

締固め時の含水比に着目した微小変位制御によるベントナイトの膨潤特性試験

(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。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)}。本研究では、隣接する材料の変形性を考慮した上で、ベントナイト系材料の膨潤圧と膨潤変形率を測定すると共に、締固め時の初期含水比に着目してベントナイト系材料の膨潤特性を調査した。

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、膨潤圧作用時にベントナイトと接する反力盤の変形量を制御し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。供試体の中心部に非接触型変位計が挿入してあり、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。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。

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、乾燥密度、装置固有の剛性、D 値を表-1に示す。初期含水比 10.14%、19.81%の供試体の初期飽和度はそれぞれ 30.0%と 72.7%であった。なお、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⁾。

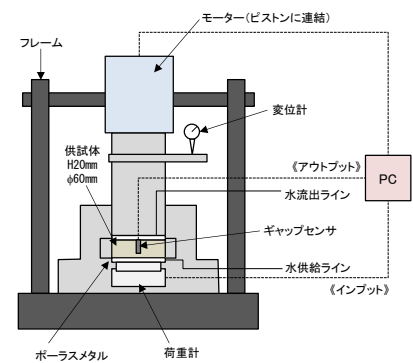


図-1 変位制御型膨潤特性試験装置

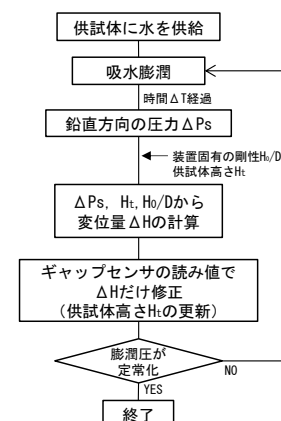


図-2 微小変位制御による膨潤圧試験の流れ

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}
	19.81	1.582	37000	5.4×10^{-7}
	9.98	1.805	37000	5.4×10^{-7}
	9.51	1.766	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, 初期含水比

