

高温作用・側方向応力を受けたベントナイトのせん断抵抗力の測定

足利大学 西村友良

1 まえがき

高レベル放射性廃棄物処分に向けた施設の建設には1万年を超える長期安全性確保が求められる。一方、膨張性材料で構築される人工バリアの性質解明は長きにわたり継続されているが多様な外的要因の存在によって安全性の不確実性にも配慮しなければならない。Thermo-hydro-mechanical-chemico (THMC) 挙動について連成的視点を重視する室内試験は不可欠である。しかし、試験装置の開発ならびに試験手順およびプロセスの複雑などから断片的な要素試験から総合判断を積み重ね THMC 挙動予測のパラメータ抽出を行う必要がある。本研究では主に熱作用を受けた不飽和・飽和状態のナトリウム型ベントナイトのせん断強さについて検討を行った。

2 試料・試験方法

試料にベントナイト（クニゲル V1）と珪砂（山形県西置賜郡飯豊町産）を用い、乾燥質量比 7:3 で試料を準備した。締固め含水比は 17%、乾燥密度 $1.600\text{Mg}/\text{m}^3$ 一定で静的締固めで作製した。供試体サイズは直径 38mm、高さ 76mm であった。供試体への高温作用下での三軸圧縮試験に高温三軸圧縮試験機（写真-1）を用いた。高温三軸圧縮試験機は2重セル構造となり内セル周囲に、ステンレス管を螺旋状に設置した。温度制御された高温水が循環型し等方的に供試体全体に均等な高温作用を与えた。供試体を覆うゴムスリーブ膜厚は 0.5mm である。等方的な高温下の供試体は排気・非排水状態とした。等方拘束圧を受けている状態でも熱膨張は生じる。しかし軸方向変位拘束、側方向変位拘束無しとした。拘束圧条件は 0.1MPa から 1.0MPa とし、圧縮時の軸ひずみ速度は 24 時間で 20%の軸ひずみ量とした。制御温度は 20°C、40°C、60°C、80°C とした。本研究では透水係数を求めた。写真-2 のように定体積膨潤による飽和化した供試体を恒温器内に置き等方的な加熱を与えた。供試体下端から水圧を与え、上端から浸透水を排水させる方法である。浸透水はイオン交換水である。浸透水は二重管ビュレットに排水され、ビュレットの水位（水面）の変化から透水係数を算定した。加熱最大温度は 80°C とした。チューブの膨張による水位変化への影響は考慮していない。

3 実験結果

熱的作用による膨張性土の微細構造の変質は力学的性質、浸透性に影響を及ぼすことは知られている。本実験結果を示す前に室内試験報告を3例示す。図-1 は不飽和供試体に等方加熱

を与えた後、所定の軸差応力（クリープ応力）を維持した際の破壊に至る軸ひずみ量発生開始時間の関係である。高温を受けた供試体は破壊に至る時間が早くなるといえる。飽和状態のベントナイトの高温作用影響に透水係数

