

緩衝材を模擬したベントナイト・アルミナ混合材の平衡膨潤圧に関する考察

早稲田大学 学生会員 ○岩原将斗
早稲田大学 正会員 王海龍, 伊藤大知, 小峯秀雄

1. 研究背景

原子力発電によって発生する高レベル放射性廃棄物の最も安全かつ将来世代への負担が少ない処分方法として地層処分^{1),2)}が検討されている。地層処分は地下 300 m 以深の人間の生活環境から隔離した環境にガラス固化体を閉じ込める処分方法である。緩衝材として用いられるベントナイトは低透水性により放射性核種の移行の抑制が期待されている。一方で、ベントナイトの膨潤圧が過小であれば低透水性の確保に支障が生じ、過大であれば周辺岩盤に力学的影響を及ぼす可能性がある。そのため膨潤性は緩衝材設計において非常に重要な特性である。そこで本研究では緩衝材を模擬したベントナイトの膨潤挙動に着目し、小型試験装置を用いた膨潤圧試験を行った。

2. 試料と試験方法

使用したベントナイトはクニミネ工業製のクニゲル V1 (以下 KV1) である。また、地層処分事業における緩衝材はベントナイトと砂の混合材料を用いることを想定しており、本研究では混合材料として高純度アルミナ微粉 (以下アルミナ微粉) を使用した。アルミナ微粉は高剛性・

耐熱性、非膨潤性、化学的安定性を有しており、本研究で使用した供試体が厚さ 2 mm と非常に小さいので、本来の混合試料である砂の代わりにアルミナ微粉を使用した。KV1 とアルミナ微粉の基本的性質は表 1, 2 に示す。実験手順として、はじめに KV1 とアルミナ微粉をガラス棒にて混合し、この配合率をアルミナ微粉配合率 γ として 0%, 10%, 20%, 30% おおび 50% に設定した。次にステンレス (SUS303) 製リングと共に試料を静的締固め装置に載せ、乾燥密度が 1.4 Mg/m³, 1.5 Mg/m³ および

表 1 KV1 の基本的性質	
特性	値
土粒子の密度 $\rho_s(\text{Mg/m}^3)$	2.762
液性限界 $w_L(\%)$	527
塑性限界 $w_p(\%)$	49.7
塑性指数 I_p	477.3
メチレンブルー吸着量 (mmol/100g)	82.0
モンモリロナイト含有率 (%)	58.9

表 2 アルミナ微粉の基本的性質	
試料名	WA 微粉 (研磨材)
主成分	高純度アルミナ
土粒子の密度 $\rho_s(\text{Mg/m}^3)$	4.016
粒径 (mm)	0.0023

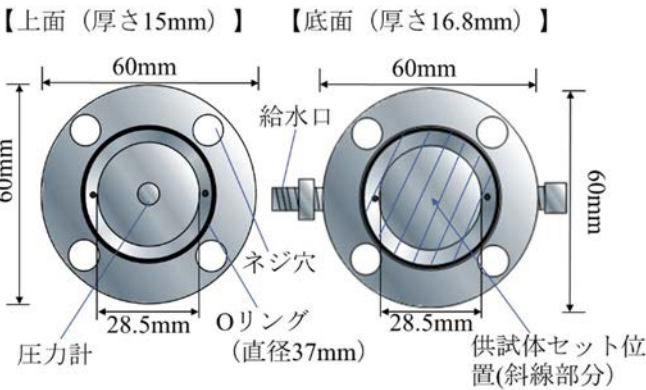


図 1 本研究に用いた膨潤圧試験装置

1.6 Mg/m³ となるように圧力を調整し、直径 28 mm, 厚さ 2 mm の円柱形供試体を製作した。この供試体を水分供給の均一化のためのメンブレンフィルターと共に膨潤圧試験装置にセットした。そして供試体と膨潤圧試験装置に取り付けた圧力計を完全に接触させるために 25 kPa の初期鉛直圧を加えてから、試験を開始した。その際の膨潤圧をデータロガーにて計測し、30 時間経過後に取り出してから平衡膨潤圧 P_e (十分時間を経過して一定値に収束した膨潤圧) の記録を行った。また、単位体積あたりのモンモリロナイトの量を統一的に評価できる指標である有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} ³⁾ の算出を行い、平衡膨潤圧 P_e と有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} の関係の整理を行った。

キーワード 地層処分 緩衝材 ベントナイト 混合供試体

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 TEL 03-5286-2940

3. 試験結果

図2に試験から得られた平衡膨潤圧 P_e と有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} の関係を示す。有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} の増加に伴い、平衡膨潤圧 P_e は指数関数的に増加する傾向が認められた。この特徴は田中の既往研究⁴⁾によるベントナイトのみの供試体と一致しており、混合供試体であっても有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} による評価が可能であることが確認できた。

