

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

原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員○須山泰宏, 非会員 朝野英一, 正会員 中島 均
鹿島建設 正会員 小林一三, 正会員 戸井田克

1. 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の施工品質は, 施工方法によって異なり, 例えば緩衝材内部に密度差が生じたり, 緩衝材と岩盤壁部等との間に隙間が生じたりする. この施工品質を代表する密度は, 再冠水による地下水の浸潤, 膨潤挙動等の事象を踏まえ, 均質化すると考えられているが, そのような実験結果は得られていない. また, 再冠水過程においては, 化学変質や力学的性能変化, 熱影響も生じ, 浸潤や膨潤挙動の評価が更に困難になると考えられる. しかしながら, 長期挙動評価の初期状態(再冠水直後)は, 均質化した緩衝材を仮定している. そこで, 本研究では, 再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響を実験的検討により把握し, 均質化するために必要な緩衝材の施工方法(工法の選定や仕様の設定)を提示することを目的に調査を開始した. また, 本研究では, 残留密度分布を定量的に評価できれば, その情報を長期挙動評価へ反映することも視野に入れている. 本報では上記の目的を達成するために構築した本研究の全体試験計画の概要を示すと共に, その一環として密度分布の異なる供試体を用いた膨潤圧試験を実施し, 力学的観点からベントナイトの膨潤挙動における均質化に関する知見を整理した.

2. 均質化に係わる既往の知見及び構築した全体試験計画の概要

ベントナイト系材料は再冠水によって膨潤するため, 緩衝材の施工により密度分布や隙間が生じて, 飽和後には均質化すると考えられていた. これを実験的に示すために, 密度分布を有する供試体が均質化する挙動を取得する試験が数多くなされてきたが, 均質化する傾向は見られても, 密度分布が無くなるまで均質化した事例は無い(例えば1), 2). また, 膨潤履歴の違う供試体(隙間の無い供試体と, 隙間

を膨潤により充填した後の供試体)による膨潤圧試験を実施し, 膨潤履歴の違いに関係なく, 最終の供試体の密度が同じであれば, 膨潤圧は同じであるとししている報告(例えば3)は多いが, その分布には, ばらつきが多く見られるのが現状である. 本研究ではこのような既往の知見に基づき課題を整理し, 試験計画を検討している. この既往の知見に関しては, 先ず力学的観点から応力履歴が膨潤圧に関係があるとし, 試験計画を検討した.

本試験計画では, 理想的な系における小規模試験, 単純な系における土槽試験, さらには複合的な系における工学規模土槽試験へと, 長期性能評価上問題となる発生事象の影響を試験によって確認し, 検討すべき事象を段階的に絞り込みながらスケールアップさせることを基本とした. 施工品質として考慮した影響項目は①隙間の有無, 位置, ②密度分布の程度, 方向, 及び③初期透水性(施工直後の間隙分布)を取り上げ, それが再冠水時に生じる事象(膨潤挙動, 化学変質, 力学性能変化, 地下水浸潤, ガス移行, 及び熱影響)を踏まえ, 再冠水後どのように変遷するかを把握するためのデータを取得する計画である. 本研究では, 図-1 に示すように先ず施工品質に着目し, 同図の青枠で(a)再冠水により密度が均質化するか?と(b)Ca型化と膨潤圧の可逆性(どちらが先でも結果は同じか?)を検討し, 黄枠で浸潤の影響((d)不飽和浸潤速度と(e)パイピングも含む界面の透水性)を検討し, 赤枠で(h)ガスの影響を踏まえ, 複合的な影響を検討する計画としている.

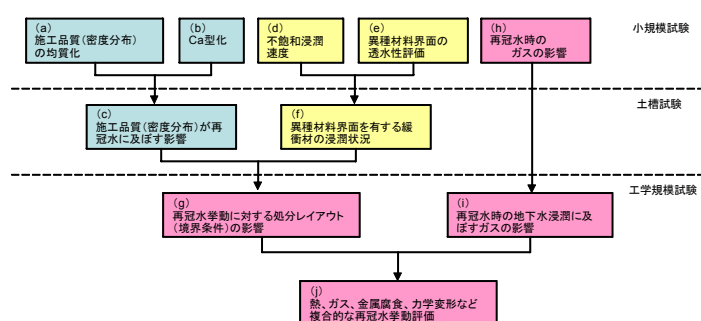


図-1 全体試験計画及び各試験計画の関係

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 〒104-0052 東京都中央区月島 1-15-7 (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター TEL03-3534-4565

