

## ベントナイトの膨潤挙動に伴う密度変化の数値解析

電力中央研究所 正会員 ○澤田 昌孝, 岡田 哲実, 西本 壮志

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分では岩盤内に廃棄体を収容したキャニスタを定置する際、キャニスタと岩盤の間にベントナイトを主材料とする緩衝材を配置する。この周辺では、廃棄体の発熱、周辺岩盤からの地下水の浸入、緩衝材の膨潤などの現象が相互に影響する。これらの連成現象を的確に予測し、緩衝材の温度履歴や飽和・膨潤後の緩衝材の密度分布・透水係数分布を評価することは合理的な設計、安全評価のために重要である。この予測評価のために、著者ら<sup>1)</sup>はベントナイトの膨潤挙動モデルを含む熱・水・応力連成解析コード”LOSTUF”を開発し、実験結果との比較を通して、モデルの検証・高度化に取り組んでいる。

## 2. 地下研究施設での原位置加熱浸透試験とその有限要素法解析

SKB（スウェーデン核燃料廃棄物管理会社）が自身の地下研究施設で実施した Canister Retrieval Test を対象とした解析を実施した。この試験では実スケールの縦置き処分孔におけるベントナイトの飽和過程を模擬し、ベントナイトへの加熱、人工的な浸潤が行われ、試験中は温度、相対湿度、応力等の6年間の経時変化<sup>2)</sup>が計測された。初期の乾燥密度が異なる4タイプの圧縮ベントナイト（MX-80、米国産）が配置され、隙間も存在したが、試験終了後の重量分析により膨潤挙動による隙間の充填、乾燥密度の均質化が確認された<sup>3)</sup>。解析では特にこの飽和過程におけるベントナイトの密度変化に着目した。図1に Canister Retrieval Test のイメージ図と有限要素法（FEM）解析でのモデル化について示す。キャニスタ（ヒーター）の中間高さの円盤を抽出し、キャニスタと岩盤の間に存在する隙間、リング状ベントナイト、粒状ベントナイトをモデルに含め、1次元軸対称でモデル化した。

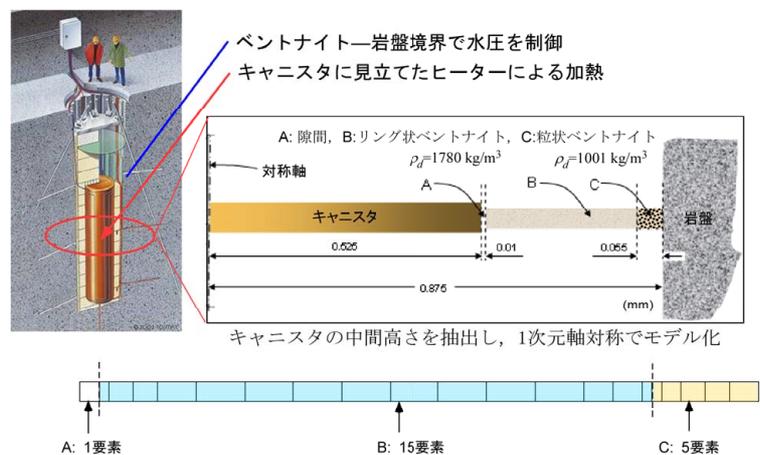


図1 Canister Retrieval Test のイメージと FEM 解析モデル

解析は熱・水・応力連成解析で実施し、温度に関する境界条件として両端に計測された温度履歴を与えた。水理境界は内側を不透水とし、外側に圧力水頭履歴を与えた。また、初期飽和度は隙間で1.0、リング状ベントナイトで0.85、粒状ベントナイトで0.07とした。

## 3. 膨潤挙動モデル

ベントナイトに対して不飽和条件においては全応力解析を適用した。拡散二重層理論に基づく膨潤評価式から作用している平均応力・間隙水圧での膨潤ひずみを評価し、それに相当する節点力を各要素に与えることで膨潤を表現した<sup>1)</sup>。不飽和時の最大膨潤ひずみは飽和時の最大膨潤ひずみにサクシヨンの変化率に乗じることで求められると仮定した。さらに、膨潤評価式から得られる応力-最大膨潤ひずみ関係からベントナイトの体積弾性係数を間隙比の関数として導き、解析に用いた。図2に膨潤モデルの解析の流れを示す。ポアソン比については、不飽和時～飽和の変化を想定し、(1) 0.3, (2)飽和度の一次関数 (0.3→0.49), (3) 0.49 の3ケースについて解析を実施した。

## 4. 解析結果

ここでは、(3)のポアソン比 0.49 での解析結果について示す。図3は実験終了後に求められた乾燥密度の分

キーワード 人工バリア, ベントナイト, 連成解析, 原位置試験, 高レベル放射性廃棄物処分

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL04-7182-1181

布と解析結果を示している。リング状ベントナイトでは膨潤・隙間の充填により乾燥密度が減少し(1780kg/m<sup>3</sup>→約1600kg/m<sup>3</sup>)、粒状ベントナイト部では圧縮され乾燥密度が増加した(1001kg/m<sup>3</sup>→1400kg/m<sup>3</sup>以上)が、解析においてもその挙動を再現できた。さらに間隙率と透水係数の関係を室内試験結果から与える

