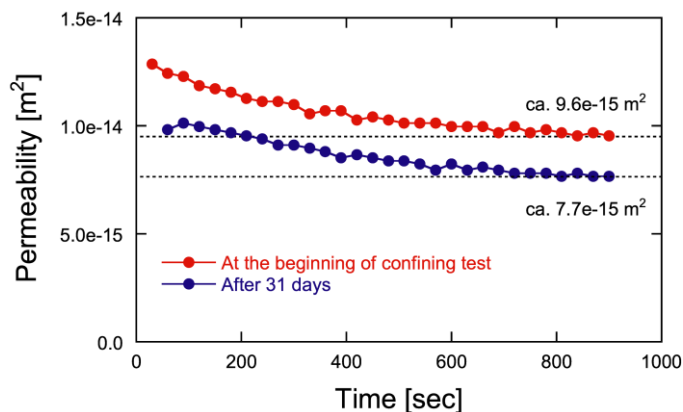


図2 透水試験結果

透水性が低下することが観察された。これは、岩石構造骨格の変化に起因していると考えられ、特に、間隙体積の減少が透水性の低下に繋がっている。間隙体積減少の原因は、構成鉱物の粘土化による見かけの粒子密度の低下や、二次鉱物の再沈殿が想定される。今後は、拘束圧条件や養生期間を変化させた実験を実施し、データの蓄積が必要である。

4. 一軸圧縮試験

31日間の等方圧縮試験、透水試験終了後の供試体を用いて、一軸圧縮試験を実施した。圧縮試験は、愛媛大学既設のサーボ式岩石力学試験装置（最大載荷重：150 kN）を用いて行った。供試体は、透水試験装置終了後に50 °C に設定した乾燥炉に静置し、24 時間乾燥させた。つぎに、乾燥後の供試体を試験装置にセットし、100 kPa/sec (0.07

表 1 一軸圧縮試験より得られた変形・強度定数

Sample	σ [MPa]	E_{50} [GPa]	poisson's ratio	curing period [day]
B-40	75.3	11.6	0.17	31
B-26	75.5	10.9	0.19	0
B-27	78.0	10.1	0.18	0

kN/sec) の荷重制御で静的に試験を実施した。本研究で得られた一軸圧縮強さ、割線弾性係数 (E_{50})、ポアソン比は、それぞれ75.3 MPa, 11.6 GPa, 0.17 であった。比較のために、今回の実験結果と養生期間無しの実験結果を表 1に示す。表より、温度90 °C、拘束圧8 MPa の条件下で31 日間養生した結果は、養生無しの結果と比較して有意な差は確認できなかった。

5. ICP発光分光分析

31日間養生前後の透水試験中および養生開始12日後に、供試体の間隙溶液を約7 mL 採取し、ICP-AES により、岩石構成主元素であるSi, Al, K, Fe, Ca, Na, Mg の定量分析を実施した。分析に使用した機器は、愛媛県産業技術研究所既設のICP 発光分光分析装置(Thermo Fisher Scientific 社製, iCAP6300DUO 型)である。得られた結果を図 4 に示す。図および表より明らかなように、ほとんど元素は、養生前よりも高い濃度を示している。これは、室温よりも高い温度条件かつ拘束圧条件下で、鉱物の溶解現象が促進したためであると考えられる。

6. まとめ

本研究では、ベレア砂岩を対象として、拘束圧を8MPa、温度を90°C に制御した等方圧縮試験を連続1 ヶ月 (31 日) 間実施した。そして、1 ヶ月 (31 日) 間養生後の供試体を用いて透水試験および一軸圧縮試験を実施し、透水特性の変化および変形 (割線弾性係数)・強度特性 (一軸圧縮強さ) を観察した。その結果、透水性が約20 %程度低下している結果が得られた。また、得られた割線弾性係数・一軸圧縮強さは、11.6 GPa、75.3 MPa であり、別途養生無しで行われた一軸圧縮試験より得られた値とほとんど変化がないことが確認された。

また、溶解物質の定量評価を行うために、養生0 日、12 日、31 日後に採取した供試体間隙溶液の濃度をSi, Al, K, Fe, Ca, Na, Mg について測定した。その結果、養生前と比較して12 日後、31 日後の物質濃度の方が概ね高い傾向が得られた。

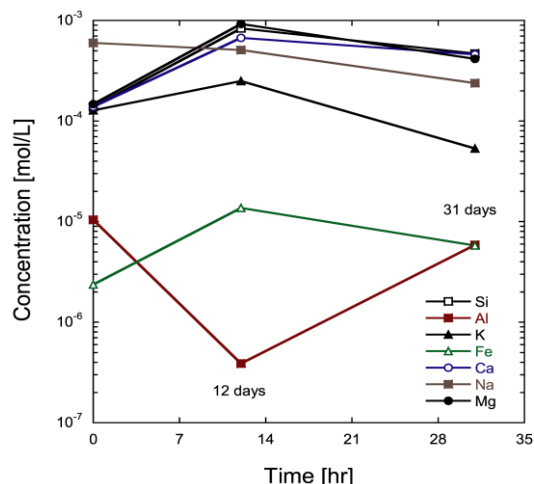


図 4 元素濃度

参考文献

[1] Yasuhara, H., D. Elsworth, and A. Polak (2003), A mechanistic model for compaction of granular aggregates moderated by pressure solution, *Journal of Geophysical Research*, 108(11),2530, doi:10.1029/2003JB002536.