

ベントナイトの定圧せん断強さに与える間隙水圧の影響

足利大学 創生工学科 西村友良

1 まえがき

放射性廃棄物処分施設が建設される地下空間での膨張性材料（ベントナイト）の工学的性質の検証は多角的に実施されている。膨潤圧特性の他に変形特性ならびに力学的性質の検証の調査・研究は重要である。高压型の三軸圧縮試験機を用いせん断過程の有効応力評価も有益な試験方法である。一方処分施設閉鎖後バリア構造体に水圧が作用した場合の飽和ベントナイトのせん断特性解明も不可欠な側面がある。本研究では改良型定圧一面せん断試験機を用いてベントナイトに大気圧以上の間隙水圧を作用させ定圧せん断強さを測定し間隙水圧作用の影響を検討する。

2 試料・試験方法

試料としてベントナイトクニゲルV1と砂（飯豊）を乾燥質量比7:3で混合し用いた。含水比は5.9%とし静的締固め乾燥密度を 1.600g/cm^3 に設定した。静的締固め時の圧縮応力は 3.5MPa 程度であり、供試体寸法は直径 6.0cm 、高さ 2.50cm であった。試料の水分保持曲線から供試体の初期サクシオンは 105MPa であった。使用した改良型定圧一面せん断試験機を図-1に示す。耐圧アクリルセル内に上下せん断箱が納められている。せん断箱に垂直荷重計、変位計が装着され、せん断上箱側面に水平せん断力を測定するための荷重計が接続している。水没させた状態でセル圧を作用することでせん断箱内の供試体には水圧（間隙水圧）を作用・載荷でき、同時に垂直応力も載荷可能である。



図-1 改良型定圧一面せん断試験機

試験手順として、締固めた供試体を定体積状態で膨潤、そして飽和させる。所定の間隙水圧を作用させた後、垂直応力を作用し、鉛直変位の進行が見られなくなったことを確認し、所定のせん断変位速度で定圧一面せん断試験を実施する。せん断開始から終了（水平変位 8.0mm ）まで間隙水圧は一定とした。間隙水圧無載荷は大気圧とした。応力条件として垂直応力範囲は 100kPa から 500kPa 、間隙水圧は 0kPa から 400kPa 。間隙水圧作用の場合は、垂直応力とその間隙水圧の差は 100kPa とした。またせん断変位速度は毎分 0.0005mm から毎分 0.8mm とした。

3 実験結果

図-2は異なる垂直応力を与えた場合の飽和供試体のせん断変位速度と定圧せん断強さの関係を示している。垂直応力は 500kPa 、 200kPa 、 100kPa 、間隙水圧は大気圧とした。垂直応力の増大によって定圧せん断強さが高まることは明白である。一方垂直応力 500kPa 、 200kPa の結果からせん断変位速度が増大しても定圧せん断強さへの影響はなく、垂直応力 500kPa 、 200kPa の供試体それぞれ、定圧せん断強さは 65kPa または 48kPa の値を示している。間隙水圧を載荷した場合の結果を図-3に示す。両者ともに垂直応力と間隙水圧の差は 100kPa として同一である。しかし垂直応力 500kPa 、間隙水圧 400kPa の供試体は高いせん断応力を示している。さらに垂直応力 500kPa 、間隙水圧 400kPa の応力条件で、せん断変位速度を毎分 0.0005mm から毎分 0.5mm に増大させた場合のせん断変位-せん断応力曲線を図-4に示す。定圧せん断強さとせん断変位速度の関係を図-5に示す。せん断変位速度が増すことで定圧せん断強さは 86.8kPa から 67.6kPa に減少している。せん断条件は異なるがNishimura and Matsumoto (2018)が報告した膨潤性材料の不飽和一軸圧縮強さは軸圧縮速度の増大とともに減少する結果と整合する。

次に間隙水圧載荷・作用条件をさらに検証するために、垂直応力 300kPa 、間隙水圧 200kPa と垂直応力 200kPa 、間隙水圧 100kPa の2条件のせん断変位とせん断応力の関係を図-6に示す。垂直応力と間隙水圧の差は 100kPa とし、せん断変位速度は毎分 0.8mm の比較的大きな値である。せん断開始とともに緩やかにせん断応力が増していることがわかる。せん断変位が 2.0mm 付近に到達すると概ね最大せん断応力に至っており、その後はせん断終了まで一定値を示している。さらに両者ともに定圧せん断強さは 64kPa 付近であり、差異は無視できる程度である。

キーワード：ベントナイト、定圧せん断強さ、間隙水圧/連絡先：栃木県足利市大前町268 TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

またせん断変位速度毎分 0.8mm で得た定圧せん断強さ 64kPa は図-5 の結果と比べると、せん断変位速度が増すとさらに定圧せん断強さが低下する定性的傾向に整合する。

間隙水圧・作用の有無を含む垂直応力を定圧せん断強さの関係を取りまとめた(図-7)。垂直応力 500kPa に対応する定圧せん断強さにはせん断変位速度が異なる結果も示されている。間隙水圧が大気圧の場合に比べて間隙水圧・作用の場合は、供試体の定圧せん断強さが上回る傾向が見られる。用いた供試体のように難低透水性材料の場合、载荷した間隙水圧が若干、供試体を等方的に応力する役割を果たすと考えられる。

