

微小変位制御によるベントナイトの膨潤圧試験

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○渡邊 保貴
 (一財) 電力中央研究所 フェロー会員 田中 幸久

1. 研究の背景と目的

放射性廃棄物処分施設において使用することが検討されている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。ベントナイト系材料は吸水膨潤するため、室内要素試験により膨潤圧が測定され、設計や長期挙動評価においてしばしば活用される。しかしながら、膨潤圧は、供試体の拘束条件に強く依存する点で測定が難しく、結果の解釈においてもその点は重要である。過去には、試験装置の違いに着目した整理や解析的検討もなされている^{1),2)}。そこで、本研究では、様々な剛性を有する材料と接した時のベントナイトの膨潤圧を明らかにすることを目的として、供試体に生じるひずみを高精度で測定すると共に、反力側のたわみを模擬した微小変位制御のもとで膨潤圧試験を行った。

2. 微小変位制御による膨潤圧試験の方法

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。

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。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。なお、本研究では、Na型ベントナイトであるクニゲル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、乾燥密度、装置固有の剛性、 D 値を表-1に示す。比較として、圧密容器型の膨潤圧試験装置の D 値は $7.8 \times 10^{-5} \sim 1.4 \times 10^{-4} \text{m/MPa}$ である¹⁾。

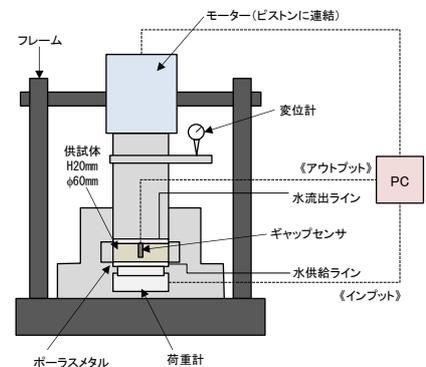


図-1 変位制御型膨潤特性試験装置

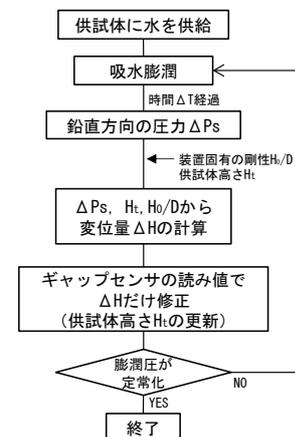


図-2 微小変位制御による膨潤圧試験の流れ

表-1 供試体作製条件および初期設定値

番号	含水比 (%)	乾燥密度 (Mg/m ³)	H_0/D (MPa)	$^{**1}D$ (m/MPa)
1	9.53	1.599	37000	5.4×10^{-7}
2	9.55	1.598	3500	5.7×10^{-6}
3	7.29	1.601	1500	1.3×10^{-5}

^{**1} 供試体の初期高さ $H_0=0.02[\text{m}]$ として算出

キーワード 放射性廃棄物処分, ベントナイト, 膨潤圧, 微小変位, 装置の変形性

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

3. 膨潤圧に及ぼす装置固有の剛性の影響

装置固有の剛性 H_0/D に基づいて変位制御した際の膨潤圧を図-2 に示す。 H_0/D が小さいほど、ほぼ同一の乾燥密度であっても最大膨潤圧ならびに平衡膨潤圧が低下する傾向が認められた。試験中にギャップセンサで計測した供試体高さの変位量(体積膨張側を正)を図-3 に示す。 H_0/D の減少に伴い変位量は増大する傾向が認められた。 $H_0/D=37000\text{MPa}$ の試験ケースでは、変位量は $0.1\sim 1\mu\text{m}$ で抑えられており、小松ら³⁾が実施した試験(変位量 $7\mu\text{m}$ 以内)と比較しても、供試体の変形をほとんど許さない条件で膨潤圧を計測したと言える。 $H_0/D=3500\text{MPa}$ または 1500MPa の試験ケースでは、膨潤圧が初期に急増した際に最大 0.01mm または 0.04mm 程度の変位量が生じた。膨潤圧がほぼ最大値に達した後に減少する過程において、鉛直荷重の変化に応じて変位量が減少しており、膨潤圧の減少に追従するような反力側の弾性挙動が表現されている。

