

高密度ベントナイトの飽和三軸試験と不飽和三軸試験へのアプローチ

名城大学大学院
名城大学

学生会員 ○高田英典
正会員 小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

放射性廃棄物の地下処分において、緩衝材および遮水材として用いられる高密度ベントナイトは、処分場建設時の不飽和状態から、地下水環境下にて数十年を経て飽和状態に移移する。そのため、処分場を合理的に設計するためには、不飽和から飽和過程を含む高密度ベントナイトの力学特性を把握する必要がある。本報では、飽和ベントナイト供試体の三軸圧縮試験を実施し、飽和状態の高密度ベントナイトの力学特性について考察する。また、不飽和ベントナイト供試体の三軸試験のために製作した二重セルについての検証を行う。

2. 試験方法

試料には、粉末状ベントナイト（クニゲル V1, 初期含水比 10%）に三河珪砂 6 号を乾燥質量比 30%混合したものをを用いた。含水比調整を行った試料を油圧ジャッキにより圧縮成形し、乾燥密度 1.40 および 1.60 Mg/m^3 の珪砂ベントナイト供試体を作製した。作製した供試体は図 1 に示す高圧三軸試験装置にて負圧を作用させた後、高拘束圧下で給水させ飽和化を行った。三軸試験は、背圧 0.5MPa, 拘束圧 1.0MPa, 1.5MPa, 2.0MPa で CU 試験を実施した。せん断は載荷速度 0.01%/min で軸ひずみ 20%まで行った。表 1 に各試験ケースを示す。

3. 三軸試験結果

図 2(a)に軸ひずみ～軸差応力関係を示す。いずれの供試体でも軸ひずみが 7.5%程度で軸差応力が最大となり、その後は同等の値か若干低下している。また、供試体の乾燥密度および拘束圧が大きくなるほど、最大軸差応力が大きい値となっている。CASE F と CASE G を比較すると、圧密時間が長い CASE G の方が大きい値を示している。図 2(b)に有効応力経路を示す。CASE A, B および D～G については、せん断が進み、軸差応力が最大軸差応力に到達すると、負のダイラテンシーによる塑性圧縮を伴うひずみ軟化の挙動を示している。一方、CASE C については、せん断初期では他の試験ケースと同様の挙動を示しているが、せん断が進むにつれ、正のダイラテンシーを発現している。その後、最大軸差応力を迎えた後は塑性膨張を伴うひずみ軟化挙動を示している。これは CASE C の拘束圧が 1.0MPa と、ベントナイトの一般的な膨潤圧 1.2MPa よりも小さいため、供試体が過圧密に近い状態になったためと考えられる。しかし、せん断終了時の最終状態

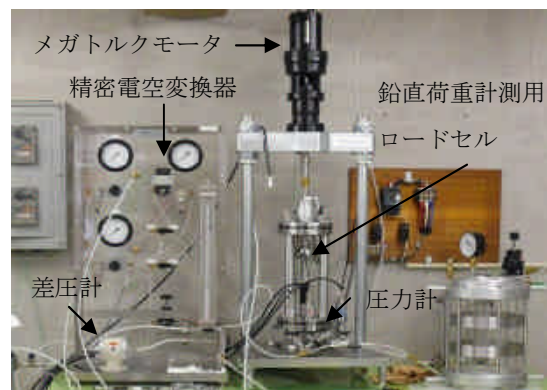
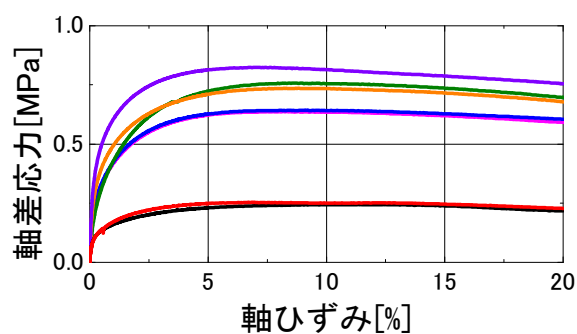


図 1 高圧三軸試験装置

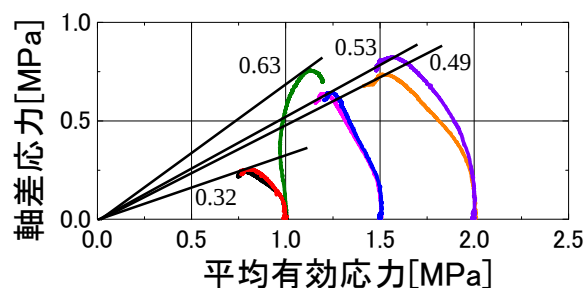
表 1 試験ケース

試験 CASE	A	B	C	D	E	F	G
乾燥密度 [Mg/m^3]	1.4		1.6				
有効拘束圧 [MPa]	1.0		1.5		2.0		
圧密時間 [day]	31	6	5	8	20		

— CASE A — CASE B — CASE C — CASE D
— CASE E — CASE F — CASE G



(a) 軸ひずみ～軸差応力関係



(b) 平均有効応力

図 2 三軸試験結果

は CASE D, E に近づく結果となった。それぞれの破壊応力比 M を求めると, CASE A, B では 0.32, CASE C は 0.63, CASE D, E および G は 0.53, CASE F は 0.49 となった。

