海水環境に強いベントナイト系緩衝材の材料仕様の明確化

茨城大学　学生会員　○直井優，正会員　小峯秀雄
茨城大学　フェロー会員　安原一哉，正会員　村上哲
日本原子力発電（株）　正会員　百瀬和夫，坂上武晴

1.はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分に際し，緩衝材として用いることが有望視されているベントナイトの工学的特性は，蒸留水環境下での室内実験よる調査が大半であった．しかし，高レベル放射性廃棄物の処分地点の地下水には海水を含んでいる可能性があるため，ベントナイトの膨潤特性に及ぼす海水の影響を詳細に把握することが重要となってきている．本研究では，5 種類のベントナイトに対し，蒸留水および海水の環境で，鉛直圧 1000kPa の下における膨潤変形実験を行った．各水質環境下での実験結果を比較することで膨潤変形特性に及ぼす海水の影響を調査した．さらに，実験結果・考察に基づき，海水の影響を受けにくい緩衝材の材料仕様を明確にした．

表-1 各種ベントナイトの基本的性質

ベントナイト	A	B	C	D	E
名称	クニゲルV1	ボルクレイ	クニボンド	ネオクニボンド	MX-80
タイプ	Na型	Na型	Ca型	Na交換型	Na型
土粒子密度 (Mg/m^3)	2.79	2.84	2.71	2.68	2.88
液性限界(%)	458.1	565.0	128.7	453.3	437.3
塑性限界(%)	23.7	47.2	38.4	42.1	38.0
塑性指数	434.4	517.8	90.3	411.2	399.3
モンモリロナイト含有率(%)	57	71	84	71	80

表-2 使用した人工海水の Na, Ca, K, Mg イオン濃度

各陽イオン濃度(mol/m^3)			
Naイオン	Caイオン	Mgイオン	Kイオン
454.4	6.2	50.0	9.0

2. 実験概要

膨潤変形実験とは一定鉛直圧下における供試体の一次元膨潤変形量を測定する実験である．**表-1** に本実験で使用したベントナイトの基本的性質を示す．ベントナイト A,B,E は Na 型，ベントナイト C は Ca 型，ベントナイト D は Na 交換型である．上記ベントナイトを専用の締固め装置によりブロック状に成型し実験に用いた．供給水溶液は，蒸留水と人工海水（八洲薬品（株）製・アクアマリン）を使用した．**表-2** に人工海水の主要な陽イオン濃度の測定結果を示す．**図-1** に本実験で使用した実験装置の概要を示す．本実験では鉛直圧として 1000kPa を載荷した．実験後，一次元膨潤変形量を初期供試体高さで除し，百分率で表示したものを膨潤率ε_s (%)と定義し求める．膨潤率の時間変化に対し，双曲線近似を行い漸近線の値を最大膨潤率ε_{smax} と定義し，膨潤率を定量評価した．

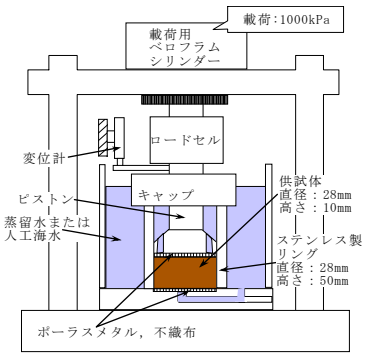


図-1 膨潤特性実験装置の概要

また，詳細な検討を行うため以下に定義する人工海水による最大膨潤率の低下率 $R\varepsilon_{smax}$(%)も算定し実験結果を整理した．

$$R\varepsilon_{smax} = \frac{\varepsilon_{smax-dw} - \varepsilon_{smax-sw}}{\varepsilon_{smax-dw}} \times 100\,(\%) \qquad \text{(低下を正とする)} \quad 式(1)$$

ここに，$\varepsilon_{smax-dw}$：蒸留水環境下の最大膨潤率(%)　$\varepsilon_{smax-sw}$：人工海水環境下の最大膨潤率(%)とする．実験方法の詳細に関しては参考文献1)を参照されたい．

3.膨潤変形特性に及ぼす人工海水の影響

図-2 に鉛直圧 1000kPa の膨潤変形実験により得られた各種ベントナイトの最大膨潤率と初期乾燥密度の関係を示す．**図-3** には，各種ベントナイトの人工海水による最大膨潤率の低下率と初期乾燥密度の関係を示す．**図-2** から，Na 型および Na 交換型であるベントナイト A,D,E

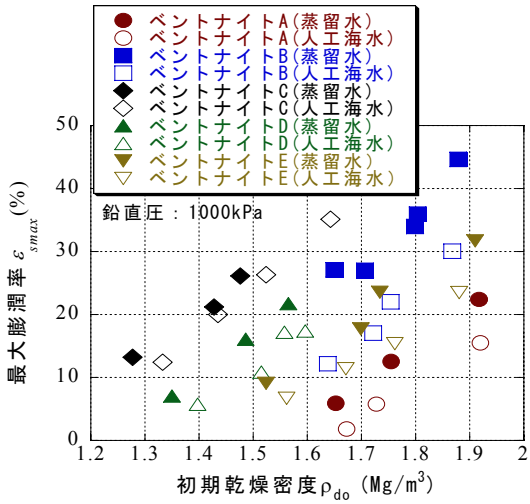


図-2 各種ベントナイトの最大膨潤率と初期乾燥密度の関係

キーワード　放射性廃棄物処分　ベントナイト　膨潤特性　人工海水
連絡先（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科　TEL：0294-38-5177）

