

加圧板法を用いた圧縮ベントナイトの水分特性曲線の測定

足利工業大学 正会員 西村友良

東京大学 生産技術研究所 正会員 古関潤一

1 まえがき

放射性廃棄物の地層処分施設の構造体を構成する緩衝材ベントナイトの物理・化学的特性および膨潤特性の報告が多数行われている。一方、不飽和状態にあるベントナイトの工学的性質の予測には保水性の把握が重要である。ベントナイトの保水性は高いため、対象とするサクシオン範囲に応じて試験の種類を選択しなければならない。西村・古関¹⁾は 2.8MPa 以上のサクシオン領域の水分特性曲線を蒸気圧法により測定しているが、1500kPa 以下のサクシオン領域の水分特性曲線のデータの蓄積も不可欠である。そこで本研究では改良型水分特性曲線測定装置を用いて加圧板法により保水性試験を行い、サクシオン 450kPa までの水分特性曲線を示す。

2 試料・実験装置・試験方法

2-1 試料・実験装置 クニゲルベントナイト V1 に質量比 30% の割合で山形県西置賜郡飯豊町産の硅砂を混合した材料を試料とし、初期含水比を 5.9% に調整した。ベントナイトの土粒子密度は 2.733g/cm^3 、ベントナイトの化学組成は次のとおりである。 SiO_2 69.7%、 TiO_2 0.14%、 Al_2O_3 15.8%、 Fe_2O_3 1.69%、 MgO 2.19%、 CaO 2.00%、 Na_2O 2.04%、 K_2O 0.24%。硅砂の D_{50} は 0.94mm であった。図-1 は圧密試験、膨潤圧試験、保水性試験が行える改良型水分特性曲線測定装置である。本装置は耐圧セル、剛性モールド、底盤、セル圧供給口、セラミックフィルター、給排水管路、差圧計付二重管ビュレット、荷重計、加圧板、ロッドなどからなる。モールドの内径は 60mm、高さ 65mm であった。底盤に装着したセラミックフィルターの直径は 45mm、厚さ 7mm、空気侵入値 500kPa、透水係数 $2.28 \times 10^{-10}\text{m/sec}$ であった。

2-2 試験手順 所定の質量の試料をモールドに入れ装置全体を組み上げる。荷重計、変位計の初期値を読み取った後、段階的に 3MPa まで圧密圧力を加え、供試体の変位を測定する。次に圧密圧力を 93kPa まで除荷する。除荷終了時の供試体高さを保ちながら図-1 中の吸排水口から脱気水を供給し供試体上部から水浸することで、一方向のみの吸水条件とする膨潤圧試験を開始する。2 ヶ月以上の膨潤圧測定後、モールドとともに供試体を底盤から外し、セラミックフィルターを飽和させた底盤に取り付ける。再び装置全体を組み上げ、加圧板法による保水性試験を実施する。載荷したサクシオンは 50kPa から 450kPa であり、膨潤圧試験終了時の膨潤圧と同一の圧密圧力を保水試験中載荷した。サクシオン載荷時間は少なくとも各段階 48 時間とした。供試体からの排水量は二重管ビュレットで測定し同時に高さ変化も計測した。

3 実験結果

3-1 圧縮曲線と膨潤圧の変化 含水比 5.9% のベントナイトの圧縮曲線を図-2 に示す。最大圧密圧力 3MPa での間隙比は 0.61、飽和度 26.4%、3MPa 付近の圧縮指数は 0.43 であった。一方除荷過程の圧密圧力 93kPa における間隙比は 0.65、飽和度 24.8% であり、膨張指数は 0.03 であった。次に間隙比 0.65、乾燥密度 1.66g/cm^3 を

