

## Ⅲ-14

## 緩衝材の膨潤応力のモデル化に関する検討

動力炉・核燃料開発事業団 藤田朝雄、千々松正和、菅野 毅  
 岩手大学農学部 小林 晃  
 ハザマ 茂呂吉司  
 東京大学農学部 中野政詩

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、人工バリアの一つである緩衝材には、止水性、自己シール性、熱伝導性等の機能が長期にわたり維持されることが期待されており、圧縮ベントナイトがその有望な候補材料と考えられている<sup>1)</sup>。各特性のうち、膨潤特性は人工バリアにおける応力挙動を把握する上で重要な特性の一つである。本報は、緩衝材の膨潤応力を解析的に表現することを目的に化学ポテンシャルを用いたモデルの適用性について論ずるものである。

## 2. 膨潤圧の定義

ベントナイト中にはモンモリロナイトが存在しており、浸潤により膨潤する。膨潤圧を $\pi$ とすると応力は次式で得られる。

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\epsilon_{kl} - \pi\delta_{ij} \quad (1)$$

ここで、 $C_{ijkl}$ は弾性係数テンソル、 $\epsilon_{kl}$ はひずみテンソル、 $\delta_{ij}$ はクロネッカーデルタである。また、初期体積含水率 $\theta_0$ のベントナイトの水分量が増加し $\theta_1$  ( $\theta_1 > \theta_0$ ) に変化したときに発生する膨潤圧 $\pi(\theta_1)$ は化学ポテンシャル $\psi(\theta)$ を用い次式により表わされ则认为<sup>3)</sup>。

$$\pi(\theta_1) = \psi(\theta_1) - \psi(\theta_0) \quad (2)$$

## 3. 一次元解析

解析は長さ2cmの一次元問題で、下端境界に水面が接している状態を考える。解析モデル図を図-1に示す。本検討で用いられる材料は、ベントナイト70%と砂30%の混合土であり、初期湿潤密度 $\rho=1.86\text{g/cm}^3$  (乾燥密度 $\rho_d=1.6\text{g/cm}^3$ )、初期体積含水率16%である。解析に用いたパラメータを表-1に示す。また、水蒸気の水分拡散係数 $D_v$ 、液状水移動を表す比透水係数 $Kr$ を図-2に、不飽和水分特性(化学ポテンシャル) $\psi$ を図-3に示す。

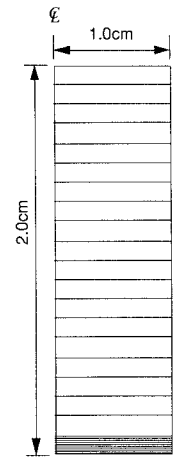


図-1 解析モデル図

表-1 解析に用いたパラメータ

| 弾性係数(gf/cm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 飽和透水係数(cm/s)          |
|---------------------------|-------|-----------------------|
| $2.7 \times 10^5$         | 0.3   | $4.0 \times 10^{-11}$ |

図-4に各節点における化学ポテンシャルの経時変化を示す。図の凡例は供試体下端部からの高さを示す。同図より、供試体下部から水が順次浸潤している様子が分かる。図-5は、式(2)の定義に基づき各要素における膨潤圧 $\pi$ を算定した結果である。図-4と図-5は全く同傾向を示しており、また最終的な膨潤圧の値は初期に保持していた化学ポテンシャルの値となっている。図-6は各節点における鉛直変位の経時変化である。

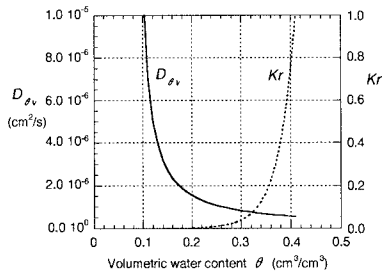


図-2 水分拡散係数と不飽和透水係数

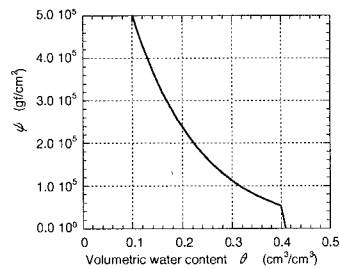


図-3 不飽和水分特性

同図より、初期の段階では供試体下部に発生した膨潤圧により上部の節点は上方向に変位をしているが、膨潤圧の発生位置が上に変わっていくにつれ逆に下方向に変位をしている。そして、全ての要素で膨潤圧が発生した時点では変位は0になっている。また、変位は供試体の中心部で最も大きくなっている。