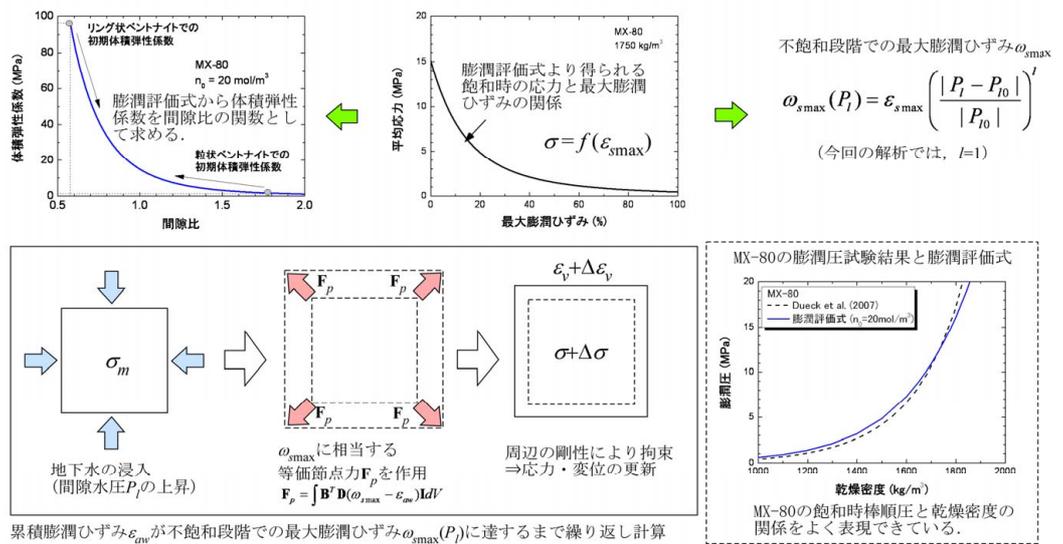


図2 拡散二重層理論に基づく膨潤評価式を用いた膨潤挙動計算の流れ

ること浸透挙動についても概ね再現できることを確認した。図4に鉛直応力の経時変化に関する計測値と解析結果の比較を示す。解析から得られた鉛直応力は計測値よりも大きく、試験直後の立ち上がり大きい結果となった。ただし、センサー直近のベントナイト密度が周辺よりも小さい状態であったことが分かっており、周辺の乾燥密度から約8MPaの膨潤圧が発生していた可能性がある<sup>3)</sup>。その場合、最終的な鉛直応力については、概ね再現できていると評価できる。解析結果を示した(3)のケースでは、膨潤圧は等方的に発生するが、(1)(2)のケースでは、拘束条件が半径方向と鉛直方向で異なることの影響を受け、鉛直応力が半径応力に対して大きくなり、鉛直応力は8MPaを上回る結果となる。拘束条件が方向により異なる場合に膨潤圧が等方的に発生するかについては確認が必要である。

5. おわりに

今後は、不飽和時の膨潤圧の発生などに関してベントナイトの力学応答モデルの高度化をさらに進め、岩盤・埋戻し材を含むニアフィールド全体の熱・水・応力連成挙動に対する解析コードの適用性の検証を行う。

本研究はスウェーデン SKB が主催する「人工バリアタスクフォース」におけるベンチマーク解析として実施した。

参考文献

- 1) 澤田昌孝, 岡田哲実, 長谷川琢磨: 高レベル放射性廃棄物処分地下施設の長期挙動予測評価プログラムの開発, 電力中央研究所研究報告 N05028, 2006.
- 2) Goudarzi, R., Börgesson, L., Röshoff, K. and Edelman, M.: Canister Retrieval Test, Sensors data report (Period 001026-060501) Report No:12, SKB International Progress Report, IPR-06-35, 2006.
- 3) Johannesson, L-E.: Canister Retrieval Test, Dismantling and sampling of the buffer and determination of density and water ratio, SKB International Progress Report, IPR-07-16, 2007.

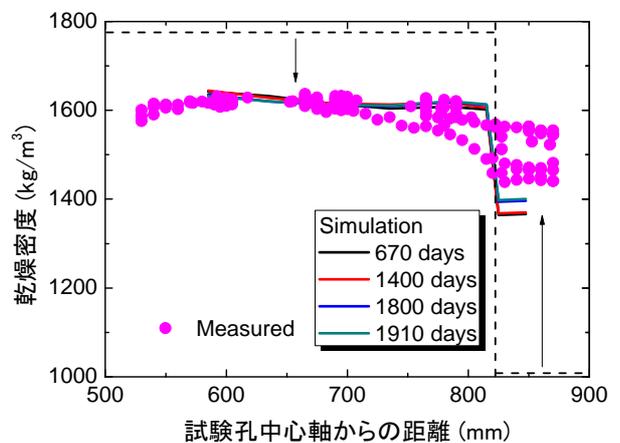


図3 試験終了後の乾燥密度分布と解析結果

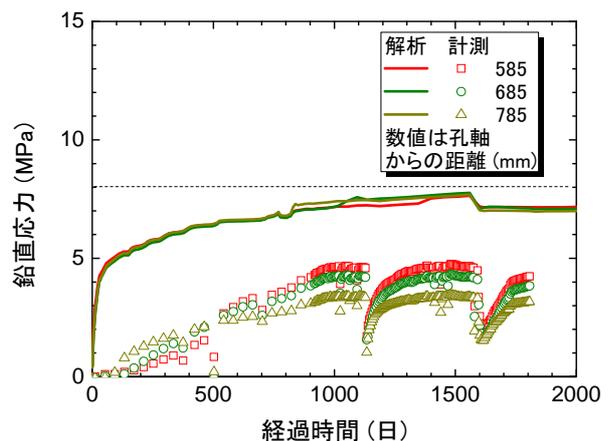


図4 鉛直応力の経時変化