4. 2重セルの検証

処分場建設時の不飽和状態の高密度ベントナイトの力学特性を把握するために, 不飽和状態のベントナイト供試体の三軸試験を実施する。その際, 飽和供試体であれば吸排水量の計測によってせん断試験中の体積変化を計測することができるが, 不飽和供試体では供試体内に存在する気相の体積変化を正確に計測することが変形特性を把握する上で必要不可欠である。本研究では, 不飽和条件下での供試体の体積変化を精密に計測するために, 既往の三軸試験装置を2重セル構造への改造を行った。図3に2重セルに改造した三軸試験装置の概略図を示す。

本報では, 2重セルを用いてカオリンの三軸試験を実施し, 2重セルの精度について検討を行った。具体的には, 含水比調整を行った粉末状カオリンを試験試料とし, 珪砂ベントナイト供試体と同様の手順で, 乾燥密度 1.26 Mg/m^3 の供試体を作製し, 図3の三軸試験装置で三軸試験を実施した。三軸試験は, 背圧 200 kPa , 有効拘束圧 200 kPa で CD 試験を実施した。せん断は載荷速度 $0.02\%/ \text{min}$ で軸ひずみ 15% まで行った。

図4に圧密時の経過時間～排水量関係を示す。凡例は供試体排水量と内セルへの流入量を示している。供試体の排水による体積収縮によって生じた内セルの間隙への流入が確認され, 供試体の排水量と内セルへの流入量は同様の挙動を示した。しかし, 圧密時間の経過に伴い若干の差が見られ, 最終段階では内セルへの流入水量が供試体の排水量を上回る結果となった。図5にCD試験中の経過時間～排水量関係を示す。凡例は供試体排水量と内セルへの流入量を示している。せん断開始と共に, 供試体の排水と, 内セルへの流入が見られた。圧密試験と同様に, 供試体の排水量と内セルへの流入量は同様の挙動を示した。しかし, 内セルへの流入量が供試体の排水量を若干上回る結果となったため, 内セルの改良などにより, これら排水量の違いを少しでも小さくする予定である。

5. まとめ

飽和状態の高密度ベントナイトの力学特性を把握するために, 飽和供試体を用いて三軸圧縮試験を実施した。試験結果より, 飽和状態の高密度ベントナイトの基礎的な力学特性を把握することができた。今後はさらに乾燥密度や拘束圧等の条件を変更した試験を行い, ベントナイトの膨潤特性を踏まえた, 高密度ベントナイトの力学特性の評価を行いたいと考えている。また, 不飽和状態の高密度ベントナイトの力学特性を把握するために作製した2重セル構造の三軸試験装置についての検討では, 2重セルを用いることで供試体の体積変化を内セルの吸排水量で概ね把握することができた。今後は, 2重セルを用いた三軸試験を実施することにより, 不飽和状態のベントナイトの力学特性の把握を行う予定である。

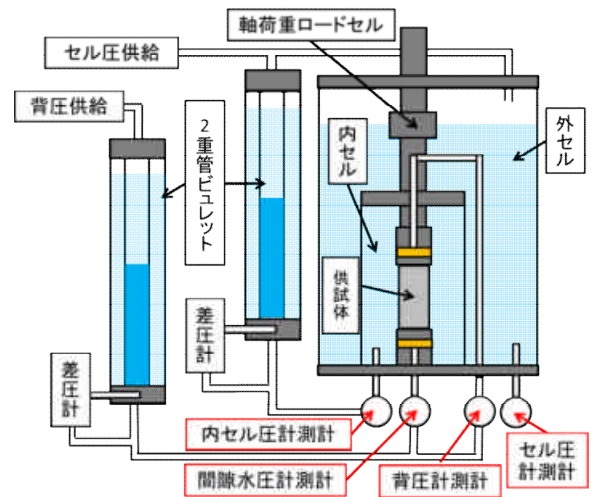


図3 2重セル改造後の三軸試験装置 (概略)

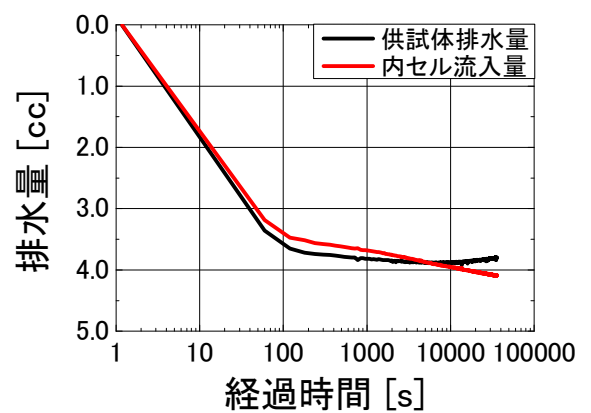


図4 経過時間～排水量関係 (圧密試験)

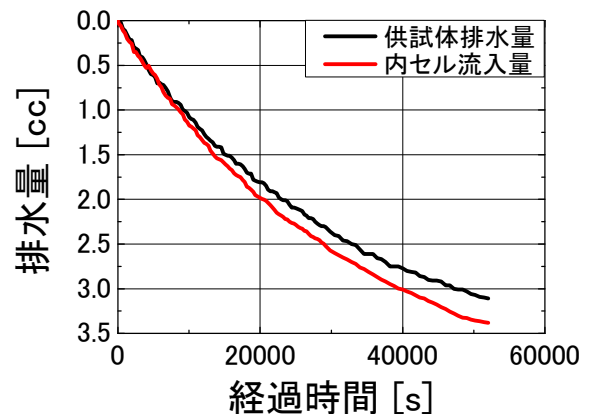


図5 経過時間～排水量関係 (CD 試験)