

熱・水・応力・化学連成解析モデルによる天然バリアの長期透水特性予測

愛媛大学大学院 学生会員 ○緒方奨 愛媛大学大学院 正会員 安原英明
愛媛大学大学院 正会員 木下尚樹

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分システムの性能を考える上で、天然バリアである廃棄体周辺岩盤における水理学特性の長期挙動予測は必要不可欠である。周辺岩盤を含むニアフィールド環境では熱・水・応力・化学に関する複数の物理・化学現象が相互に影響し合う場が形成される¹⁾。特に、岩石を構成する鉱物の溶解・沈殿反応等の地化学作用が岩盤の水理学特性に大きな影響を及ぼすと考えられる。既往のニアフィールド解析モデルは、鉱物溶解・沈殿現象のうち、粒子自由表面における溶解・沈殿は考慮しているが、粒子接触部の鉱物溶解現象は考慮していない。そこで、本研究では、粒子自由表面における鉱物溶解・沈殿現象と共に粒子接触部での鉱物溶解現象（圧力溶解）を考慮した熱・水・応力・化学連成解析モデルを開発し、周辺岩盤の透水特性の長期挙動予測を行うとともに、圧力溶解現象が岩盤の透水特性に与える影響を評価する。

2. 解析モデル

解析モデルは、飽和条件の多孔質岩盤を計算領域としており、ダルシー則を用いた流動方程式、熱エネルギー方程式、化学種輸送方程式、応力弾性則、応力つり合い式といった複数の支配方程式で構成される。透水性評価に関しては、Kozeney-Carman 式²⁾を用いた次式で透過率を算出する。

$$k(t) = k_i \cdot \frac{(1-\phi_i)^2}{(1-\phi(t))^2} \left(\frac{\phi(t)}{\phi_i} \right)^3 \quad (1)$$

ここで、 $k(t)$ ：任意時間 t における透過率 [m^2]、 k_i ：初期透過率 [m^2]、 ϕ_i ：初期空隙率 [-]、 $\phi(t)$ ：任意時間 t における空隙率 [-] である。岩盤は 100 % quartz の珪質堆積岩からなると仮定している。解析領域は図 1 に示すような地表面から深度 700 m までを設定している。解析期間は 10000 年を設定している。

3. 解析結果

3.1 透水性経時評価

得られた数値解析の結果から、圧力溶解現象の有無が廃棄体周辺岩盤の透水性経時変化に及ぼす影響を評価する。初期条件および 10000 年後の透過率を表すコンター図を図 2 に示す。図より、圧力溶解を考慮しない場合は、透過率はほとんど変化していないが、圧力溶解を考慮した場合は、10000 年間で最大 1 オーダー程度の透過率低下が確認できる。これは空洞周辺の

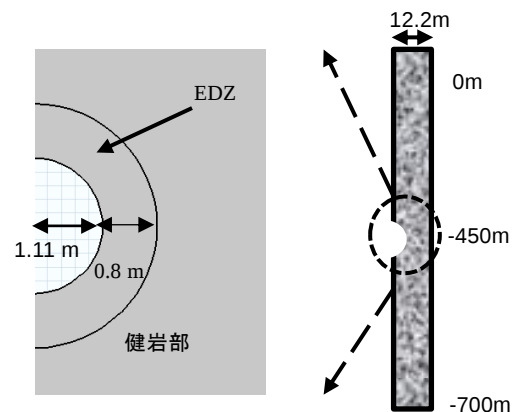


図 1 解析領域

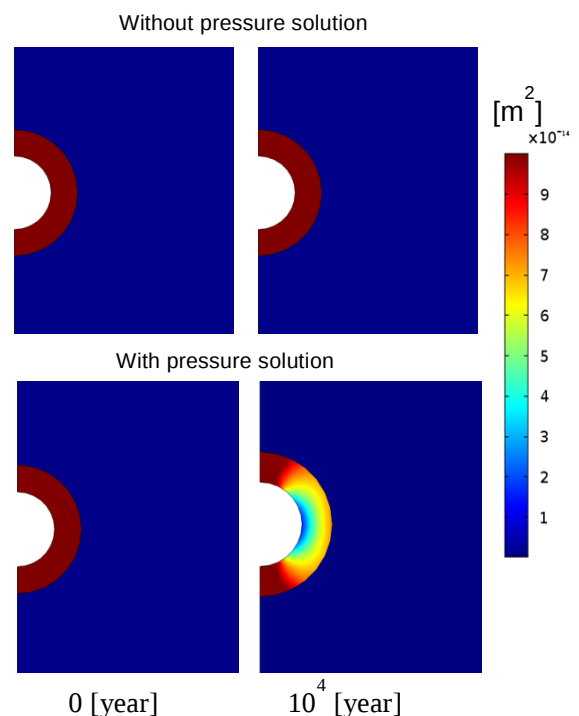


図 2 透過率経時変化

EDZ で圧縮応力が増加し圧力溶解現象が顕在化したためである。次に、圧力溶解の影響度をより詳細に把握するため、スプリングライン延長線上の観測点 No. 1 ～No. 4 の 4 点（図 3）を抽出し、透過率の経時変化について言及する。圧力溶解を考慮しない場合と、考慮した場合の各計測点における透過率変化を図 4 に示す。図より、圧力溶解を考慮しない場合は、観測 4 点において透過率の変化はない。一方、圧力溶解を考慮した場合は、空洞最近傍点において 10000 年で透過率は約 1 オーダー程度の低下が観察されている。しかし、その影響は限定的で空洞から離れるほど小さくなり、坑道離間距離（24m）の 1/4 の距離である 6.1m 離れるとその影響は確認できない。

