粒状ベントナイトの吸水特性とその水分拡散係数としての評価

茨城大学　学生会員　○小山田拓郎，正会員　小峯秀雄
茨城大学　正会員　村上哲，学生会員　遠藤さち恵
ハザマ　正会員　千々松正和
原子力環境整備促進・資金管理センター　正会員　中島貴弘

1. はじめに

放射性廃棄物の余裕深度処分における低透水層（緩衝材）に使用される材料として，粒状ベントナイトの利用が有力である．処分場の地下施設が再冠水する際，低透水層には地下水の浸入が想定される．地下水の浸入に伴って生じるベントナイトの膨潤圧は，人工バリアの力学的状態に影響を及ぼす要因の一つであるため，不飽和状態における緩衝材内の水分の移動を把握することは，人工バリアの性能を評価する上で重要とされている [1]．そこで本研究では，茨城大学において提案された膨潤に伴う吸水量測定試験装置 [2]を用いて，粒状ベントナイトの吸水特性を実験的に調査するとともに，水分拡散係数として評価した．

2. 使用した試料

本研究では，粒状ベントナイトであるベントナイト GX(クニミネ工業製・クニゲル GX，最大粒径 2mm に粒度調整したもの)および粉体状ベントナイトであるベントナイト A(クニミネ工業製・クニゲル V1)を使用した．**表 1** に各ベントナイトの基本的性質を示す [3)~5)]．供試体は直径 60mm，高さ 10mm の円柱形とし，油圧ジャッキを用いた上下方向からの静的締固め [5)]により作製した．作製した供試体の初期含水比は，ベントナイト GX で 5.2～5.4%，ベントナイト A で 8.0%であった．

表 1 各ベントナイトの基本的性質 [3)~5)]

ベントナイト	GX (最大粒径 2mm に粒度調整)	A
タイプ	Na 型	Na 型
土粒子の密度 (Mg/m^3)	2.65[4)]	2.79
液性限界(%)	355.1	458.1
塑性限界(%)	22.8	23.7
塑性指数	332.3	434.4
モンモリロナイト含有率(%)	47.1	57

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．

3. 膨潤に伴う吸水量測定試験の概要

図 1 に膨潤に伴う吸水量測定試験装置の概略図を示す．本試験は，供試体の膨潤変形を抑制した状態において，供試体の吸水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．最大容量 25mL，最小目盛り 0.1mL の二重管ビュレットから蒸留水を供試体に供給し，ビュレット管内の水分の減少量を供試体の吸水量として測定する．ビュレット管内の水分の減少量の測定は，目視による体積変化測定と同時に，最大容量 6200g，最小目盛り 0.01g の電子天秤による質量変化測定，または差圧計による水頭変化測定により行った．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 6～7 日間(8640～10080min)とした．また，供試体の体積変化を完全に抑制することは困難であるため，鉛直方向の微小な変位量を測定し，乾燥密度の補正を行った．

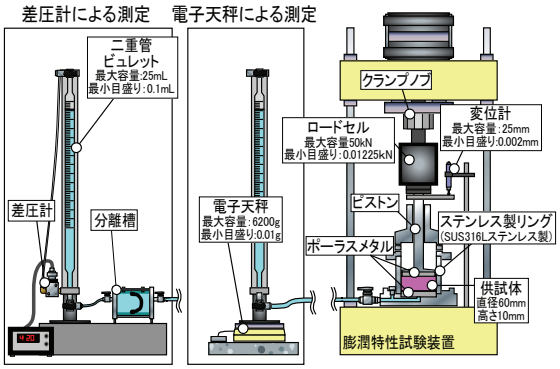

図 1 膨潤に伴う吸水量測定試験装置概略図

4. 粒状ベントナイトの吸水特性

図 2 および**図 3** にそれぞれ，乾燥密度 1.85Mg/m^3 程度のベントナイト GX およびベントナイト A の膨潤圧と経過時間の関係，吸水量と経過時間の関係を示す．**図 2** より，膨潤圧が定常化するまでの時間はベントナイト A で約 4500 分であるのに対し，ベントナイト GX では約 8000 分程度であった．膨潤圧の経時変化を比較すると，ベントナイト GX はベントナイト A に比べ，膨潤圧が定常化するまでに時間を要している．**図 3** より，吸水量の経時変化を比較すると，ベントナイト A は初期における吸水量の増加が比較的大きいが，徐々に増加傾向は緩やかとなり，試験終

キーワード　余裕深度処分，粒状ベントナイト，膨潤圧，吸水特性，水分拡散係数
連絡先　〒316-8511　茨城県日立市中成沢町 4-12-1　TEL：0294-38-5162

了時の累積吸水量は，ベントナイト GX の方が多くなっている．ベントナイト GX は粒状ベントナイトであることから，**図 4** に示すように，粒子内部に浸水し粒子自体を飽和させるのに，比較的長時間を要すると考えられる．したがって，ベントナイト GX は，膨潤圧および吸水量の増加が比較的長時間続いたものと考えられる．