平衡膨潤圧と有効粘土密度の関係を図-4 に示す。ベントナイト単体であるため、有効粘土密度は乾燥密度と等しい。試験条件が明確な文献^{2), 4), 5), 6)}のデータを参考までに示した。これまで、膨潤圧の測定では、主に二種類の装置が使用されてきた。一つは、荷重計が供試体下部に埋め込まれ、上盤を容器にボルト締めした装置である(結合型と記述する)¹⁾。もう一つは、圧密容器型の装置であり、荷重計は試料キャップとフレームの間に設置されている(分離型と記述する)¹⁾。結合型より装置の変形性が大きいと考えられている分離型の装置において平衡膨潤圧が小さくなる傾向は既に文献¹⁾で指摘されており、本研究で H_0/D を小さくした時の試験結果と整合している。本研究で得られた平衡膨潤圧は、過去に複数の装置で測定されてきた値の幅におさまるが、平衡膨潤圧に対する反力側のたわみの影響を一つの装置を用いて定量的に示すことができたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、ベントナイトの膨潤圧に伴い生じる反力側の微小変形を制御することにより、平衡膨潤圧に及ぼす反力側のたわみの影響を定量的に示した。室内要素試験で求めた膨潤圧を活用する際、測定値のばらつきや適用範囲を検討する上で、本研究の知見は有用であると考えられる。今後、原位置を想定した条件で実験データを増やすと共に、解析的検討を進める。

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)小松憲司ほか：土木学会第58回年次学術講演会, 2003. 4)菊池広人・棚井憲治：JNC TN84302004-005, 2005. 5)田中幸久：電力中央研究所報告書, N11035, 2012. 6)高治一彦・鈴木英明：核燃料サイクル開発機構, JNC8400-99-041, 1999.

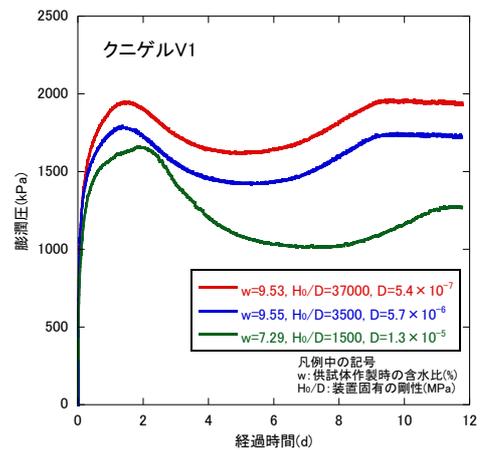


図-2 膨潤圧の経時変化

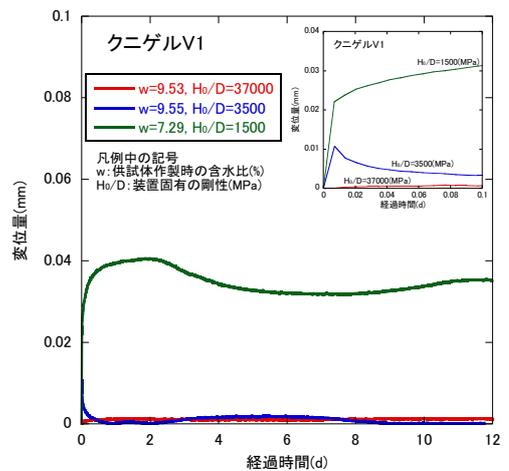
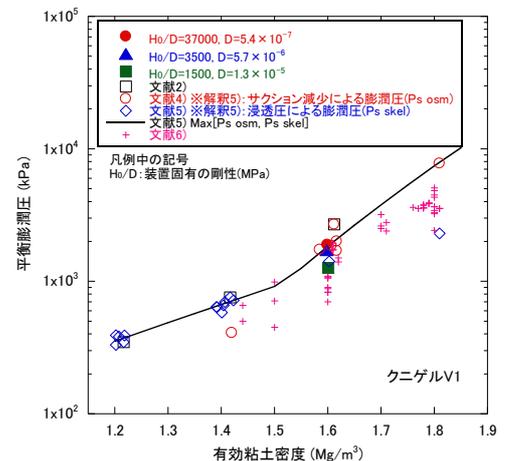


図-3 供試体高さの変位量



文献番号	初期含水比	供試体寸法	装置の種類	飽和溶液
本研究	9.53%	h20 x φ 60mm	変位制御型	イオン交換水
本研究	9.55%	h20 x φ 60mm	変位制御型	イオン交換水
本研究	7.29%	h20 x φ 60mm	変位制御型	イオン交換水
文献2)	11.2%	h10 x φ 60mm	結合型	イオン交換水
文献4)	6.3%	h20 x φ 20mm	結合型	人工海水
文献5)	11.2%	h10 x φ 60mm	結合型	イオン交換水
文献6)	4.9~14.5%	h20 x φ 20mm	分離型(圧密容器)	イオン交換水

図-4 平衡膨潤圧と有効粘土密度の関係