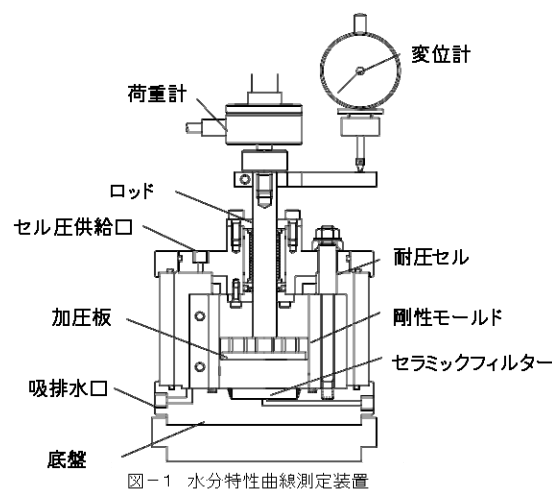


図-1 水分特性曲線測定装置

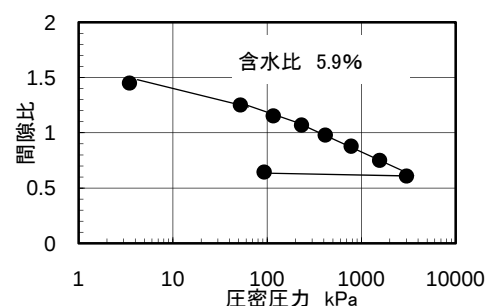


図-2 圧縮曲線

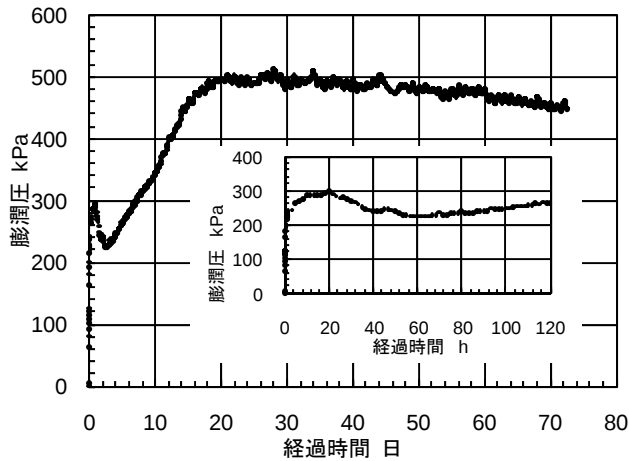


図-3 膨潤圧の変化

保ち、定体積条件下の膨潤圧の変化を図-3に示す。図-3中には測定開始から120時間までの結果も示している。吸水開始直後から膨潤圧が発生し、約20時間後には300kPaの膨潤圧が計測されている。その後60時間まではゆるやかに低下し、再び28日近くまで増加を続け、最大膨潤圧の508kPaを示している。最大膨潤圧を示した後はゆるやかに低下し、試験終了時には447kPaであった。このように吸水開始時の急激な膨潤圧の増加、その後の低下、再び膨潤圧が増加する特性は水浸前のベントナイトのサクシオンが異なっても示されることを西村・古関¹⁾は報告している。

3-2 水分特性曲線 含水比の時間変化を载荷サクシオンごとに図-4に示す。サクシオン载荷前の供試体は含水比38.2%、乾燥密度 1.32g/cm^3 、飽和度99.0%であった。ここで膨潤圧試験から保水性試験への移行の際、底盤の取り替え時の無拘束状態の間に供試体が膨張を生じ、乾燥密度が 1.66g/cm^3 から 1.32g/cm^3 に減少した。50kPaのサクシオン载荷において92時間を要して含水比が38.2%から36.5%に低下し、その低下量は1.7%であった。100kPa以上のどのサクシオンに対しても含水比の低下量は1%以下であった。一方、サクシオン载荷による供試体高さ方向のひずみ(収縮を正值)とサクシオンとの関係を図-5に示す。不飽和化の進行(サクシオンの増加)によって収縮ひずみが発生し、450kPaのサクシオンにおいて4.6%のひずみが生じている。水分特性曲線として、図-6、図-7にサクシオンと含水比、飽和度の関係を示す。450kPaまでのサクシオンを载荷したことで含水比は38.2%から32.1%まで減少し、飽和度は99.1%から91.3%まで低下した。また水分特性曲線から空気侵入値に相当する水分特性曲線上の変曲点は確認されなかった。

