

人工バリアの安全裕度確認試験におけるカラム試験と予察解析について

独立行政法人 原子力安全基盤機構 正会員 ○小野 誠 , 非会員 東原 知広

1. 目的

放射性廃棄物の余裕深度処分施設内においては、廃棄体に含まれる金属や廃棄体容器の腐食、水の放射線分解等によって施設内に水素ガスが発生する。一方で、施設の再冠水によって膨潤したベントナイトで構成される低透水層のガス透過性は低いと考えられており、ガスの発生と蓄圧および放出挙動が低透水層の性能に影響を及ぼすことが想定される。

(独)原子力安全基盤機構では、余裕深度処分において想定されている処分施設の全体および一部分を模擬した試験体(工学的規模試験体とカラム試験体)を用いて、再冠水に伴うベントナイトの膨潤による力学的挙動と施設内で発生したガスの低透水層における移行挙動を現実的な時間範囲で把握することを目的に“人工バリアの安全裕度確認試験”の実施を計画しており、現在試験体を構築中である。これと並行して、施設内で発生が予測される力学的現象が低透水層に及ぼす影響を検討し、長期安全評価の妥当性を確認するという観点から、人工バリア内において発生したガスの移行とベントナイトの膨潤挙動について解析的検討を実施している。

2. ガス移行に関するカラム試験の概要

先述の“人工バリアの安全裕度確認試験”において、カラム試験は比較的単純な系で現象を模擬するために実施する計画である。平成21年度は飽和した状態のベントナイト層の内側でガスが発生したときの移行挙動を対象としたカラム試験を実施中である。図1に試験の概略図を示す。この試験はガス移行が低透水層の部位によって挙動が異なること、具体的にはガスがバリア内部の上側に集まることによって生じることが想定される、ガスによる水の押し出し等の影響について確認したうえで、2相流挙動に関するデータを取得する計画である。なお、試験対象のベントナイトはクニミネ工業株式会社製のクニゲルGXとしている。

現在実施中のカラム試験の手順は以下の通りである。

- STEP1**：初期含水比 21%，乾燥密度 1.6 Mg/m^3 のベントナイト層を上下に配置したカラム試験体を製作する。
- STEP2**：上下ベントナイト層の間からの注水によってベントナイトを飽和させる。注水圧は段階的に上昇させるが、逆側から最大 0.3 MPa 程度の背圧を与え、両者の差圧が想定される膨潤圧を上回らないようにする。
- STEP3**：上下層間の注水をガス注入に切り替える。初期は一定流量でガスを供給するが、試験体容器の耐圧性能を考慮し、内圧の状況に応じて定圧供給に切り替えることもある。
- STEP4**：所定の期間が経過した時点でガス供給を終了し、試験体を解体しながらベントナイトの含水比分布を直接測定する。

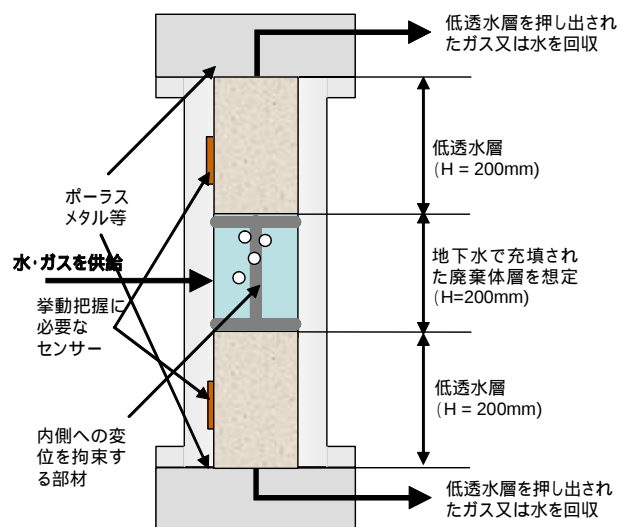


図 1 カラム試験概略図

キーワード ベントナイト，膨潤，ガス移行，THM 連成解析

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-20 神谷町 MT ビル (独)原子力安全基盤機構 ono-makoto@jnes.go.jp

