

除荷過程におけるベントナイトの膨潤挙動に関する一考察

(一財) 電力中央研究所

正会員 ○渡邊 保貴

1. 研究の背景と目的

放射性廃棄物処分施設において、ベントナイト系材料は、岩盤やセメント系材料などと接触した状態で施工され、再冠水すると考えられる。飽和度の上昇に伴い、ベントナイト系材料はその周囲を拘束する部材に膨潤圧を作用させる。このときの膨潤圧は、反力側の剛性により変わりうるものである^{1),2)}。本研究では、室内要素試験により力学的相互作用を評価することを目指して、ベントナイトの膨潤に対する反力側の微小変形を模擬した膨潤圧試験を実施してきた。反力側の剛性により平衡膨潤圧は異なること、締固め時の含水比により平衡膨潤圧は異なることについて、先行研究で指摘されていた事柄を精緻に検証した³⁾。また、反力側の剛性に起因して平衡膨潤圧が異なった状態から荷重制御に切り替えて膨潤変形を生じさせると、同一の材料と密度条件であれば、拘束圧と膨潤変形量の間にはほぼ一義的な関係が得られることを示した³⁾。膨潤挙動は、拡散二重層理論に基づいて解釈されることが多いが、前述したような、平衡膨潤圧が異なった状態から次第に拘束圧を下げて変形を許容するような膨潤挙動について、一貫した説明は難しいのが現状と考えられる。そこで、本研究では、微小変形から大変形に至る膨潤挙動をより深く理解するため、陽イオン濃度の異なる溶液を用いて浸透圧を変えた膨潤圧試験と膨潤変形試験を行い、除荷過程における膨潤挙動について考察し、課題を整理した。

2. 微小変位制御による膨潤圧試験および膨潤変形試験の方法

本研究では、膨潤圧作用時に岩盤等の剛性に応じて生じる変形量をベントナイト供試体に模擬的に与えながら膨潤圧の経時変化を測定した。使用した変位制御型膨潤特性試験装置の概略を図-1に示す。供試体の中心部にギャップセンサが挿入してあり、下部ポーラスメタルに取り付けたターゲットとの間隔を測定することで供試体の高さを直接的に測定することが可能である。荷重計は供試体下部に内蔵してある。

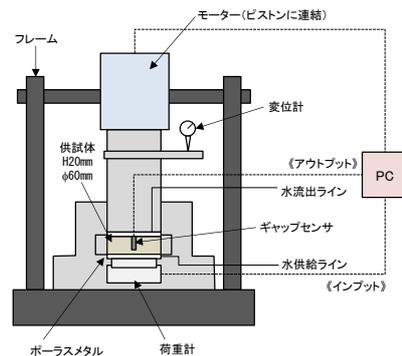


図-1 変位制御型膨潤特性試験装置

装置内で拘束されたベントナイトに対し、膨潤圧に対する供試体高さの変化割合を試験装置の等価な変形性として $D[\text{m/MPa}]$ と定義すると、供試体の初期高さを $H_0[\text{m}]$ として装置固有の剛性を $H_0/D[\text{MPa}]$ と定めることができる。鉛直一次元方向についてフックの法則から、膨潤圧の増分 ΔP_s は式(1)になる。それを変形した式(2)により微小変位量 ΔH を算出し、供試体高さ H_t を変化させる。

$$\Delta P_s = (H_0 / D) \cdot (\Delta H / H_t) \quad (1) \quad \Delta H = \Delta P_s \cdot H_t \cdot (D / H_0) \quad (2)$$

図-2 に示すように、ヤング率に相当する装置固有の剛性を予め設定しておき、微小な時間間隔 ΔT で圧力増分から変位量を与える操作を膨潤圧が定常化するまで繰り返した。平衡膨潤圧を測定した後、荷重制御で十分な時間を要して膨潤変形量を測定した。なお、ギャップセンサにより供試体の高さを測定しているため、フレーム、ピストン、荷重計等に生じる変形量をキャンセルすることが可能である。

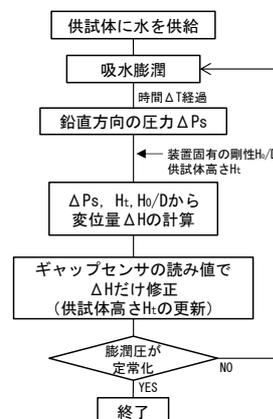


図-2 微小変位制御による膨潤圧試験の流れ

キーワード 放射性廃棄物処分, ベントナイト, 膨潤圧, 膨潤変形, イオン濃度

連絡先

〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

本研究では、Na型ベントナイトとしてクニゲルV1(クニミネ工業)を使用して供試体を作製した。供試体の初期高さは20mm、直径は60mmである。供試体作製時の含水比は10%、乾燥密度は1.6Mg/m³である。装置固有の剛性H₀/D[MPa]は、変形が生じにくい拘束条件として37000MPaとした。

