

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 — 緩衝材の膨潤挙動と熱・水・応力連成挙動のモデル化 —

背景

高レベル放射性廃棄物処分における処分施設の周辺(ニアフィールド)では、長期に渡り、廃棄体の発熱、地下水の再冠水、緩衝材・埋戻し材の膨潤、岩盤のクリープなどが発生する。廃棄体からの熱は緩衝材、岩盤に熱ひずみを発生させるとともに、地下水の移動に影響を与え、それがさらに緩衝材の膨潤挙動に影響を与える。このように、処分施設周辺は熱・水・応力が連成する複雑な環境となり、設計・安全評価において、この長期的な連成現象を考慮する必要がある。実験では長期にわたる現象を検討することは困難であるので、熱・水・応力の連成の影響を予測するための数値解析コードを開発する必要がある。

目的

ニアフィールドでの長期挙動の評価のために、緩衝材の膨潤挙動を表現する数値モデルを提案し、それを含んだ熱・水・応力連成解析コードを開発する(図1)。

主な成果

1. 緩衝材膨潤評価式の数値モデル化

拡散二重層理論^{*1}に基づく膨潤評価式を用いた数値モデルを開発し、有限要素法解析(FEM)プログラムに導入した。膨潤評価式によって得られる膨潤圧と最大膨潤ひずみ関係を用い、作用圧力下における最大膨潤ひずみに相当する節点力を作用させることで膨潤挙動を表現した(図2)。また、間隙中の水の増加に伴い膨潤が進行すると仮定し、不飽和段階での膨潤の発現をモデル化した。開発した数値モデルは等体積下での膨潤圧の発生、等圧下での膨潤変形をともに表現することができる。本モデルは拡散二重層理論を用いていることにより、ベントナイトの化学組成や間隙水のイオン濃度などの影響評価に応用できる。

2. FEMに基づく熱・水・応力連成解析スキームの構築とその適用性の確認

熱・水の影響下での岩盤のクリープ挙動、緩衝材の膨潤挙動の相互作用を検討するための数値解析スキーム(2次元平面ひずみ、軸対称)を構築した。

開発した解析コードを室内におけるヒーター試験に適用した。解析結果はヒーター周辺に形成される温度場を再現し、それに伴う、ヒーター周辺に存在した間隙水の外側境界への移動やヒーター周辺の間隙率の増加を定性的に表現することができ、解析機能の有効性が確認された(図3)。

今後の展開

開発した解析コードを、室内試験や実規模の原位置試験に適用することでさらに検証・高精度化を図る。また、拡散二重層理論による膨潤モデルの特徴を生かし、化学反応・物質移行解析と連成させることにより、地下水環境が変化する場合のニアフィールドの挙動予測解析を実施する。

主 担 当 者 地球工学研究所 地圏科学領域 主任研究員 澤田 昌孝

関連報告書 「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-緩衝材膨潤評価式の数値モデル化と熱・水・応力連成解析スキームの構築-」 電力中央研究所報告: N05028

*1 : Gouy-Chapmanにより提案された理論。粘土粒子表面上の固定電荷に起因する電気力および水溶液中のイオン分布を均一にしようとする熱運動の釣り合いにより静電ポテンシャルが形成されるが、その静電ポテンシャルによる粒子間の反発力を評価できる

