ベントナイトの圧縮性に与えるサクションの影響

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

現在、原子力発電所は世界中で 500 基を超え、日本でも今後さらに原子力発電所の建設は続くといえる。その一方で建設から半世紀が過ぎた今、発電所施設等の解体の時代に入ったことで放射性廃棄物および放射性解体廃棄物の安全な処分施設の建設と処分稼働を進めなければならない。処分施設内の遮へい材ベントナイトの基本的特性[1)]が検討されているが、不飽和状態を考慮した力学的性質[2) 3)]の測定方法やその経年挙動のメカニズムの理解や把握には至っていない。本研究では、サクションが異なるベントナイトの圧縮試験結果と圧縮ベントナイトの定圧一面せん断試験結果について報告する。

２　試料・実験装置・試験方法

２－１　試料・実験装置　試料はクニゲルベントナイトに質量比 30%の割合で珪砂を混合した材料を試料とした。露点サーモサイクル水ポテンシャル測定装置（WP4-T）[2)]で含水比 4.4%の試料のサクションを測定した結果、110MPa であった。圧縮試験にはセル内に剛性モールドを納めた圧密容器を用いた（図１）。モールドの内径は 6cm、高さ 6.5cm であり、セル内に水を供給することで供試体への水浸が可能である。定圧一面せん断試験にはせん断箱がセルに納められた不飽和土用一面せん断試験機を用いた。せん断箱の内径は 6cm、高さ 6cm である。

２－２　試験方法　２つの異なるサクションを有する供試体を対象に圧縮試験を実施した。サクション 110MPa の試料を 60ｇ採取し、モールド内に入れて平均上載圧 10.4kPa（荷重 3kg）を加えて高さ 2.2cm、乾燥密度を 0.923g/cm^3 としたものを供試体とした。一方サクション 2.8MPa に制御するために、供試体を湿度 98%の環境下で約 1 カ月間静置した。湿度 98%を維持するために過飽和硫酸カリウム溶液を 20℃の密閉容器内に置いた。最大荷重として 3020kPa まで段階的に圧縮載荷を行い、変位を計測した。その後 3020kPa を維持する一方で、供試体上端から蒸留水を供給し水浸（水没）させて供試体高さの変化を 1 カ月以上計測した。ただしサクション条件が 2.8MPa の場合、圧縮試験開始から水浸までの期間、供試体周辺の湿度環境に変化が起きないようセル内に湿度 98%の空気を循環させた。

定圧一面せん断試験の供試体は 115ｇの試料を採取し目標乾燥密度 1.60g/cm^3（間隙比 0.688）になるように 3020kPa 以上の平均上載圧を加えて静的に締固めた。高さは 2.55cm であった。異なる２条件のサクションを有する場合（110MPa と 2.8MPa）と定体積条件で水浸させた場合を試験対象とした。サクション 2.8MPa の制御は湿度 98%の環境下に供試体を約 1 カ月間静置した。せん断時の垂直応力を最大 1000kPa としたので、先行圧密（圧縮）応力と比較するとせん断過程は過圧密状態である。せん断変位速度は毎分 0.05mm としてせん断変位 8mm 付近まで定圧一面せん断試験を実施した。ただしサクション条件が 2.8MPa の場合、圧縮試験と同様にセル内に湿度 98%の空気を循環させて一定環境を保持した。

３　実験結果

３－１　圧縮試験結果　試料の土粒子密度を 2.7 g/cm^3 と仮定して間隙比を算出し、圧縮応力と間隙比の変化を図２に示す。圧縮応力が 100kPa に近づくとサクション 110MPa と 2.8MPa の供試体の間隙比に違いが見られ、サクション 2.8MPa の方が間隙比は小さく、圧縮性が高いといえる。圧縮曲線から求められる圧縮指数は、サクション 110MPa の場合に 0.421 であり、一方サクション 2.8MPa の場合に 0.677 であった。両者には 1.61 倍の違いが認められ、不飽和状態のベントナイトの圧縮性にサクションが影響するといえる。次に最大荷重の 3020kPa を維持した状態で水浸を行った時の間隙比の経時変化を図３に示す。サクションの大きさに関わらず水浸を開始すると供試体は沈下して間隙比が水浸前に比べ小さくなっている。しかし 100 時間経過後には間隙比の低下は見られなく

キーワード:サクション，ベントナイト，不飽和土/連絡先:栃木県足利市大前町 268　TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

表１　定圧一面せん断試験から得られたベントナイトの強度定数

	定体積水浸	サクション　110MPa	サクション　2.8MPa
せん断抵抗角（°）	0.95	18.0	18.0
見かけの粘着力(kPa)	61.3	165.0	110.0

なり、試験終了の約 960 時間まで一定状態が継続している。間隙比の変化を見るとサクション 110MPa の場合、1.200 から 0.935、サクション 2.8MPa の場合、0.673 から 0.603 であり、間隙比の低下量はサクション 110MPa の供試体が大きいことがわかった。また供試体は最大荷重を維持した状態で水浸を受けたことから正規圧密状態の圧縮ベントナイトは水浸により沈下を引き起こすといえる。