図2の矢印で示した部分などから、有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} が同じであってもWA 微粉配合率 γ が高い混合供試体の方が平衡膨潤圧 P_e が大きいことが確認できる。これは同等の有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} においてはベントナイト量は同量のため、アルミナ微粉配合率 γ が高いほど、混合供試体はより密に詰まっている状態である(図3)。つまり、モンモリロナイトの膨潤に伴う圧力が土粒子同士間の応力として伝達する割合が大きくなり、平衡膨潤圧 P_e の増加に直結すると考えられる。よって混合供試体の膨潤圧は有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} と混合材料の配合率によって決定されると結論付けられた。

一方で、有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} の値が同一であっても、平衡膨潤圧 P_e にはばらつきがあり、実験結果の不確実性を表している。特に有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} が高い(赤プロット)ほど、この傾向が顕著に表れていることが確認できる。膨潤圧の測定は供試体の体積変化を全く生じさせない状態で測定しなければいけないが、実際には非常に困難である。表3に示すように、有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} が高い供試体は体積変化が生じ、乾燥密度の変動が大きいことが分かる。このような乾燥密度の変動から膨潤圧のばらつきが発生しているものと考えられる。

4. まとめ

本研究によって混合供試体であっても有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} による膨潤圧の評価が可能であることが結論付けられた。また、混合供試体における平衡膨潤圧 P_e は有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} と混合材料の配合率によって決定される。そして、平衡膨潤圧 P_e は有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} の増加に伴い、ばらつきが大きくなる傾向が確認できた。

参考文献

1) 小峯秀雄, 長田徹, 高尾肇, 植田浩義: 高レベル放射性廃棄物処分施設の縦置き孔模型実験における緩衝材発生応力の予測・評価, Vol.69, No.1, pp.108-117, 2013. 2) 核燃料サイクル開発機構: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性, 1999 3) 倉持隼斗: 小型変水位透水試験による砂・ベントナイト混合土の材料条件に応じた適切な試験装置の選定および適用性の評価, 2017. 4) 田中幸久: ベントナイトの吸水膨潤モデルによる膨潤圧試験における試験条件の影響評価, 土木学会論文集, Vol.67, No.4, 2011.

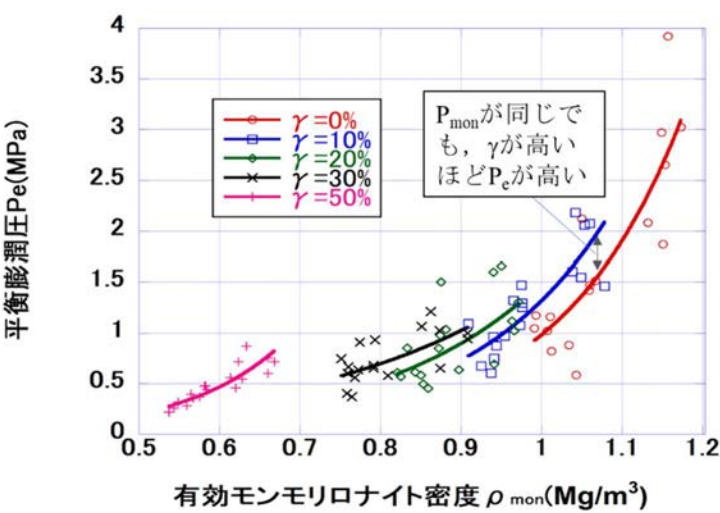


図2 平衡膨潤圧と有効モンモリロナイト密度 ρ_{em} の関係

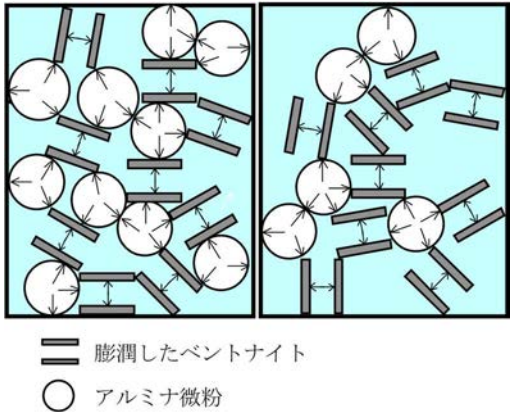


図3 アルミナ微粉配合率 γ が低い状態(左図)とアルミナ微粉配合率 γ が高い状態(右図)

表3 試験前後の供試体の乾燥密度

有効モンモリ ロナイト密度 $\rho_{em}(\text{Mg/m}^3)$	設定乾燥密度 $\rho_{dt}(\text{Mg/m}^3)$	試験後乾燥密 度 $\rho_{dt}(\text{Mg/m}^3)$
1.132	1.60	1.493
1.060	1.60	1.516
0.963	1.60	1.518
0.874	1.60	1.536
0.660	1.60	1.550