#### 4. 膨潤応力の算定

供試体内部において膨潤圧が発生したときに拘束境界面に作用する応力をここでは膨潤応力と定義する。膨潤応力の値は必ずしも膨潤圧とは等しくならない。一つには膨潤圧の定義が、ベントナイト100%での定義であるということが上げられる。しかし、ベントナイト100%の場合でも以下に示すようなベントナイトの微視的構造による影響等により膨潤応力の値は膨潤圧とは等しくならない。1) 層状体外のマクロ間隙による影響、2) 粘土の配向による影響、3) 膨潤に寄与する粘土以外の粒子による影響

したがって、膨潤応力に寄与する膨潤圧 $\pi$ は膨潤圧 $\pi$ にある係数を乗じた次式で表される。

$$\pi' = F\pi \quad (3)$$

現在のところ、係数 $F$ を理論的に求めることは困難であるので、ここでは実測の膨潤応力のデータから $F$ を求める。図-7がその結果である。算定された $F$ の値は0.027であった。同図より、膨潤応力は浸潤後早い時間から測定されているが、解析結果もかなり精度良くこれを再現しているといえる。

#### 5. おわりに

熱-水-応力連成モデルの改良を目的とし、膨潤応力を考慮した連成解析を実施した。その結果以下の様な知見が得られた。

- 1) 本報で定義した膨潤圧は、不飽和浸透特性に大きく依存する。また、初期の含水量も重要なパラメータとなる。
- 2) 供試体内部に発生する膨潤圧は拘束境界面に作用する膨潤応力と必ずしも一致しない。今回、要素試験の結果からキャリブレーションを行なったところ、拘束境界面に作用する膨潤応力は供試体内部に発生する膨潤圧の0.027倍であった。

#### 参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団；高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度一、1992。
- 2) Fujita, T., etc. ; Phase2 Test-Case Big-Ben experiment, DECOVALEX, 1994.
- 3) 中野政詩；土の物質移動学、東京大学出版会、1991。

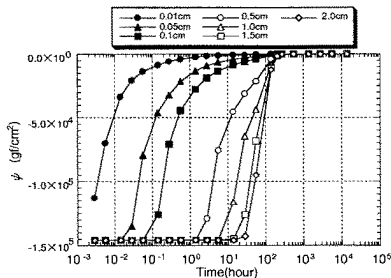


図-4 化学ポテンシャルの経時変化

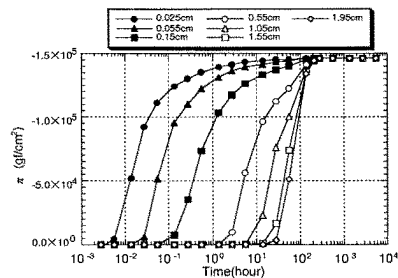


図-5 膨潤圧の経時変化

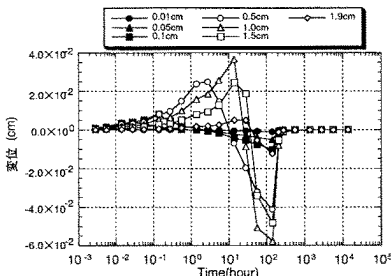


図-6 変位の経時変化

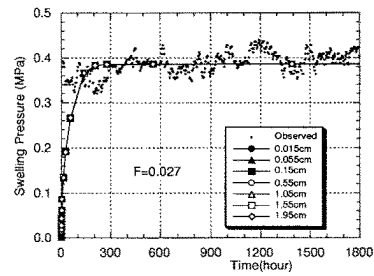


図-7 膨潤応力の実験結果と解析結果の比較