3. カラム試験を対象とした予察的解析

先述のカラム試験におけるガス移行挙動に関する予察的解析を実施した。解析は CODE_BRIGHT を用い、粘土の力学構成則は不飽和を考慮した弾塑性モデル (Alonso et al. (1990)) とした。解析条件を表 1 に、解析結果を図 2、図 3 に示す。段階的に注水压を変化させながら上下ベントナイトの層間から注水する計画を模擬した解析結果では、注水終了時点 (175 日) でベントナイトの注水側と背圧供給側で飽和の進展の程度に差が生じることが確認されたが、少なくとも 95% 程度の飽和度まで達することが確認できた。また、ガス供給量を 1/10 に低減したケースについても参考のために実施し、低透水層内部のガス圧は注入するガスの量と相関があることを確認した。

表 1 試解析パラメータ一覧 (林ほか(2007)より)

パラメータ	値	パラメータ	値	パラメータ	値
乾燥密度 [Mg/m^3]	1.6	van Genuchten : Pe [MPa]	3.27	変形 Corey : m	2
初期間隙率 [-]	0.4	van Genuchten : n	1.7	変形 Corey : n	2
絶対透過係数 [m^2]	2.32E-20	最小飽和度	0.0	最大飽和度	1.0

4. 試験体の不均質性に関する解析的検討

先述のカラム試験における予察解析は構成材料が等方均質であると仮定したものである。しかし、実際には転圧状況等に応じて密度にバラつきが生じることが現実的である。ベントナイトのような低透水材料の場合、流体の移行は比較的低密度で透過性の高い部分をパスとする可能性が想定されることから、ここではベントナイトの一部に乾燥密度をわずかに変えた箇所を意図的に設け、パスを形成することで不均質を簡単に模擬し、3. との比較によって不均質性の効果を確認した。解析結果を図 4、図 5 に示す。ベントナイトの飽和は乾燥密度の低い透水性の高い箇所から優先的に進行し、均質時よりも飽和の進行が早い結果となった。また、時間の経過とともに飽和度の分布に不均質性による差が小さくなることを確認した。なお、中間部のガス圧の上昇傾向の差から、飽和度の上昇が進行する分、ガスの透過性が相対的に低下する可能性が示唆されたが、これらの挙動は 2 相流や毛管現象に関するパラメータに依存するものであると考える。

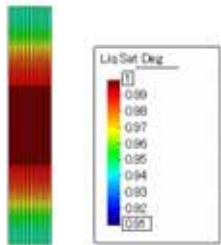


図 2 ガス注入直前の飽和度の分布図 (均質)

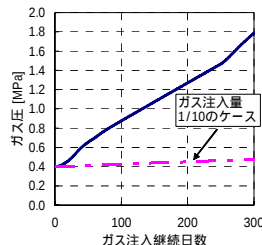


図 3 中間部のガス圧経時変化図 (均質)

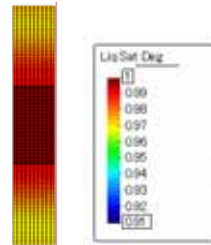


図 4 ガス注入直前の飽和度の分布図 (不均質)

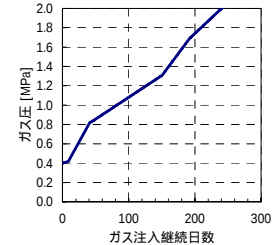


図 5 中間部のガス圧経時変化図 (不均質)

5. まとめ

カラム試験を対象とした予察的解析について、材料を均質とみなした解析と一部不均質性を考慮した解析を実施した。その結果、飽和の進行と中間部のガス圧の上昇傾向に差が生じるため、透過性の比較的高い箇所を水が選択的に移行することにより、その後のガス移行に影響を及ぼす可能性が示唆された。その場合は材料の不飽和特性が重要となるため、試験体中の水やガスの透過挙動の把握が重要となる。このように解析結果と今後得られる試験データとをリンクさせることによって、今後の再冠水挙動およびガス移行挙動の予測手法の精度を高め、埋設施設におけるガスの影響を予測する手法への反映を今後目指していく予定である。

参考文献

- 1) Alonso et al. (1990): A constitutive model for partially saturated soils, Géotechnique 40 No.3
- 2) 林ほか(2007): 余裕深度処分施設におけるベントナイト層の飽和期間に関する検討, 土木学会第 62 回年次学術講演会