

地下空洞型処分施設性能確証試験箇所から採取したベントナイト層の吸水特性と水分拡散係数に及ぼす構造異方性および施工方法の影響

茨城大学 学生会員 ○小山浩勝

茨城大学 正会員 小峯秀雄 村上哲

原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 山田淳夫 秋山吉弘

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物のうち比較的放射能レベルの高い廃棄物は、地表から 50～100m 程度の深度に埋設処分する余裕深度処分が計画されている。この計画では、地下に空洞を構築し、天然バリアおよび人工バリアを組み合わせた多重バリアシステムが検討されている¹⁾。図1に余裕深度処分の人工バリア断面図を示す。人工バリアの一つである緩衝材には、低透水性を発揮する材料として、粒状ベントナイトの使用が有力視されている²⁾。地下処分施設の再冠水に伴い、この緩衝材は、不飽和から飽和へと遷移し、力学および化学的性質に変化が生じる。そのため、不飽和状態における緩衝材の水分の移動を把握する必要がある。現在までに、不飽和状態のベントナイトの浸潤による飽和度の変化は拡散現象としての評価できることが確認されており、吸水量と経過時間の関係から水分拡散係数を求める研究がなされている^{3),4)}。そこで本研究では、含水比を調整したベントナイト GX(クニミネ工業製・クニゲル GX)を用いて、膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験を実施するとともに、水分拡散係数として評価した結果における施工後の構造異方性および施工方法の影響を調査した。

2. 使用した試料および供試体作製方法

本研究では、ベントナイトGXを施工材として地下空洞型処分施設性能確証試験において施工された緩衝材から採取した供試体を使用した。同施設における緩衝材の施工方法には、転圧工法および吹付け工法がある。施工方法により粒状ベントナイトの最大粒径が異なり、吹付け工法では5mm、転圧工法では10mmを使用した^{5),6)}。表1にベントナイトGXの基本的性質を示す⁷⁾。図2に供試体の採取位置を示す。供試体は、トリミングにより直径60mm、高さ10mmに成形した。図3にトリミングの方向の概念図を示す。トリミングの方向は、図3に示すようにコア軸に対して水平方向および垂直方向とした。

3. 膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験の概要³⁾

図4に膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験装置を示す。本試験は、SUS316L ステンレス製リングにより供試体の側方への膨潤変形を拘束し、クランプノブで固定したピストンにより鉛直方向への膨潤変形を抑制した状態において、供試体への蒸留水の供給量と膨潤圧を経過時間ごとに同時に測定するものである。供試体への給水は、膨潤特性試験装置に接続した二重管ビュレットから行った。給水開始直後から、ビュレット管内の水の減少量は、目視によって体積変化を測定すると共に、差圧計を用いて水頭の変化を測定した。試験期間は膨潤圧がほぼ定常状態に達すると考えられる7日間(10080min)とした。

4. 試験結果の整理方法および水分拡散係数の算出方法

図5に試験結果の整理方法の概念図を示す。ベントナイトの吸水量は、経過時間の平方根の一次関数として表すことができることから^{3),4)}、初期のビュレット管内の水の減少量を式(1)で近似した。また水分拡散係数 D は、式(1)および拡散方程式より導いた式(2)から算出した^{3),4)}。

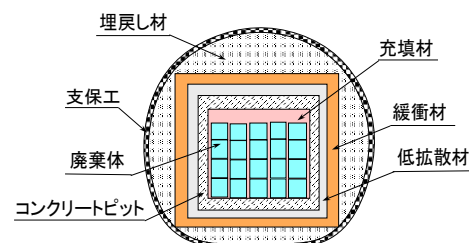


図1 余裕深度処分の人工バリア断面

表1 ベントナイトGXの基本的性質^{7),8)}

最大粒径 $D_{max}(mm)$	5	10
タイプ	Na 型	Na 型
土粒子の密度 (Mg/m^3)	2.73	2.65 ⁷⁾
液性限界(%)	373.0	344.4
塑性限界(%)	41.1	23.6
塑性指数	331.9	320.8
モンモリロナイト含有率(%)	50.0	48.6

モンモリロナイト含有率は、純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量 140 (mmol/100g)を基準に算出された値である。