4 まとめ

ベントナイトに対して圧密試験、膨潤圧試験、加圧板法による保水性試験を連続的にを行い、水分特性曲線を求めた。サクシオン450kPaまでには空気侵入値に相当する水分特性曲線上の変曲点は確認されなかった。

参考文献 1) 西村友良, 古関潤一: 循環型湿度制御システムを用いたサクシオンが異なる圧縮ベントナイトの膨潤圧測定, 第9回環境地盤工学シンポジウム, 地盤工学会, pp.65-70, 2011年。

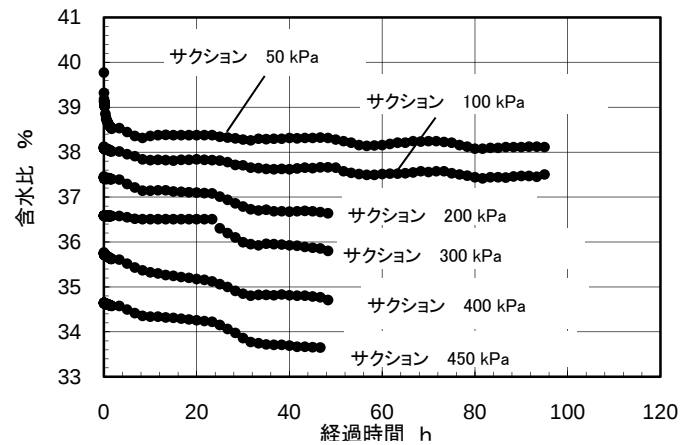


図-4 加圧板法による含水比の変化

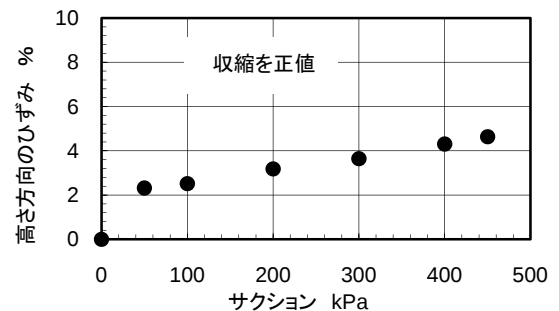


図-5 サクシオンとひずみの関係

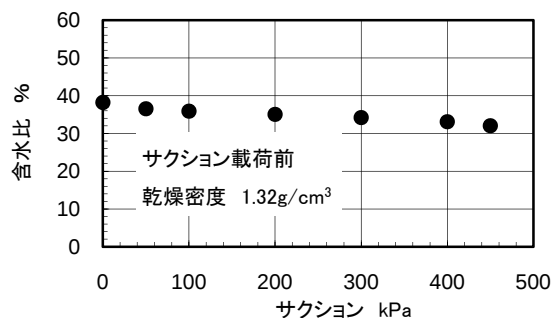


図-6 サクシオンと含水比の関係

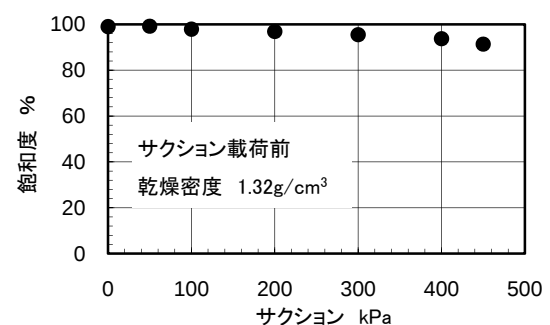


図-7 サクシオンと飽和度の関係