

## 埋め戻し材ブロックにおける自己シール性評価方法の検討

大成建設 正会員 ○磯 さち恵 正会員 白瀬 光泰  
 原子力環境整備促進・資金管理センター 非会員 川久保 政洋 正会員 八木 啓介

## 1. はじめに

地層処分では、埋め戻した坑道が卓越した地下水の流動経路にならないことが求められており、埋め戻し材の候補として掘削土とベントナイトを混合した材料が挙げられている<sup>1)</sup>。埋め戻しの施工技術オプションの一つとなり得るブロック工法は、一定の品質を確保した埋め戻し材ブロックを地上の施設で製作できることから、他の工法に比べて地下坑道での施工・品質管理を簡略化できると考えられる。一方で、埋め戻し材ブロックと坑道壁面の間に隙間が生じるため、埋め戻し材ブロックの膨潤変形による自己シール性の検討が必要となる。本稿では、埋め戻し材ブロックと坑道壁面との隙間に対し膨潤特性理論評価式<sup>2),3)</sup>を用いた自己シール性の評価方法について検討した。

## 2. 埋め戻し材ブロックにおける自己シール性評価の判断基準と最大膨潤変形率

本検討では、埋め戻し材ブロックの自己シール性の評価における判断基準は緩衝材ブロックの評価方法<sup>1)</sup>と同様とした。これは、膨潤変形量が隙間体積の2倍以上となること、すなわち式(1)を満足することとしている。

$$\varepsilon \geq 2\theta \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $\varepsilon$ ：緩衝材ブロックの最大膨潤変形率(%)、 $\theta$ ：隙間体積比(緩衝材周りの隙間体積/緩衝材ブロックの初期体積×100(%))である。緩衝材ブロックの自己シール性の評価では、図1(a)に示すように鉛直方向は完全に拘束されているものと仮定し、水平方向の膨潤変形のみを評価している。そのため、一次元膨潤変形試験<sup>4)</sup>から得られた最大膨潤変形率を指標としている。一方で、埋め戻し材ブロックの場合は、図1(b)に示すように鉛直と水平方向の二方向に膨潤変形することや、ブロックの自重による拘束の影響を考慮した最大膨潤変形率を考える必要がある。そこで、膨潤特性理論評価式<sup>2),3)</sup>を用いた埋め戻し材ブロックの最大膨潤変形率の算出方法について検討した。

## 3. 埋め戻し材ブロックの最大膨潤変形率の算出方法

「ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の膨潤特性理論評価式」

<sup>2),3)</sup>は、ベントナイトの一次元膨潤現象を対象としている。そのため、本検討では二方向に膨潤変形する埋め戻し材ブロックの最大膨潤変形率を求めるために、後述するように鉛直・水平方向それぞれに分けて計算した結果を組み合わせることとした。なお、奥行き方向に生じる隙間は鉛直・水平方向と比較して小さいと考えられるため考慮しないこととした。埋め戻し材ブロックの最大膨潤変形率については、以下に示す手順で求めた。まず、埋め戻し材ブロックが定置される範囲を任意のサイズで格子状に分割し(図2)、それぞれの格子中心位置における最大膨潤変形率を膨潤特性理論評価式から求めた。全領域は一律に飽和しているものと仮定し、格子内の最大膨潤変形率は一定とした。計算対象とする格子中心位置の座標を $(X_0, Z_0)$ としたとき、鉛直方向の拘束圧は $(X=X_0, Z>Z_0)$ の範囲に位置するブロックの自重、水平方向の拘束圧は $(X>X_0, Z>Z_0)$ の範囲に位置するブロックの自重相当とした。計算に用いた