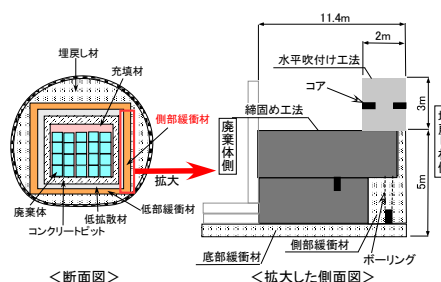


図2 供試体の採取位置

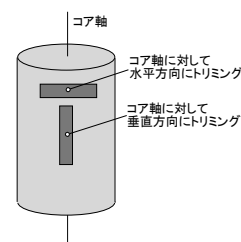


図3 トリミングの方向の概念図

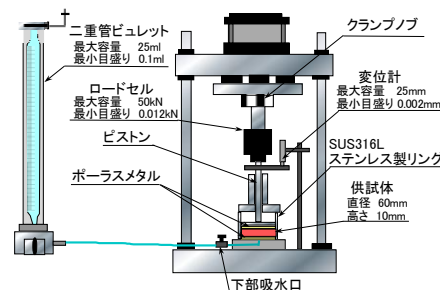


図4 膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験装置

$$Q = a\sqrt{t} + b \quad \cdots (1) \quad D = \left(\frac{a}{n_e' A} \right)^2 \quad \cdots (2)$$

ここで、 a は単位時間 $\sqrt{t}$ あたりの吸水量($\text{m}^3/\sqrt{\text{s}}$)、 b は試験容器底板への流入量(mL)、 n_e' は吸水に対する有効間隙率(初期体積含水率と飽和状態の体積含水率の差)、 A は供試体の断面積(m^2)である。また、測定値から $b(\text{mL})$ 、給水開始時における試験容器底板への流入量)を差し引いた値を供試体の吸水量とする。

5. ベントナイト系緩衝材の吸水特性

図6に吸水量と経過時間の関係を示す。転圧工法においてコア軸に対して水平方向および鉛直方向にトリミングした際、吸水量は同程度となった。吸水量は、いずれの施工方法においても、3000分程度まで急な上昇する傾向を示した。約3000分以降の吹付け工法の吸水量は、転圧工法よりわずかに差が生じている。

6. ベントナイト系緩衝材の水分拡散係数

6.1 水分拡散係数に及ぼす構造異方性の影響

図7にトリミングの方向が異なる場合の水分拡散係数と初期乾燥密度の関係を示す。転圧工法のコア軸に対して水平方向にトリミングした際の水分拡散係数は、 $6.75 \times 10^{-10} \sim 7.65 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ であり、コア軸に対して垂直方向にトリミングした際の水分拡散係数は、 $7.67 \times 10^{-10} \sim 1.76 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ となり同程度となった。また、水平吹付け工法のコア軸に対して水平方向の水分拡散係数は、 $5.28 \times 10^{-10} \sim 7.59 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ であり、コア軸に対して垂直方向の水分拡散係数は、 $4.59 \times 10^{-10} \sim 6.70 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ となり同程度となった。そのため、水分拡散係数に及ぼす構造異方性の影響は小さいと考えられる。

6.2 水分拡散係数に及ぼす施工方法の影響

図8に転圧工法および吹付け工法により施工されたベントナイトGXの水分拡散係数と初期乾燥密度の関係を示す。転圧工法により施工されたベントナイトGXの水分拡散係数は、 $9.85 \times 10^{-11} \sim 1.76 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ の値を示した^{9), 10)}。また吹付け工法により施工されたベントナイトGXの水分拡散係数は、 $2.38 \times 10^{-10} \sim 6.70 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ の値を示し、転圧工法の水分拡散係数の変動幅の範囲内であった。さらに、吹付け工法により施工されたベントナイトGXの初期含水比は18.1~19.4%であり、転圧工法は17.8~22.8%の値を示した。すなわち、吹付け工法は初期含水比のばらつきが転圧工法より比較的小さいことから、水分拡散係数の変動幅が比較的小さいと考えられる。以上より吹付け工法は、転圧工法より施工後の品質が比較的良好ということが確認できる。

7. まとめ

地下空洞型処分施設性能確証試験箇所から採取したベントナイト層の水分拡散係数に及ぼす構造異方性の影響は小さく、吹付け工法は転圧工法より施工後の品質が比較的良好ということが確認できた。なお、本研究は、経済産業省の委託による「平成24年度管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験」の成果の一部である。