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

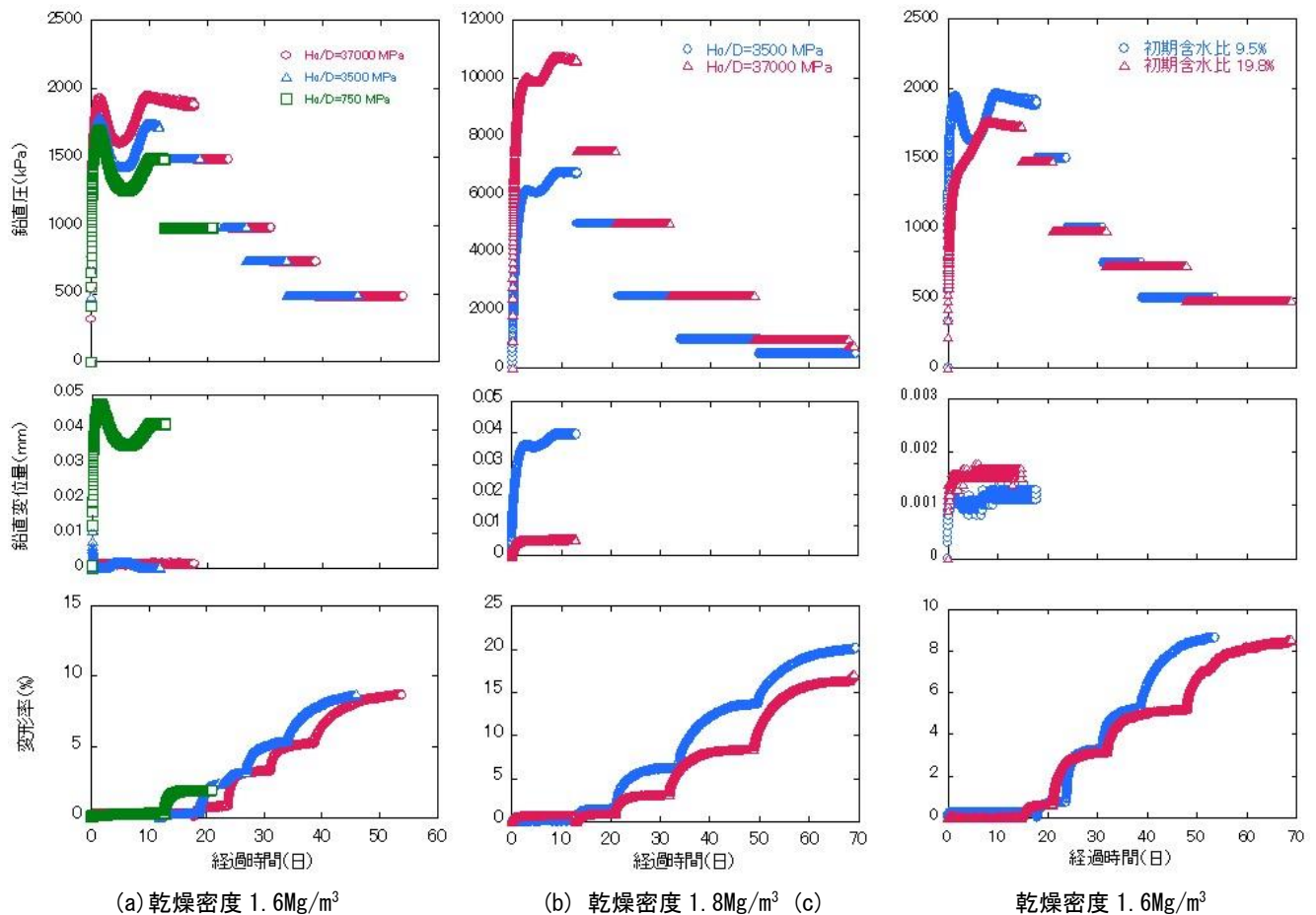


図-3 膨潤圧，供試体高さの変位量，膨潤変形率の経時変化

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．ほぼ同一の乾燥密度と初期含水比の場合，図-3(a) (b) より， H_0/D が小さいほど，平衡膨潤圧は低下する傾向が認められた．また，乾燥密度が高いほど平衡膨潤圧の低下は著しく，乾燥密度 1.8 Mg/m³ では， H_0/D が 37000 MPa から 3500 MPa に減少することで平衡膨潤圧は 10.6 MPa から 6.7 MPa に低下した．前報³⁾では乾燥密度 1.6 Mg/m³ 以下の範囲において膨潤変形率は初期の平衡膨潤圧によらない結果となったが，乾燥密度 1.8 Mg/m³ では，初期の平衡膨潤圧が低い場合に，膨潤変形率は小さくなった．図-3(c) より，締固め時の初期含水比を高くすると，平衡膨潤圧は低下した．特に，低い初期含水比の供試体において給水開始から 1.5 日程度で観察された鉛直圧の一次ピークは，高い初期含水比の供試体においては観察されなかった．膨潤変形率に及ぼす初期含水比の影響は認められなかった．

ベントナイトを拘束する部材の変形性が高いほど，膨潤圧の増分に応じて 50 μm 以下の微小変位が生じることにより，平衡膨潤圧は低下することがわかった．また，初期含水比が高いほど，平衡膨潤圧は低下することがわかった．初期含水比が高いことにより，予めスメクタイトの結晶層間に水が蓄えられた状態で締固められる．Liu (2013)⁴⁾によると吸水膨潤はスメクタイトの結晶水和と浸透圧に分けて解釈されている．高含水比で締固めたことにより，結晶水和による膨潤は生じなかったことが，前述した鉛直圧の一次ピークが観察されなかった原因と推察される．平衡状態においては，初期含水比を変えても膨潤変形率に違いが見られなかったことから，約 1%以上の範囲となる膨潤変形は浸透圧による膨潤が支配的であったと考えられる．

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) 渡邊保貴，田中幸久：土木学会第 70 回年次学術講演会，2015. 4) Liu L.: *Physicochem. Eng.*, Vol. 434, pp. 303-318, 2013.