4 まとめ

本研究では改良型定圧一面せん断試験機を用いて、砂を混合した飽和ベントナイトの定圧せん断強さを測定した。特に飽和供試体に垂直応力と間隙水圧の2つの応力を作用させ、間隙水圧の定圧せん断強さに与える影響を検討した。さらにせん断変位速度による強度変化についても明らかにした。飽和供試体に間隙水圧を作用することで、せん断変位速度の増大による定圧せん断強さの減少が見られた。間隙水圧が大気圧の場合と比べ大気圧以上の間隙水圧を作用させることで定圧せん断強さは増大する傾向が確認された。

参考文献 1) T. Nishimura and M. Matsumoto, Influence of thermal heating on unsaturated bentonite strength, The 7th International Conference on Unsaturated Soils, UNSAT 2018, pp.609-614, 2018.

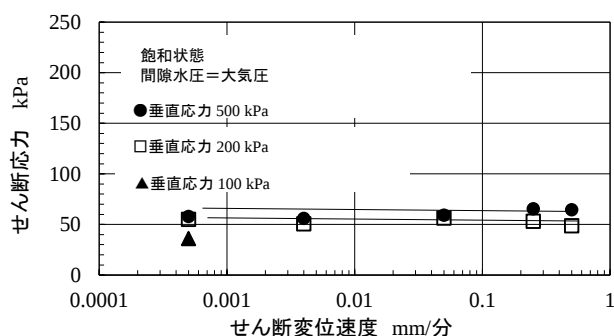


図-2 せん断変位速度とせん断応力の関係

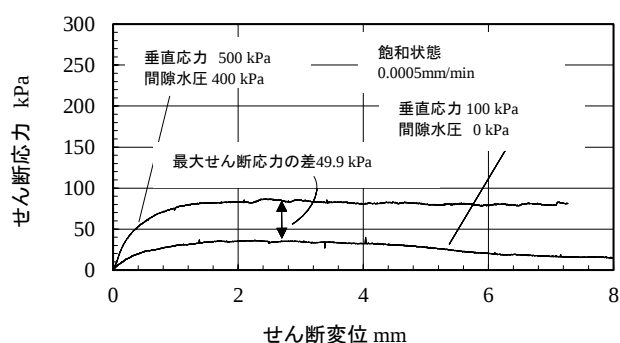


図-3 せん断変位とせん断応力の関係

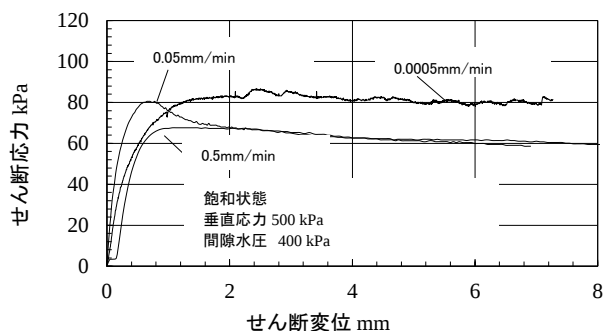


図-4 せん断変位とせん断応力の関係

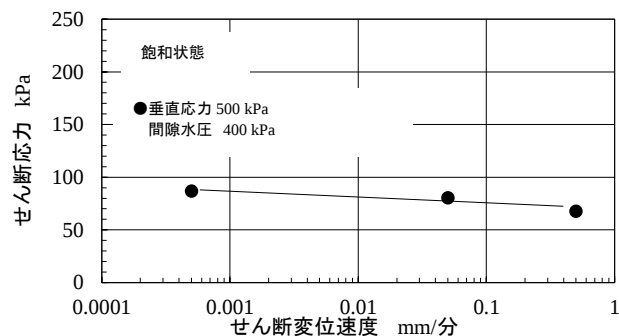


図-5 せん断変速度とせん断応力の関係

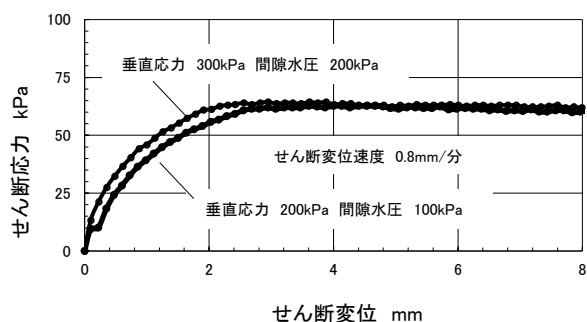


図-6 せん断変位とせん断応力の関係

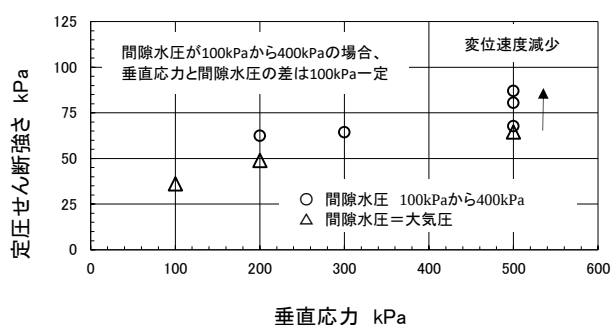


図-7 垂直応力と定圧せん断強さの関係