3. 密度分布の異なる供試体を用いた膨潤圧試験

本報では、小規模試験(a)施工品質(密度分布)の均質化として、先ず、均質化する状況を膨潤圧の経時変化から力学的に均質化する状態を調査した。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。試験に使用した供試体は、図-2に示すように密度分布の差が顕著に分かるように均質、不均質(半径方向に密度差及び鉛直方向に密度差(高密度側 2.0 Mg/m^3 、低密度側 1.2 Mg/m^3))の供試体を直径60mm、高さ20mmでマスの乾燥密度が 1.6 Mg/m^3 になるように製作した。表-1に計画値と実測値を示す。試験結果を、図-3に示す。同図には試験後解体した時の状況を併せて示す。同図より、膨潤圧試験を開始し、約70日程度経過したが、マスの乾燥密度が同じでも、均質な供試体と不均質な供試体とで膨潤圧が異なっていることが分かる。また、膨潤圧試験終了後解体し、乾燥密度を測定した結果、均質化する傾向は見られたものの、図-3の写真に示すように密度分布に応じた色の違いから、残留密度差が明らかに残っていることが分かる。本試験に関しては再現性試験を行い、同じ挙動を確認している。これらの試験結果から、(1)従来の試験で膨潤圧試験結果にばらつきが生じている原因の一つには、供試体内の密度の不均質性が考えられる。(2)マスの乾燥密度が同じでも膨潤圧に違いが生じるということは、膨潤圧が同じでも、供試体の密度が異なることが考えられる。このことは、再冠水しても密度が均質化しない可能性を示唆している(力学的には力が釣り合った時点で変形が止まるため)。本研究では引き続き、直列膨潤圧試験を行い、既往の検討成果も含め、均質化しないことを力学に立脚した解釈により説明できることを確認している。その詳細は続報⁴⁾を参照のこと。

表-1 密度分布が圧縮ベントナイトの膨潤圧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
均質	1.584 (1.6*)		1.351		1.6 (ケイ砂 30wt%混合 Na型ベントナイト)	蒸留水
不均質 (水平)	1.978 (2.0*)	1.195 (1.2*)	1.784	0.967		
不均質 (鉛直)	1.978 (2.0*)	1.195 (1.2*)	1.784	0.967		

* () 内は計画値

4. まとめ

本研究では、緩衝材の建設・操業に向け、均質化するために必要な施工方法(工法の選定や仕様の設定)の提示を目指し、図-1に示した試験計画に沿って順次進めていく計画である。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)原環センター:処分システム工学要素技術高度化開発報告書(第1分冊)―遠隔操作技術高度化開発―(2/2)(2008)。2)SKB: Buffer and backfill process report for the safety assessment SR-Can, SKB TR-06-18 (2006)。3)核燃料サイクル開発機構:高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発―平成13年度報告―、JNC-TN1400-2002-003 (2002)。4)小林他: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2)ベントナイトの膨潤挙動に関する一考察, 土木学会第65回年次学術講演会(2010)。

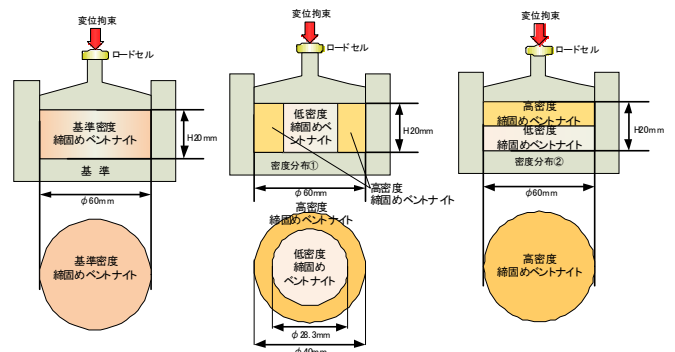


図-2 設定した密度分布

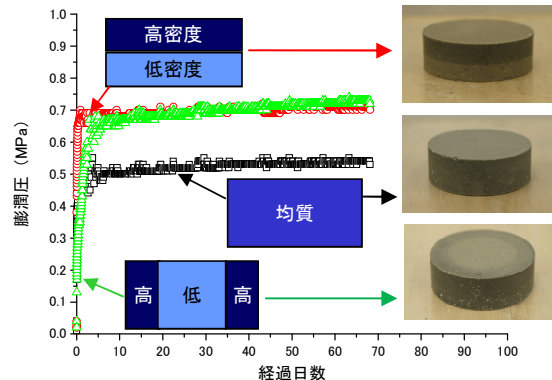


図-3 膨潤圧の経時変化及び解体後の供試体