

## 飽和ベントナイト供試体の吸水による側方膨潤シミュレーション

神戸大学 学生会員 ○入江 弘樹  
 神戸大学 学生会員 伊藤 真司  
 神戸大学 正会員 橘 伸也  
 神戸大学 正会員 飯塚 敦

## 1. はじめに

原子力発電によって生じた放射性廃棄物を処分する方法として、地層処分が有力である。地層処分では、岩盤からなる天然バリアと人工的に作られた人工バリアを組み合わせた多重バリアシステムにより放射性廃棄物を長期にわたり遮蔽し、人間の生活環境から隔離する。廃棄体回りの緩衝材として、ベントナイトが用いられる。ベントナイトには、周囲に生じうる亀裂や隙間をその膨潤によって充填・修復する機能が求められる。この機能を発揮するためには、地下水を吸水し膨潤しなければならず、ベントナイトの乾燥密度の低下を伴う。加えて、ベントナイトの飽和化・高含水化は一様に起こらないため、乾燥密度も時間とともに変化し、ベントナイト緩衝材の乾燥密度の分布が不均一になることが考えられる。ベントナイト緩衝材の性能を評価するためには、緩衝材の乾燥密度の分布が飽和化・高含水化に伴ってどのように変化するかを定量的に把握・予測する必要がある。本研究では、側部に隙間がある円筒ベントナイト供試体を対象として、側方向に膨潤する供試体の膨潤シミュレーションを実施し、定常状態に至るまでの供試体の状態変化を解析する。

## 2. 解析条件

## (1) 解析概要

土粒子密度  $\rho_s = 2.78(\text{Mg}/\text{m}^3)$  の飽和ベントナイト MX-80 を解析対象とする。有限要素法を用い、円筒供試体の中心を軸として、軸対称条件で解析を実施する。境界条件と解析に使用した要素メッシュを図1に示す。本解析では、ベントナイト供試体と試験容器内壁との隙間を 8mm (Case1), 10mm (Case2) として、2 パターンのシミュレーションを実施する。

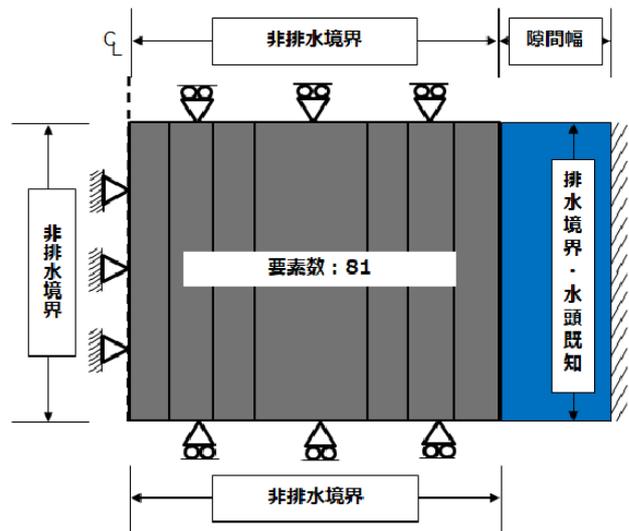


図1 有限要素モデルおよび境界条件

## (2) 解析に用いるモデル

解析では、等方除荷時にも塑性変形が生じることを仮定した「塑性膨潤」の考え方を導入した修正Cam-clayモデルを土骨格の弾塑性構成モデルとして用いる。間隙水の流動則についてはDarcy則を用いるが、透水係数の乾燥密度依存性を考え、Börgesson et al. (1995) による透水係数モデル<sup>1)</sup>を採用する。その他の解析に用いたパラメータは、既往の研究と同様である<sup>2)</sup>。

## 3. 解析結果

## (1) 側方変位

側方変位の経時変化を図2に示す。供試体は側面からの吸水とともに側方膨潤し始め、2 ケースとも隙間幅だけ膨潤し、その後体積変化は拘束され変位が一定になる。隙間を膨潤するのにかかった日数は、Case1が1.48日、Case2が2.31日である。隙間充填に至るまでの膨潤速度は、徐々に緩慢になることが図から分かる。

キーワード 放射性廃棄物処分, ベントナイト, 数値解析

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL078-803-6281

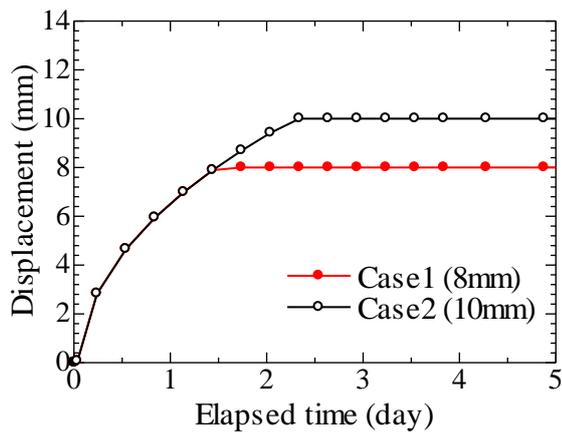


図2 側方変位の経時変化

## (2) 供試体内部の側圧分布

図3, 図4は, 吸水から十分に時間が経過した定常状態における, 供試体内部の全応力と有効応力の側方向成分, および, 間隙水圧の分布である. 縦軸に応力, 横軸は中心からの距離を半径で除して示している. 定常状態では, 間隙水圧が供試体のどの部分においてもゼロになるため, 有効応力と全応力は同じ値になる. Case1 では, 供試体の膨潤白となる隙間幅が小さく, 膨潤後の供試体の平均乾燥密度が高いため, 平衡状態における全応力がより大きく発生するようである.