キーワード: ベントナイト, 三軸圧縮試験, 高温, 透水係数, 不飽和土

連絡先: 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268 足利大学



写真-1 高温三軸圧縮試験機



写真-2 加熱併用透水試験装置

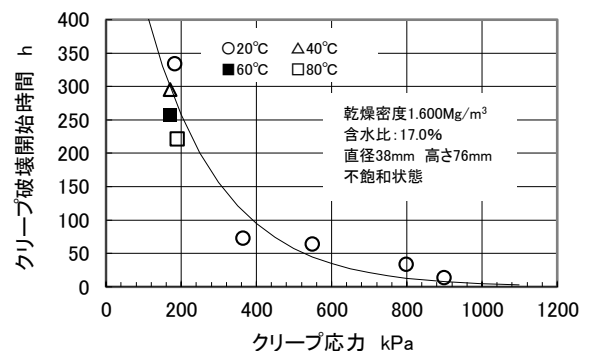


図-1 クリープ挙動に与える温度の影響

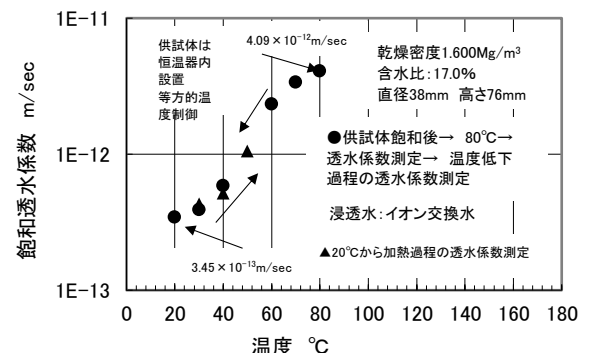


図-2 飽和透水係数に与える温度増減の影響

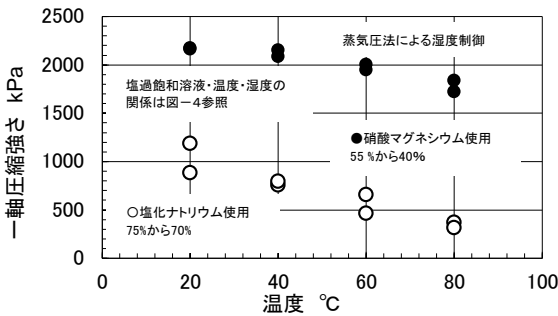


図-3 サクション変化を受けた不飽和ベントナイトの一軸圧縮強さと温度の関係

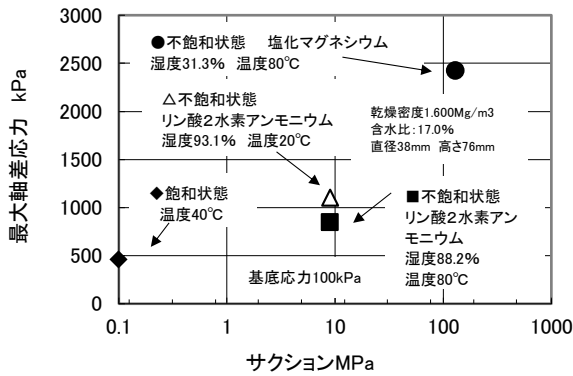


図-5 最大主応力差に与えるサクション・温度の影響

の変化がある。温度増加と透水係数の関係を示した報告は見受けられるが図-2は温度値の履歴に関する特性を示している。20°Cで膨潤飽和度後、80°Cに置き飽和透水係数を測定した。80°Cから20°Cに段階的の冷却過程で透水係数は $4.09 \times 10^{-12} \text{m/sec}$ から $3.45 \times 10^{-13} \text{m/sec}$ に遮水性が回復する。再び温度上昇を与えることで遮水性の低下が進行することがわかる。さらに高温作用にサクション変化を連成させ、せん断抵抗力への影響を図-3に示す。不飽和供試体に温度20°Cから80°Cの環境の中で蒸気圧法によって概ね湿度40%、70%として異なるサクションを制御した。湿度の大きさに関わらず加熱によって一軸圧縮強さは減少し、温度加熱と一軸圧縮強さ低下の定性的挙動に差異は少ない。超小型温湿度記録計（精度 $\pm 0.5\%$ 、20°C~80°C

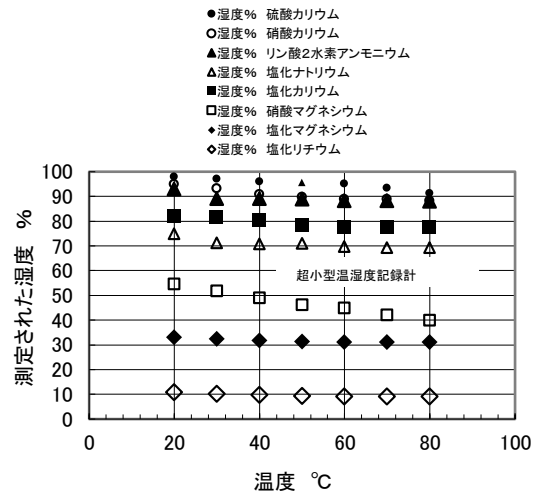


図-4 温度と測定された湿度の関係

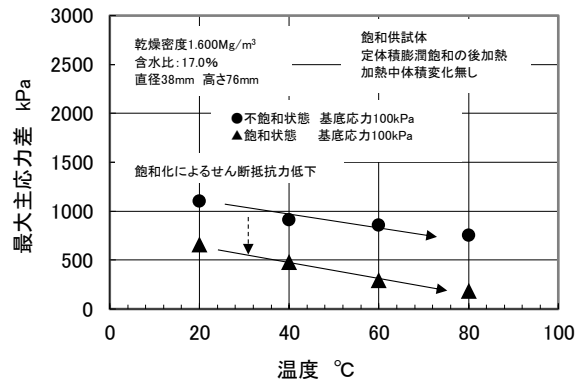


図-6 最大主応力差に与える温度の影響(不飽和・飽和)

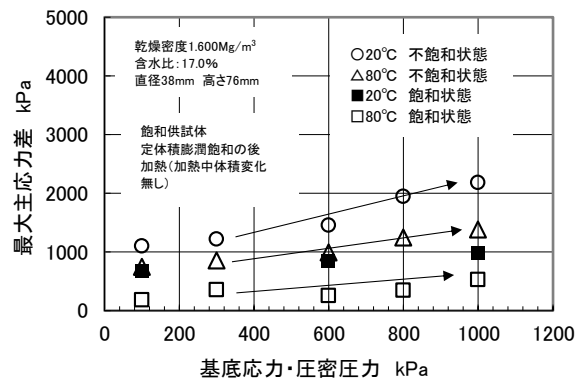


図-7 最大主応力差に与える温度・飽和化の影響

外径17.4mm、高さ5.9mm)と塩過飽和溶液を耐圧耐熱容器に置き、容器内の温度と湿度を測定した。図-4のように温度上昇で湿度は低下傾向にある。Tangら¹⁾の結果に一致する部分と整合しない部分があるが機器の計測原理や精度にも関わりがあるといえる。三軸圧縮試験結果(図-5)からせん断抵抗力低下の要因は、高温作用のみではなく、サクションの減少さらに飽和化も加わることから、室内試験条件においてTHM挙動の連成要因制御が不可欠である。また基底応力100kPa一定で高温作用ならびに膨潤飽和の影響(図-6)では2つの要因は最大主応力差低下を引き起こすといえる。最後に限定的な温度の違いで膨潤飽和化、側方向応力の影響を検討した(図-7)。せん断抵抗力低下が顕著に見られるのは膨潤飽和化と温度増加を受けることであるといえる。

4 まとめ

本研究では不飽和・飽和状態のナトリウム型ベントナイトのせん断強さについて高温・加熱作用、サクション効果、膨潤不飽和化、側方向応力などの多数の要因について検討を行った。

参考文献 1) A.M. Tang & Y.J. Cui. (2005). Can. Geotech. J, 42, 1, 287-296.