

微小変位制御によるベントナイトの膨潤圧試験および膨潤変形試験

(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、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の膨潤圧は、室内要素試験により測定されることが多い。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特性を明らかにすることを目的として、反力側のたわみを模擬した微小変位制御による膨潤圧試験と荷重制御による膨潤変形試験を行った。

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依り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。

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状態に至るまで繰り返した。平衡膨潤圧を測定した後、荷重制御で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。

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、Ca型ベントナイトとしてクニボンド(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⁾。

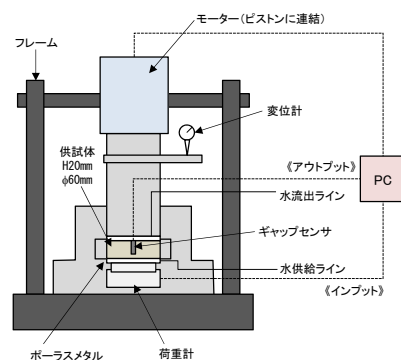


図-1 変位制御型膨潤特性試験装置

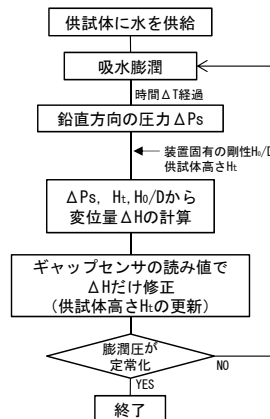


図-2 微小変位制御による膨潤圧試験の流れ

表-1 供試体作製条件および初期設定値

試料	含水比 (%)	乾燥密度 (Mg/m ³)	H_0/D (MPa)	$^{*1}D$ (m/MPa)
Na型	9.53	1.599	37000	5.4×10^{-7}
	9.55	1.598	3500	5.7×10^{-6}
	10.14	1.601	750	2.7×10^{-5}
	10.06	1.393	37000	5.4×10^{-7}
	9.83	1.397	750	2.7×10^{-5}
Ca型	14.76	1.198	37000	5.4×10^{-7}
	12.53	1.199	3500	5.7×10^{-6}

*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, 膨潤変形, 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