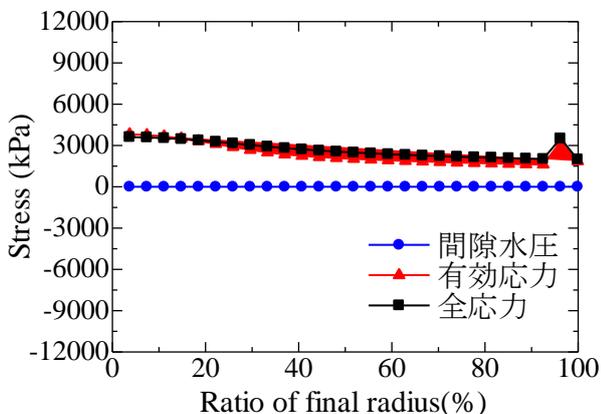


図3 供試体内の側圧分布 (Case1)

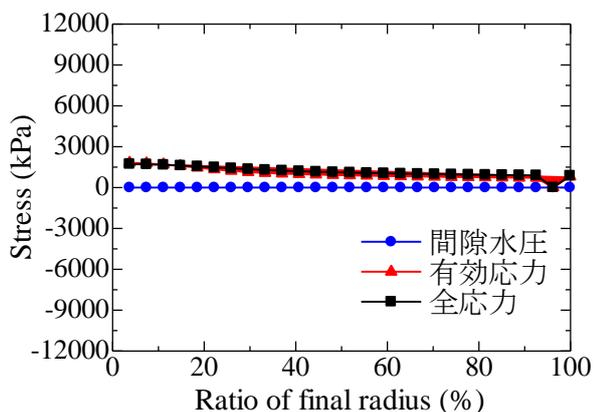


図4 供試体内の側圧分布 (Case2)

## (3) 間隙比の経時変化

間隙比の経時変化を図5, 図6に示す. 初期の供試体中心部からの距離が8, 16, 24, 32mmの位置の間隙比を示している. 両ケースとも, 吸水面に近い供試体側部から早期に膨潤し, 時間の経過に伴って内部にも膨潤が及ぶことがわかる. 供試体の膨潤により隙間が塞がると, 中心付近では膨潤が継続するが, 供試体全体の体積が一定に保たれるため, 側部において間隙比の低下, すなわち再圧密が生じている. しかし, 平衡状態に至っても内外の間隙比差は残留するようである.

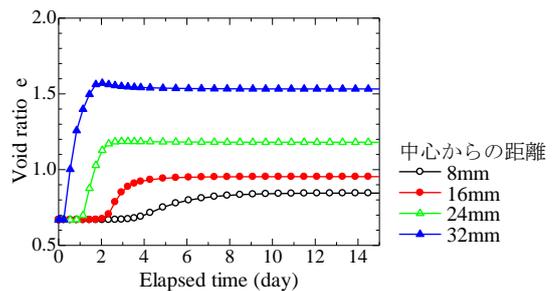


図5 間隙比の経時変化 (Case1)

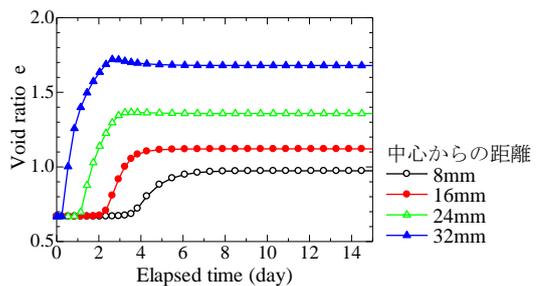


図6 間隙比の経時変化 (Case2)

## 4. まとめ

本研究では, ベントナイト MX-80 からなる円柱供試体を対象とし, 供試体が側面から吸水し, 側方に膨潤する過程を解析した. 隙間が充填するまでは吸水面に近い部分から膨潤し, 密度が不均化する. その後, 供試体が隙間を充填すると, 側部では再圧密し, 内部では引き続き膨潤する. 密度が均一化する方向に変化するが, 不均一のまま定常状態を迎えることが解析的に示された. また, 平衡膨潤圧が供試体の平均乾燥密度によって変化することも解析的に示された.

**参考文献** 1) Börgesson L. et al.: Modelling of the physical behavior of water saturated clay barriers. Laboratory tests, material models and finite element application. SKB TR-95-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1995. 2) 田中芳典: ベントナイト供試体の吸水膨潤・隙間充填メカニズムに関する解析的検討, 神戸大学工学部市民工学科, 2019