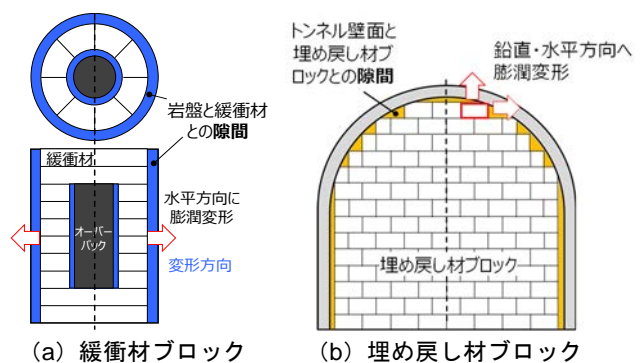


図1 緩衝材ブロック及び埋め戻し材ブロック周りの隙間の設定及び想定される膨潤変形方向

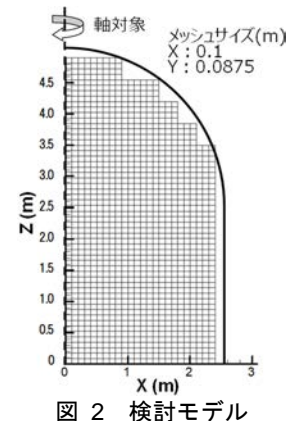


図2 検討モデル

表1 計算に用いた埋め戻し材ブロックの各パラメータの値

ベントナイト混合率 (%)	15
有効粘土密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	0.8
乾燥密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	2.04
モンモリロナイト含有率 (%)	57
間隙水のイオン濃度 (mol/m <sup>3</sup> )	20

キーワード 放射性廃棄物, 埋め戻し材ブロック, 自己シール性, 膨潤特性理論評価式

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 原子力本部 TEL 03-5381-5315

各パラメータを表 1 に示す。膨潤特性理論評価式より、鉛直・水平方向それぞれの最大膨潤変形率を算出し、これらを式 (2) 及び式 (3) を用いて案分した値を、二方向に膨潤変形したときの最大膨潤変形率とした。

$$\varepsilon_v = \varepsilon'_v \left( \frac{\varepsilon'_h}{\varepsilon'_v + \varepsilon'_h} \right) \quad \text{式 (2)}, \quad \varepsilon_h = \varepsilon'_h \left( \frac{\varepsilon'_v}{\varepsilon'_v + \varepsilon'_h} \right) \quad \text{式 (3)}$$

ここで、 $\varepsilon_v$ ：鉛直・水平方向に膨潤変形時の鉛直方向の最大膨潤変形率 (%),  $\varepsilon_h$ ：鉛直・水平方向に膨潤変形時の水平方向の最大膨潤変形率 (%),  $\varepsilon'_v$ ：水平方向拘束時の鉛直方向の最大膨潤変形率 (%),  $\varepsilon'_h$ ：鉛直方向拘束時の水平方向の最大膨潤変形率 (%)である。

#### 4. 埋め戻し材ブロックの自己シール性の検討

図 3 (a) に示す膨潤特性理論評価式より求めた鉛直方向と水平方向の最大膨潤変形率と式 (2) 及び式 (3) を用いて求めた二方向の最大膨潤変形率を図 3 (b) に示す。図 3 (b) に示した最大膨潤変形率と格子体積の積から各格子の膨潤変形量 (m<sup>3</sup>)を算出し、格子の列毎に鉛直方向の膨潤変形量の合計値、格子の行毎に水平方向の膨潤変形量の合計値と図 4 に示す隙間体積 (m<sup>3</sup>)から行及び列毎に自己シール性の判断基準となる膨潤変形量/隙間体積 (=γとする)を確認した。図 5 に坑道の隙間に対する埋め戻し材ブロックの膨潤変形量を可視化した図を示す。鉛直方向 (トンネル上部の隙間) においては 24 列中 19 列がγ>2 となったが、水平方向 (トンネル側部) では 56 行中 49 行がγ<2 となった。本評価方法を用いることで、既存のパラメータから短時間でかつ容易に埋戻し材ブロックにおける自己シール性を評価できる見通しが得られた。ただし、現実では浸潤過程における膨潤変形や水圧、坑道壁面による拘束といった条件が加わるため本評価結果の妥当性については、数値解析や模型実験等による確認が必要ある。

#### 5. まとめ

膨潤特性理論評価式を用いて求めた埋め戻し材ブロックの膨潤変形量と埋め戻し材ブロックと坑道間に生じる隙間体積の比を判断基準とした埋戻し材ブロックにおける自己シール性の評価方法を検討した。本評価方法を用いることで既存のパラメータから短時間でかつ容易に評価できる見通しが得られた。今後は本評価結果の妥当性について確認を行う予定である。