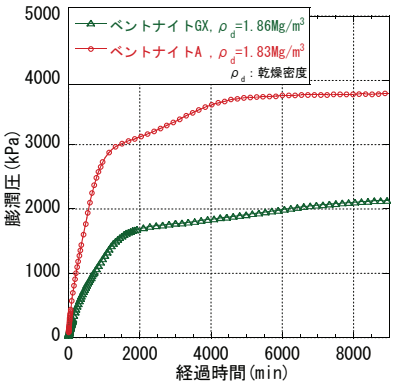

図 2 膨潤圧と経過時間の関係

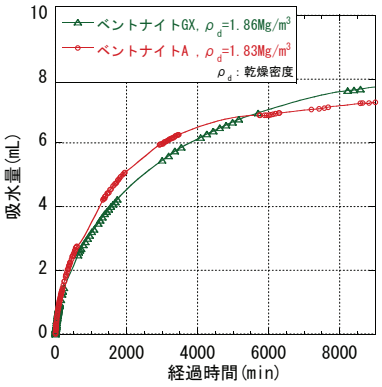

図 3 吸水量と経過時間の関係

5. 吸水特性の水分拡散係数としての評価

ベントナイトの吸水による水分移動を一次元の拡散現象として評価する場合，累積吸水量は $\sqrt{t}$ の一次関数として与えられる [2),6)]．**図 5** に示すように，試験により得られた吸水量を経過時間の平方根で整理すると，不飽和状態である初期の吸水量に直線部分が確認できる．この直線部分を式(1)により近似し，式(2)を用いて水分拡散係数を算出した [2)]．

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

ここで，a は単位時間 $\sqrt{t}$ あたりの供試体の吸水量，b は試験装置内への流入量，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 は供試体の断面積である．**図 6** に，本研究で得られたベントナイト GX，ベントナイト A の水分拡散係数および遠藤ら(2010)[2)]，長谷川(2004)[6)]により報告されたベントナイト A の水分拡散係数と乾燥密度の関係を示す．ベントナイト GX の水分拡散係数は，乾燥密度 1.54～1.86Mg/m^3 対して 3.38×10^{-10}～5.92×10^{-10}m^2/s であり，ベントナイト A のそれと比べ，やや低い値を示す傾向がある．しかし，ベントナイト GX の水分拡散係数は，ベントナイト A の水分拡散係数のばらつきの範囲内にあり，ほぼ同程度の値を示すと言える．

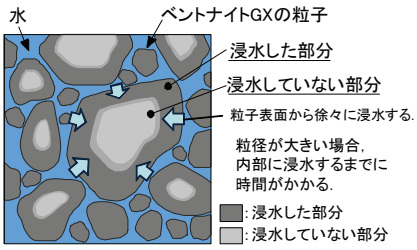

図 4 ベントナイト GX の吸水過程の模式図

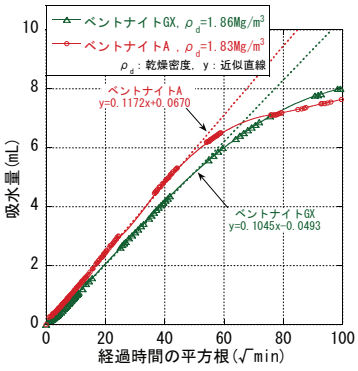

図 5 吸水量と経過時間の平方根の関係

6．結論

ベントナイト GX はベントナイト A に比べ，比較的緩やかかつ長時間かけて吸水し続ける傾向があることがわかった．得られた吸水特性を水分拡散係数として評価すると，ベントナイト GX の水分拡散係数は，ベントナイト A のそれとほぼ同程度の値を示した．

なお，本報告の一部データは経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等委託費(地下空洞型処分施設性能確証試験)」の成果である．

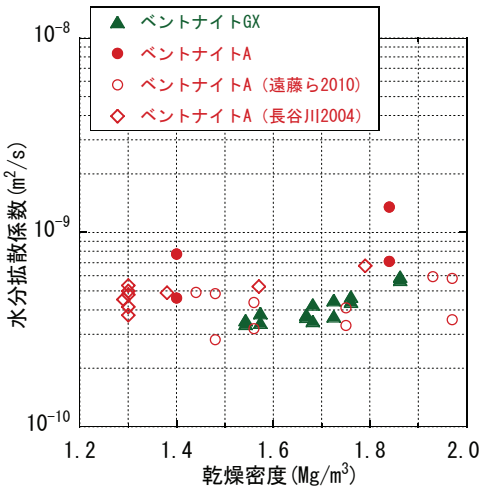

図 6 水分拡散係数と乾燥密度の関係

参考文献

1) 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水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方，社団法人土木学会，2008.　2) 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，CS7-021，2010.　3) 杉浦航，小峯秀雄，安原一哉，村上哲:ベントナイト原鉱石の膨潤特性に及ぼす初期含水比の影響，第 44 回地盤工学研究発表会，D-05，2009.　4) 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材料の開発，土木学会第 62 回年次学術講演会，CS5-001，2007.　5) 直井優，小峯秀雄，安原一哉，村上哲，百瀬和夫，坂上武晴:各種ベントナイト系緩衝材に及ぼす人工海水の影響，土木学会論文集，No. 785/III-70，pp.39-49，2005.　6) 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，N04005，2004.