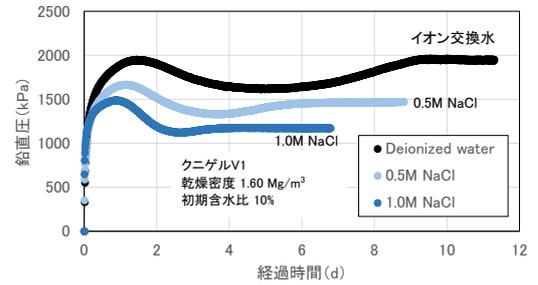
3. 膨潤特性に及ぼす陽イオン濃度の影響

NaCl溶液を用いた膨潤圧試験の結果を図-3に示す。図-3(a)(b)に示すように、イオン交換水では平衡膨潤圧が約1945kPaであったことに対し、NaCl溶液の濃度が0.5Mと1.0Mに増すと平衡膨潤圧はそれぞれ約1471kPaと約1172kPaに低下した。図-3(c)より、試験中の供試体高さは、イオン交換水では約1μm、1.0Mの条件では約2μmの増分であった。前報³⁾では、同じ供試体条件でH₀/D=750MPaとした時に平衡膨潤圧は約1500kPaに低下し、供試体高さの変化は約40μmであった。この例と比べると、図-3(c)に示した変形量はきわめて小さいが平衡膨潤圧の低下は生じており、これはイオン強度が高まったことによる膨潤性の低下が主な原因と考えられる。

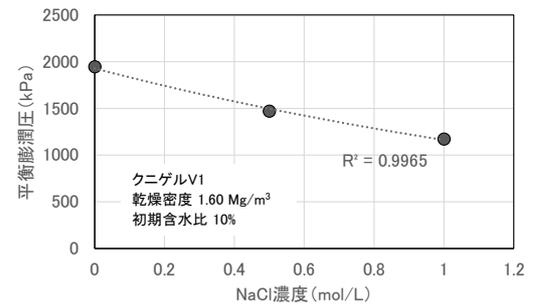
平衡膨潤圧が測定された後に鉛直方向の拘束圧を段階的に低下させ、膨潤変形量を測定した。図-4に示すように、溶液の種類に応じて、鉛直圧と膨潤変形率の間にほぼ一義的な関係が認められた。既往の研究⁴⁾では、人工海水を用いた時の膨潤変形率が測定されており、溶液組成が異なるために直接比較はできないが、定性的に、高いイオン強度であっても低拘束圧であれば数%から数十%の膨潤変形は生じる点で類似した試験結果であった。また、図-4には、先行研究⁵⁾を参考に拡散二重層理論に基づいて計算した鉛直圧と膨潤変形率の関係を参考までに表示した。イオン交換水を用いて測定した平衡膨潤圧は、計算結果と概ね一致したが、除荷過程において測定された膨潤変形率は計算結果より小さい傾向であった。除荷過程では、供試体の上部と下部で応力状態が等しくなかった可能性や、除荷過程において供試体の状態が次の段階の膨潤変形に影響する可能性が考えられたため、今後の検討課題としたい。高イオン強度の場合には、除荷前の平衡膨潤圧の不一致が生じたため、今後、計算条件や計算方法を検討したい。

参考文献

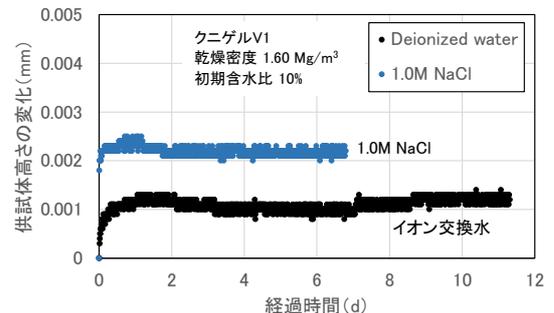
1)田中幸久：土木学会論文集C, Vol. 67, No. 4, pp. 513-531, 2011.
 2)棚井憲治ほか：JAEA-Research 2010-025, 2010. 3)渡邊保貴・田中幸久：土木学会第71回年次学術講演会, 2016. 4)田中幸久・中村邦彦：土木学会論文集, III-73, No. 806, pp. 93-111, 2005. 5) Komine, H. and Ogata, N.: J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 818-829, 2004.



(a) 鉛直圧と経過時間の関係



(b) 平衡膨潤圧と NaCl 濃度の関係



(c) 供試体高さの変化

図-3 NaCl 溶液を用いた膨潤圧試験の結果

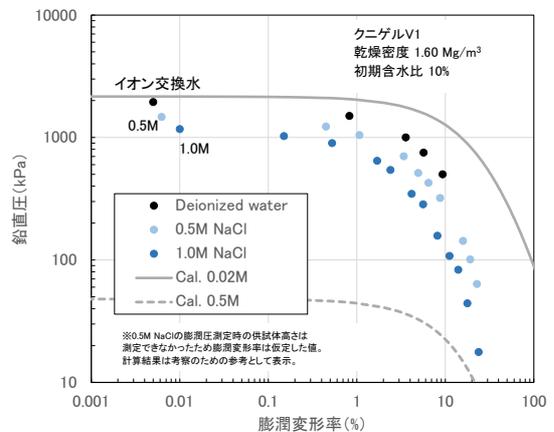


図-4 除荷過程における鉛直圧と膨潤変形率の関係