参考文献

- 1) (社)土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会：余裕深度処分における地下施設の設計、品質管理および検査の考え方、社団法人土木学会、2009。
- 2) 伊藤弘志、千々松正和、村上利一：ベントナイト層の現場施工用材料の開発、土木学会第62回年次学術講演会講演概要、CS5-001, pp.161-162, 2007。
- 3) 遠藤さち恵、小峯秀雄、安原一哉、村上哲、関口高志、関根一郎：不飽和ベントナイトの吸水量と膨潤圧の同時測定可能な新しい実験手法の提案と水分拡散係数の評価、土木学会第65回年次学術講演会、CS7-021, pp.41-42, 2010。
- 4) 長谷川琢磨：ベントナイトの透水・浸潤特性への海水影響、電力中央研究所報告、N4005, 2004。
- 5) 小林一三、笹倉剛、田中俊行、中嶋誠門、戸井田克、上本勝広：吹付け工法によるベントナイト系人工バリアの構築、土木学会第60回年次学術講演会講演概要集、CS03-064, pp.127-128, 2005。
- 6) 石原輝行、藤原育郁、山本卓也、大沼和弘、石橋勝彦、寺田賢二、千々松正和、吉越一郎：地下空洞型処分施設性能確証試験における底部緩衝材の施工方法について、土木学会第63回年次学術講演会講演概要集、CS05-02, pp.171-172, 2008。
- 7) 伊藤弘志、千々松正和、村上利一：ベントナイト層の現場施工用材料の開発、土木学会第63回年次学術講演会、2007。
- 8) 小峯秀雄：メチレンブルー吸着量や液性限界・塑性限界の観点からの最大粒径10mmと2mmの粒状ベントナイトの膨潤圧特性に関する考察、土木学会第66回年次学術講演会、CS3-010, pp.19-20, 2011。
- 9) 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験報告書、pp.5.4-5.13, 2012。
- 10) 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験報告書、pp.9.21-9.23, 2011。

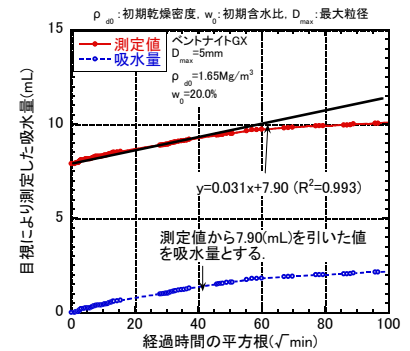


図5 試験結果の整理方法の概念図

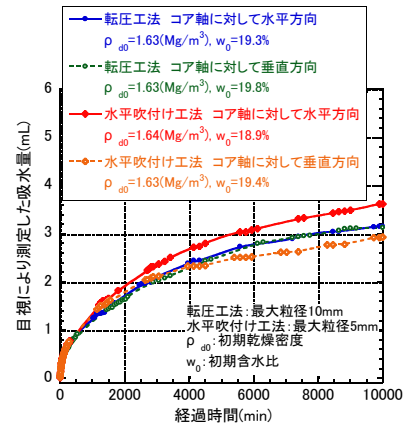


図6 吸水量と経過時間の関係

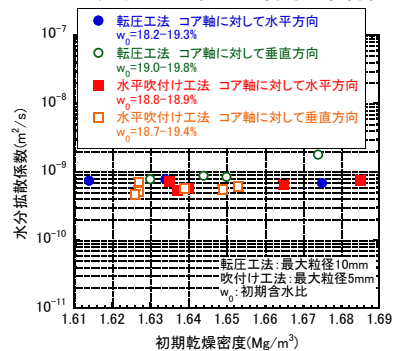


図7 トリミングの方向が異なる場合の水分拡散係数と初期乾燥密度の関係

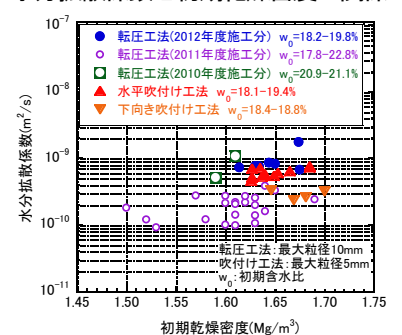


図8 転圧工法および吹付け工法により施工されたベントナイトGXの水分拡散係数と初期乾燥密度の関係