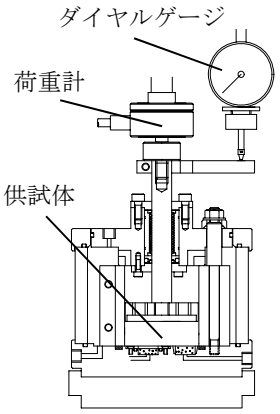

図１　圧密容器

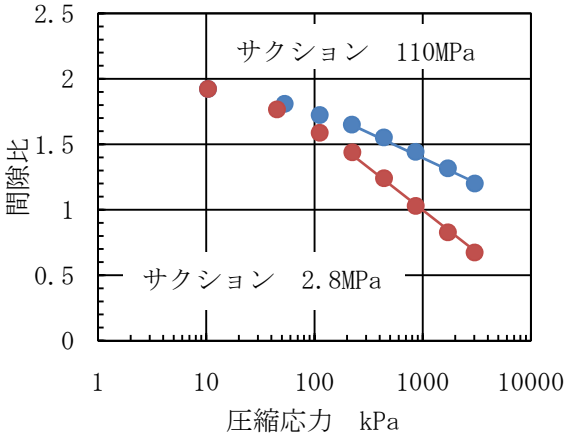

図２　圧縮曲線

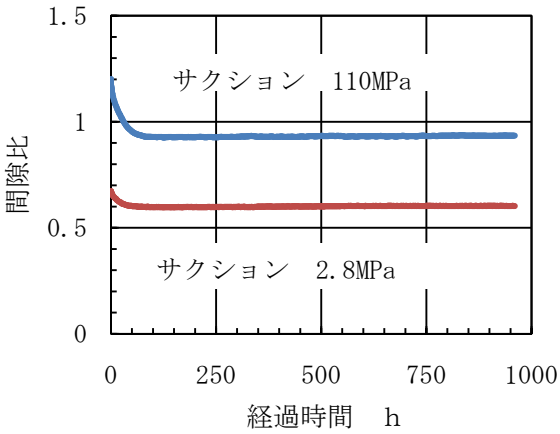

図３　間隙比の低下

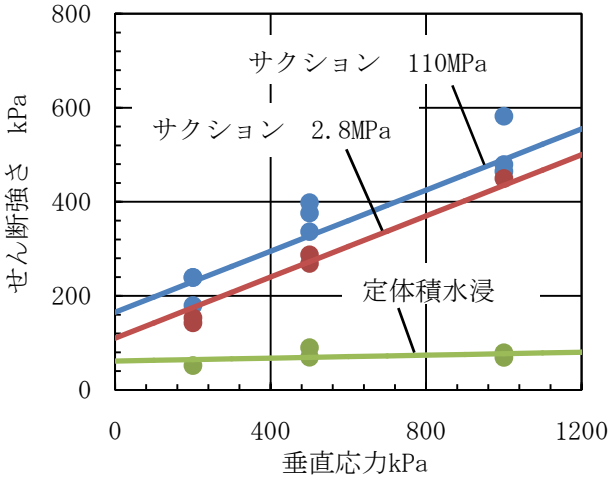

図４　破壊包絡線

３－２　定圧一面せん断試験結果　せん断応力－せん断変位曲線からせん断強さを求め、図４に破壊包絡線を描いた。圧縮ベントナイトのサクション 110MPa と 2.8MPa の場合、垂直応力の増加とともにせん断強さが明確に増加していることがわかる。一方、定体積条件で水浸させた供試体の破壊包絡線がほぼ水平である。破壊包絡線から得られた強度定数は表１のとおりである。せん断応力抵抗角はサクション 110MPa と 2.8MPa の場合に大きな相違はなく 18.0°を示しているが水浸を受けたベントナイトは 0°近くまで減少している。一方サクション 110MPa の場合に 165.0kPa の見かけの粘着力は、サクションの低下および水浸を受けることで大きく減少している。

４　まとめ

サクション 2.8MPa のベントナイトの圧縮指数は 110MPa のベントナイトに比べて大きく、圧縮性が高いことがわかった。また正規圧密状態の圧縮ベントナイトは水浸に伴い沈下を引き起こす。さらに過圧密状態の圧縮ベントナイトのせん断抵抗角はサクションの影響は見られないが、水浸を受けることで 0°近くまで減少する。見かけの粘着力はサクションの低下および水浸によって大きく減少する。

参考文献　1)核燃料サイクル開発機構：緩衝材の設計・製作，わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第２次とりまとめ－　総論レポート，pp.Ⅳ-41－Ⅳ-44，1999.　2)西村・古関：高サクション領域におけるベントナイトの水分量の測定，第８回環境地盤工学シンポジウム，pp.21-26，2009 年.　3)西村・古関:圧縮ベントナイトの一面せん断強さに与える水浸作用の影響，第６回地盤工学会関東支部発表会発表講演集，Geo-Kanto 2009,pp.120-122.2009.