

再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究（その2） ベントナイトの膨潤挙動に関する一考察

鹿島建設 正会員○小林一三, 正会員 戸井田克

原子力環境整備促進・資金管理センター 非会員 朝野英一, 正会員 須山泰宏, 正会員 中島 均

1. 背景および目的

高レベル放射性廃棄物地層処分等, 処分施設のベントナイト系人工バリアである緩衝材は, 水理, 力学, 化学の面から様々な性能が期待されているため, その要求性能も多岐に亘る. 一方, この緩衝材の建設・操業に関して, これらの各要求性能を満足しているかどうかを確認しながら施工を進めることは困難なため, 代替パラメータとして乾燥密度を採用し, 乾燥密度が所定の値よりも大きければ, 多岐に亘る要求性能は満足される^{例え}として施工管理を行うことが一般的に考えられている^{例え}. 代替パラメータである乾燥密度によって一律に目標品質が定められているために, 施工した緩衝材の様々な要求性能に対する余裕度(安全率)は各要求性能によって異なることになる^{例え}と考えられる. 一方, 緩衝材の施工方法に関しては, 様々な検討がなされており, 施工原理に起因した密度分布が発生することが明らかとなっている. しかしながら, 緩衝材は飽和すると膨潤によって均質化する(乾燥密度が均一になる)ため, 全体の乾燥密度が目標品質を満足していれば要求品質は満足するという考えが主流となり, 密度分布に関する議論はあまりなされていないのが現状であった. この均質化するという性質は, 基底間隔という微視的, かつ結晶構造をもつ鉱物レベルでは確認できるが, 連続体としてのベントナイト材料が弾塑性材料として挙動するとすれば, 力学的には応力履歴(土粒子構造骨格)などの影響を受けると考えられ, 均質化するというためには実験的に実証する必要がある. また逆に, 均質化しないのであれば, 均質化しなくても処分施設の閉鎖後の長期性能が担保されることを示す必要がある. そこで, 本報では, 再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究における全体計画²⁾の(a)施工品質(密度分布)の均質化の一環で, ベントナイトの膨潤後の残留密度分布の有無, およびその量を実験によって評価することを試みた.

2. 実験条件

本報では, 表-1 に示すような密度の異なる2つの供試体が膨潤によって均質化する過程を定量的に評価した. 表中には計画値と実測値が記載されている. 供試体の高密度側の乾燥密度は約 2.0 Mg/m^3 であり, 低密度側の乾燥密度は約 1.2 Mg/m^3 であり, 両者の平均乾燥密度は, 両供試体の体積が同じ($\phi 60\text{mm} \times h20\text{mm}$)であるため 1.6Mg/m^3 となる. 試験に使用した材料はクニゲル V1 にケイ砂を 30wt%加えたベントナイト混合土である. これまでに, このような密度の異なる供試体を一体化させた供試体を作成し, 飽和させ膨潤による均質化過程を観察する実験は過去に数多くなされてきたが, 供試体同士の界面の移動を正確に計測できないため, 均質化に至る過程を定量的に評価できておらず, また, ほとんどの試験においては均質化に至っていないのが現状である. この理由としては, 試験時間の短さを原因に挙げる研究が殆どであった.

表-1 密度分布が圧縮ベントナイトの膨潤量に及ぼす影響試験条件

試験ケース	高乾燥密度 (Mg/m^3)	低乾燥密度 (Mg/m^3)	有効ベントナイト 乾燥密度(Mg/m^3)		平均乾燥密度 (Mg/m^3)	液種
1	1.984 (計画値 2.0)	1.190 (計画値 1.2)	1.792	0.963	1.6(ケイ砂 30wt%混合 Na 型ベントナイト)	蒸留水

3. 直列膨潤圧試験

本報では, ベントナイトの均一化過程を定量的に把握するために図-1 に示すような直列膨潤圧試験機を開発した. この試験機は, 通常の膨潤圧試験機を上下にピストンとロードセルを介して繋ぎ, ロードセルで膨潤

キーワード 放射性廃棄物地層処分, 緩衝材, ベントナイト, 再冠水, 均質化

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-7081

圧を計測しながらピストンの動きで膨潤量を計測することが出来る装置である. 表-1 に示した供試体のうち、上部に低密度供試体を、下部に高密度供試体を設置し、上下にフローポンプで注水しながら膨潤による均質化過程を測定した. 実験初期に通水は、破過を避けるために流量制御で行ったが、十分に膨潤を確認してから通水を圧力制御に切り替え、上下の供試体に同じ通水圧が作用するようにした. また、ピストンなどの重さはカウンタウェイトで相殺している.