は，蒸留水と人工海水における最大膨潤率の差異が,ベントナイトのモンモリロナイト含有率および初期乾燥密度によらず同程度であることが確認できる．図-3 から，全てのベントナイトにおいて初期乾燥密度の増加に伴い，人工海水による最大膨潤率の低下率が減少していることがわかる．また，同じ初期乾燥密度で比較すると，モンモリロナイト含有率の高いベントナイトほど人工海水による最大膨潤率の低下率が小さいことがわかる．以上のことから，鉛直圧 1000kPa の環境下の場合，Na 型および Na 交換型ベントナイトは，最大膨潤率の低下量の観点からベントナイトの膨潤変形特性へ及ぼす人工海水の影響を捉えると，ベントナイトの種類および初期乾燥密度によらず，ほぼ同程度の影響を受けるものと考えられる．また，低下率の観点から人工海水の影響を捉えると，初期乾燥密度が高いほど，また，モンモリロナイト含有率が高いほど，その影響は小さいと言える．

一方，Ca 型であるベントナイト C は蒸留水と人工海水における最大膨潤率の差異は小さく，最大膨潤率はほとんど低下しないことが確認できる．また，低下率に関しても 5 種類のベントナイトの中で最も低い値を示している．このことから，Ca 型ベントナイトの膨潤変形特性は人工海水の影響を受けにくいベントナイトであることがわかる．

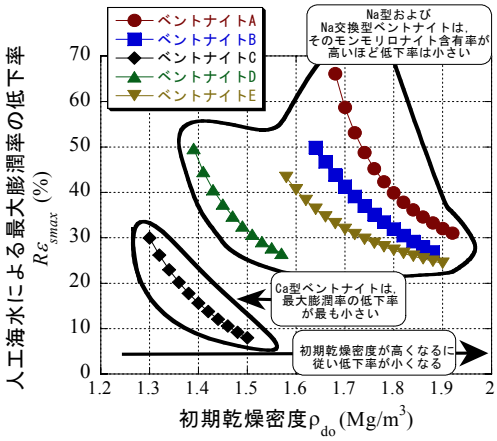
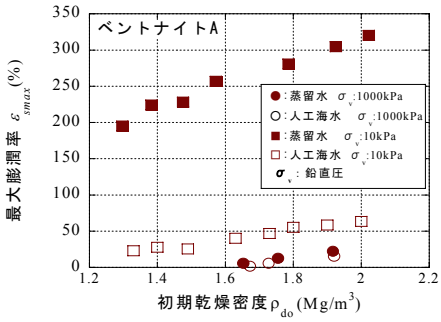


図-3 人工海水による最大膨潤率の低下率と初期乾燥密の関係

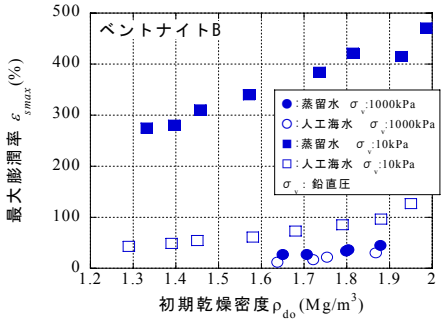
4.膨潤変形特性へ及ぼす人工海水の影響の拘束条件依存性

図-4(a)～(c)に，1000kPa および 10kPa の 2 種類の鉛直圧下におけるベントナイト A,B,C の最大膨潤率と初期乾燥密度の関係を示す．鉛直圧 10kPa の実験結果は参考文献 2)から引用した．これらの図から，Na 型であるベントナイト A,B の最大膨潤率は，鉛直圧が 10kPa の場合人工海水を供給することによって著しく減少している．しかし，鉛直圧 1000kPa の環境下では 10kPa の場合と比較して，人工海水と蒸留水の最大膨潤率の差異は小さい，またはほとんど確認できず，人工海水の影響が小さいことがわかる．このことから，Na 型ベントナイトの膨潤変形特性への人工海水の影響は，鉛直圧を高めることにより，大きく軽減できるものと考えられる．また，鉛直圧 1000kPa 以上の環境下では，低鉛直圧の環境下と比較し，人工海水の影響は極めて小さいことが推測される．

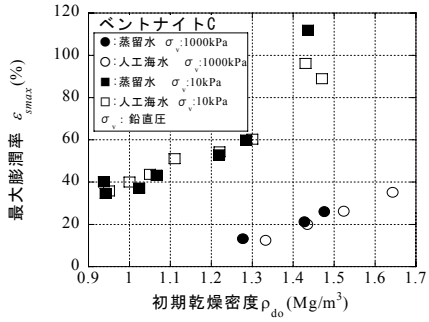
一方，Ca 型ベントナイトであるベントナイトCは鉛直圧が 10kPa，1000kPa の両環境下において人工海水供給による最大膨潤率の低下はほとんど認められないことがわかる．このことから，Ca 型ベントナイトの膨潤変形特性への人工海水の影響程度は，鉛直圧に依存しないことが考えられる．



(a)ベントナイト A



(b)ベントナイト B



(c)ベントナイト C

図-4 異なる拘束条件下における各種ベントナイトの最大膨潤率と初期乾燥密度の関係

5.海水の影響を受けにくい緩衝材の材料仕様

上述の実験結果および考察から，処分孔への海水の流入による緩衝材の工学的機能の低下を軽減するためには，モンモリロナイト含有率の高い Na 型ベントナイト，Ca 型ベントナイトを材料として用い，高い乾燥密度に締固め，隙間充填後 1000kPa 以上の圧力を発生するよう概略設計を行うことが有効である．

【参考文献】

1)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の膨潤特性に及ぼす人工海水の影響，土木学会論文集，投稿中．2)田中幸久，中村邦彦，小峯秀雄：ベントナイトの膨潤性に及ぼす人工海水濃度の影響，土木学会第 57 回年次学術講演会論文集，p 455, 2001.