本報告は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「令和3年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業【JPJ007597】(地層処分施設閉鎖技術確証試験)」の成果の一部である。

**参考文献** 1) 原子力発電環境整備機構, 包括的技術報告書: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—, NUMO-TR-20-03, 2021. 2) Komine, H., and Ogata, N. (2003). New equations for swelling characteristics of bentonite-based buffer materials. Canadian Geotechnical Journal, 40, No. 2, pp.460-475. 3) Komine, H. and Ogata, N. (2004). Predicting swelling characteristics of bentonites. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 130, No. 8, pp.818-829. 4) 小峯秀雄, 緒方信英: 高レベル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋め戻し材の膨潤評価式の提案—砂とベントナイトの配合割合およびベントナイト中の陽イオンの種類・組成の影響—, 電力中央研究所報告, 1999.

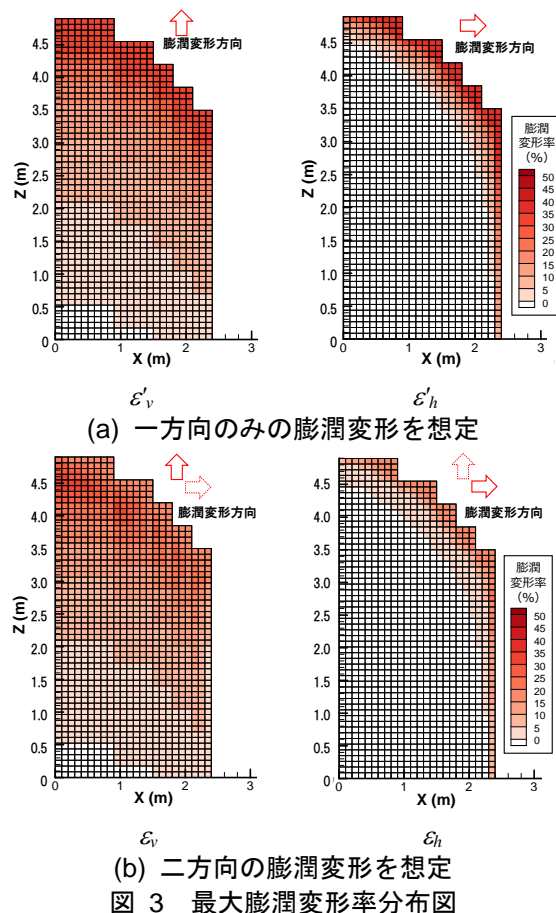


図 3 最大膨潤変形率分布図

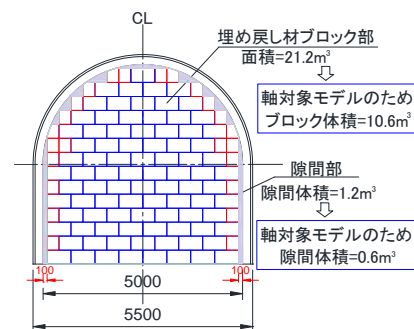


図 4 本検討のために仮設定した埋め戻し材ブロック及び隙間の体積

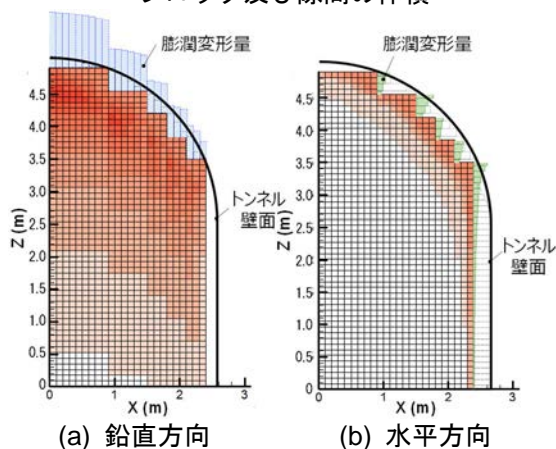


図 5 隙間に対する膨潤変形量