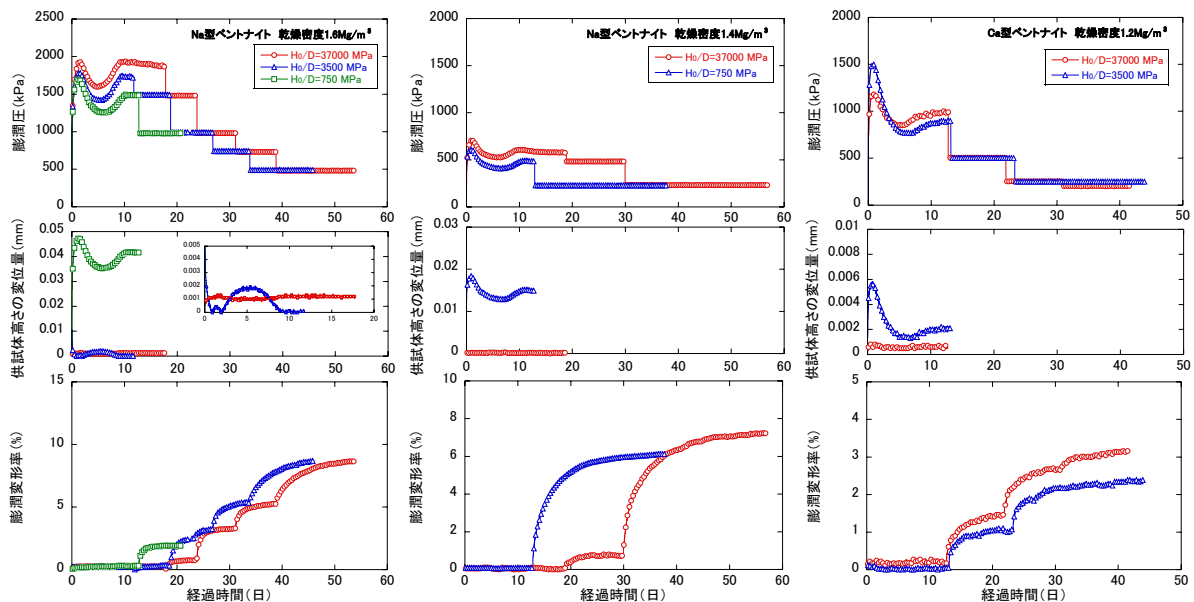


図-3 膨潤圧，供試体高さの変位量，膨潤変形率の経時変化

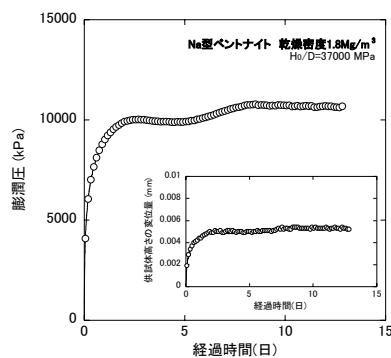


図-4 膨潤圧の経時変化

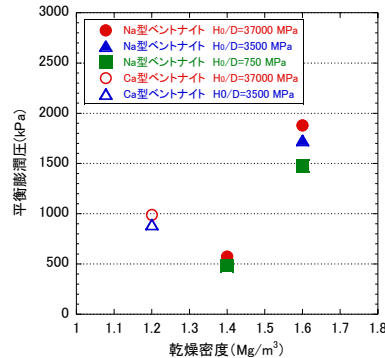


図-5 平衡膨潤圧と乾燥密度の関係

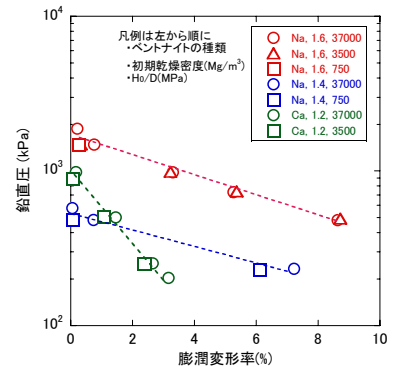


図-6 鉛直圧と膨潤変形率の関係

3. 膨潤圧および膨潤変形量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することにより得られた膨潤圧，供試体高さの変位量(体積膨張側を正)および荷重制御により得られた膨潤変形量を図-3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平衡膨潤圧が低下する傾向が認められた。供試体高さについては， $H_0/D=37000\text{MPa}$ の試験ケースでは，変位量は $0.1\sim 1\mu\text{m}$ で抑えられ， $H_0/D=3500\text{MPa}$ または 750MPa の試験ケースでは，膨潤圧が急増した際に最大 0.05mm 程度の変位量が計測されており，剛性の異なる材料と接した状況が表現されていた。より高密度の条件として，乾燥密度 1.8Mg/m^3 のベントナイトの $H_0/D=37000\text{MPa}$ における平衡膨潤圧は，図-4に示すように 10.7MPa であった。既往の知見^{1),2)}と比べて平衡膨潤圧は高く，装置の変形が抑えられた効果であると考えられる。平衡膨潤圧を測定した後，鉛直圧を段階的に除荷した結果，低い鉛直圧ほど膨潤変形量は大きくなる傾向が認められた。平衡膨潤圧と乾燥密度の関係を図-5に示す。高い膨潤圧が生じる試料ならびに供試体の条件において， H_0/D の減少に伴う平衡膨潤圧の低下は大きくなり，反力側の剛性の影響を受けやすいことが示された。鉛直圧と膨潤変形率の関係を図-6に示す。同一試料かつ初期乾燥密度が同じ条件において， H_0/D によらず鉛直圧と膨潤変形率の関係は一義的に定まった。このことは，再冠水後に生じる初期の膨潤圧によらず，周辺材料が反力を低下させた場合にも，ベントナイト系材料は，初期乾燥密度に応じた膨潤変形を生じうること示唆する結果である。今後は，より高密度の試験条件，または，原位置で想定されうる水質条件等で実験データを拡充すると共に，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.