4. 試験結果

図-2 に膨潤中の両供試体の密度変化を示す. 図に示すように 80 日以降はほとんど変形が生じていないことがわかる. また両供試体からは排水が確認されており、ほぼ飽和に達していると判断される. 従来の研究では、この原因が試験時間の短さとしていたが、本検討では、この残留密度差を力学に立脚して解釈した. 図-3 には、笹倉他³⁾がクニゲル V1 単体で取得した e - $\log P$ 関係に、本試験結果をプロットしている. 試験初期の低密度供試体の応力状態は図中●, 高密度供試体は●であり、どちらも正規圧密線上にある. ここで図-2 に示した試験後の乾燥密度から、高密度供試体は膨潤して密度を下げながら膨潤線を図中●→●に至る. 一方、低密度供試体は、高密度供試体に圧縮されて正規圧密線を●→●まで移動する. この時、着目しなければならないのは、試験後の乾燥密度●と●の応力状態(横軸)がほぼ同じ値であり、釣合っている点である. また、この釣合っている応力が、図中の赤線で示したロードセルの読み値から通水圧を相殺した値とほぼ同等であることである. すなわち、図-2 に示した残留密度差は、試験時間不足による影響よりも、応力が釣合って膨潤変形が止まったと考える応力履歴の影響の方が大きいことを示唆している.

5. まとめ

本報では、密度の異なるベントナイト材料の直列膨潤圧試験による均質化過程の定量評価を行った. その結果、ベントナイトは均質化することなく、膨潤圧が釣合う応力状態で膨潤変形は止まるという解釈が可能であることが分かった. このこ

とは、施工による密度差が再冠水後にも残留する可能性があることを示唆している. 今後は、再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究における全体試験計画に基づき、施工時の許容できる密度分布など、施工方法の選択の際に有用な情報を取得していく計画である. なお、本研究は経済産業省からの委託による「高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発」の成果の一部である.

参考文献 1) 土木学会：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(2009). 2) 須山他：再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究(その1)全体試験計画及びベントナイトの膨潤圧による均質化評価, 土木学会第 65 回年次学術講演会(2010). 3) 笹倉他：ベントナイト変遷挙動のモデル化のためのデータ取得 II, JNC-TJ8400 2003-048 (2003).

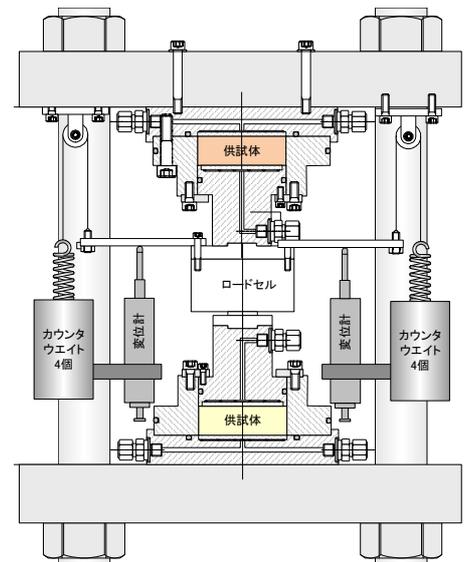


図-1 直列膨潤圧試験機

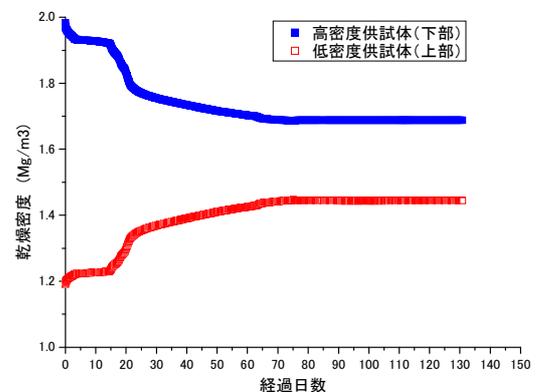


図-2 直列膨潤圧試験結果

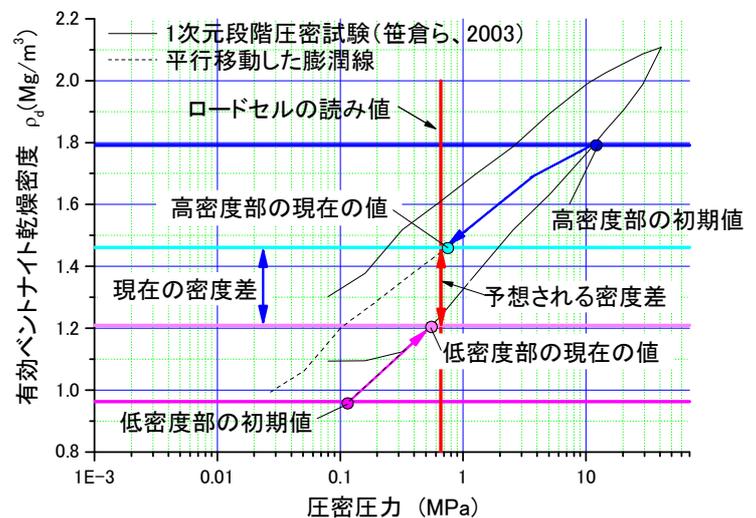


図-3 残留密度分布の力学的解釈