4. バックエンド

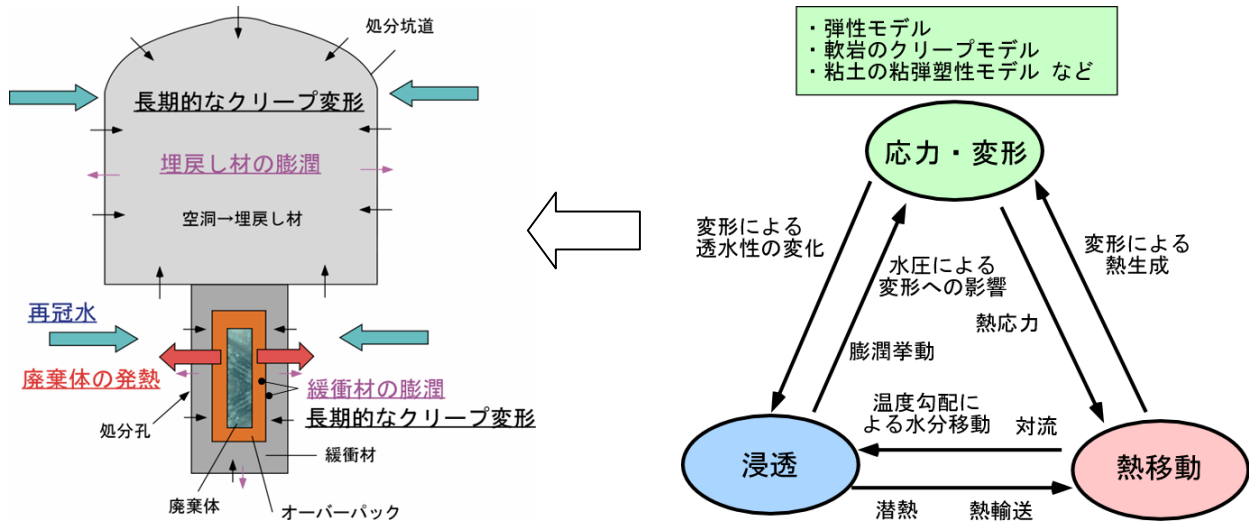


図1 ニアフィールドで発生する現象および熱・水・応力連成数値解析コードの概要

ニアフィールドは熱・水・応力の相互作用による複雑な環境となるが、その挙動を予測するための数値解析コードを開発した。

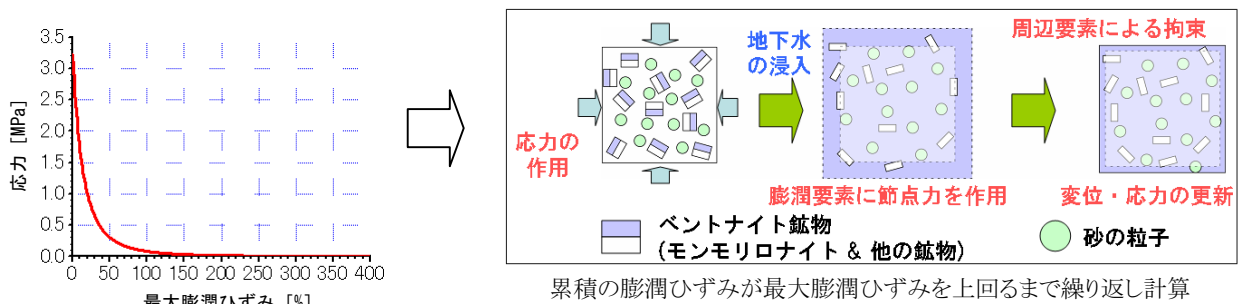


図2 緩衝材膨潤評価式の数値モデル化

拡散二重層理論に基づく膨潤評価式により左図のように作用応力と最大膨潤ひずみの関係が求まる。FEM解析においては、右図のように、作用応力下での最大膨潤ひずみを飽和度に応じて算出し、節点力として与える。その計算を、変位・応力を更新しながら、累積のひずみが最大膨潤ひずみを上回るまで繰り返す。

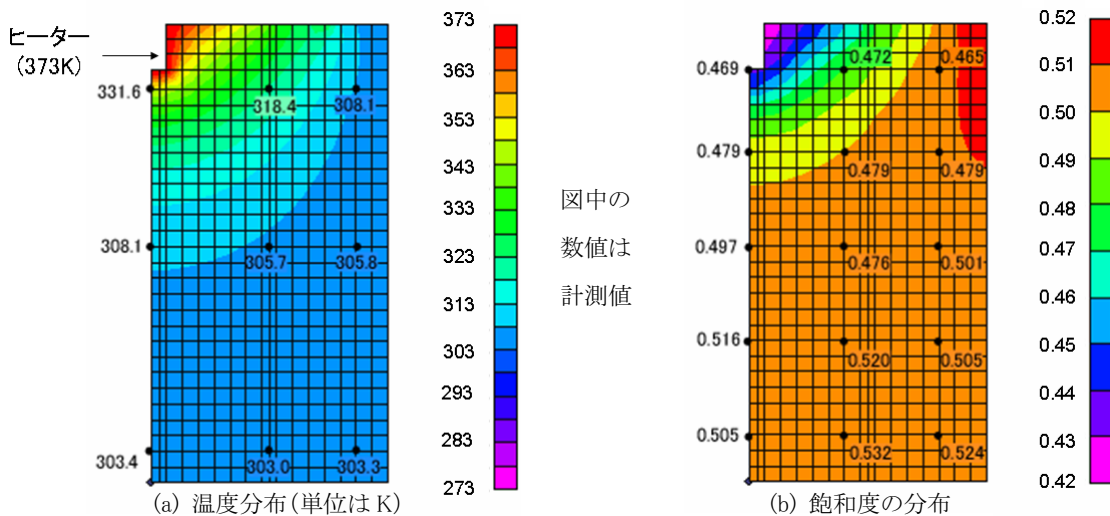


図3 ヒーター試験(Villar,1993、ベントナイトの円柱供試体に100℃のヒーター棒を挿入する)の解析
ヒーターを中心とした温度場が形成され、水が外側に向かって移動する様子が軸対称モデルによる解析で再現されている。