3.2 パラメトリックスタディ

圧力溶解の駆動を左右する臨界応力の値を変化させ、周辺岩盤の透水性経時変化に及ぼす影響を検討する。臨界応力は、対象岩石によって大きく変化すると予想されるため、値の範囲を広く設定し、15 MPa, 50 MPa, 80 MPa の 3 通りで解析を実施した。15 MPa, 50 MPa, 80 MPa の条件に対する圧力溶解を考慮した場合の空洞最近傍点における透過率の経時変化を図 5 に示す。図より、臨界応力が小さいほど、透過率の減少程度は低下し、結果的に図中の黄色の領域内で透過率は変化すると予想される。つまり、圧力溶解現象は設定する臨界応力に大きく依存し、その結果として岩盤の透水性経時変化に及ぼす影響は顕著であると考えられ、適切な値を設定する必要があることが確認された。

4. おわりに

提案モデルによる数値解析結果から、廃棄体周辺岩盤は、圧力溶解現象の影響により時間の経過に伴い空洞周辺の透水性が低下することが確認された。透過率低下の程度は、空洞最近傍点においては最大約 1 オーダーであった。また、臨界応力が圧力溶解による透水性変化量を大きく左右する要因の一つであることが判明した。

5. 参考文献

- 1) 鈴木英明, 中間茂雄, 藤田朝雄, 今井久, 九石正美: 熱-水-応力-化による緩衝材の地球化学環境の変遷に着目したニアフィールド長期挙動評価の一例, 原子力バックエンド研究, Vol.19, No.2, pp.39-50, 2012.
- 2) Bear, J.: Dynamics of Fluids in Porous Media, p.166, Dover Publications, Inc., 1972.

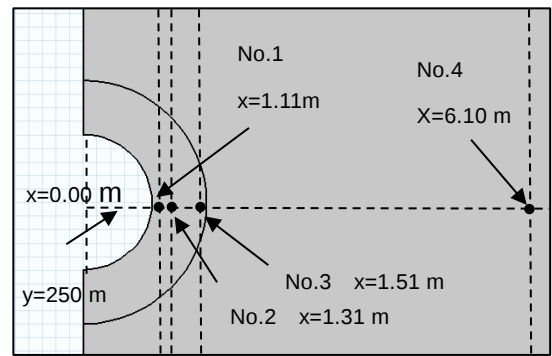


図 3 計測箇所

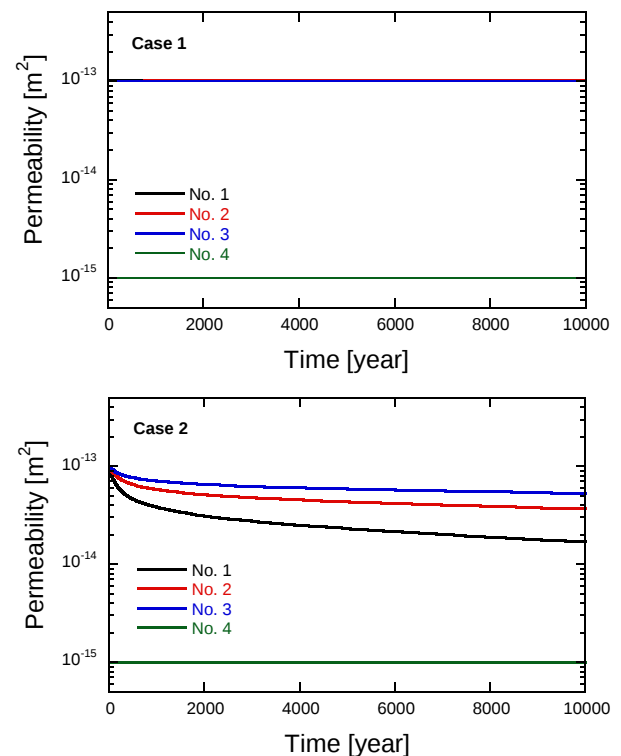


図 4 計測点別透過率変化

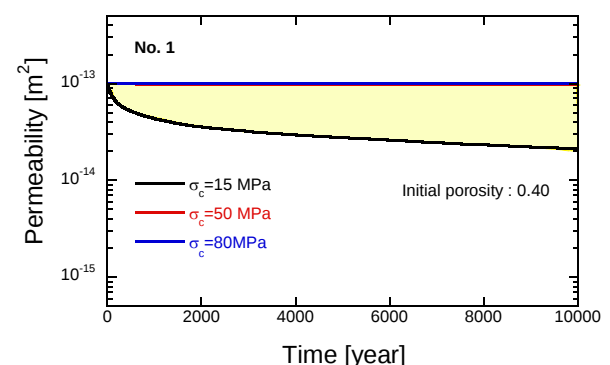


図 5 臨界応力別透過率変化