

除荷過程を含む堆積軟岩の変形と浸透特性に関する実験的研究

埼玉大学 学生会員 ○新井 謙太
 埼玉大学 学生会員 小西 亮平
 埼玉大学 正会員 長田 昌彦
 埼玉大学 正会員 山辺 正

1. はじめに

近年，放射性廃棄物の地層処分計画が進められている。処分場を建設する際，岩盤中に空洞を掘削すると周辺岩盤の強度特性，変形特性，浸透特性が変化することが知られている。このような領域は掘削影響領域（以下，EDZ）と呼ばれ，処分場の安全性を議論するにあたり特に重要視すべき点である¹⁾。

本研究ではEDZにおける岩盤の変形特性，浸透特性の変化を把握するために，堆積軟岩のコアサンプルを用いた各種室内試験を実施し，せん断変形下における変形特性，浸透特性の変化について検討した。

2. 実験の概要

本研究の供試体には軽石凝灰岩を使用した。採取深度は85 m ~ 100 m で供試体ごとに異なる0.1 cm ~ 5.0 cm 径のパミス（軽石）を含み，不均質性の強い特性を持っている。一軸圧縮強さは2.0 MPa，引張強さは0.2 MPaであった。また，本研究に用いた試料の諸物性値を表-1に示す。

表-1 軽石凝灰岩の物性値

土粒子密度 G_s	2.34 (g/cm^3)
湿潤密度 ρ_{sat}	1.50 ~ 1.62 (g/cm^3)
乾燥密度 ρ_{dry}	0.92 ~ 0.98 (g/cm^3)
初期空隙率 n	57.98 ~ 60.99 (%)

透水試験では供試体下面から透水圧0.03 MPaを作用させ軸方向に透水させた。供試体側面は不透水とした(図-1)。

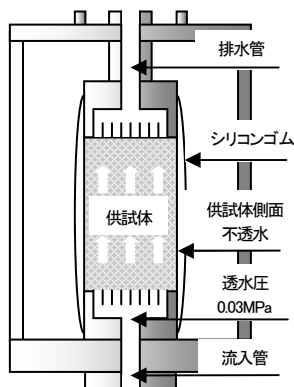


図-1 透水装置のセル内概略図

3. 試験結果と考察

3-1. 等方圧下透水試験

供試体を三軸セルにセットし，等方圧0.1 MPa，透水圧0.03 MPa（以下，初期状態）にて1~2時間圧密透水する。この時の透水係数を $k_{initial}$ とした。その後，供試体ごとの設定等方圧まで徐々に等方圧を上げていき，24時間圧密透水させる。

本研究で用いた供試体は先に述べたように非常に不均質ではあるが，初期状態における透水係数はおよそ $3 \sim 7 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ の範囲に分布していた。図-2は各供試体に設定等方圧を作用した時の，等方圧と無次元化透水係数の関係である。3.0 MPaではばらつきがあるが，等方圧増加に伴い無次元化透水係数が低下するという，非線形な負の相関が確認できた。

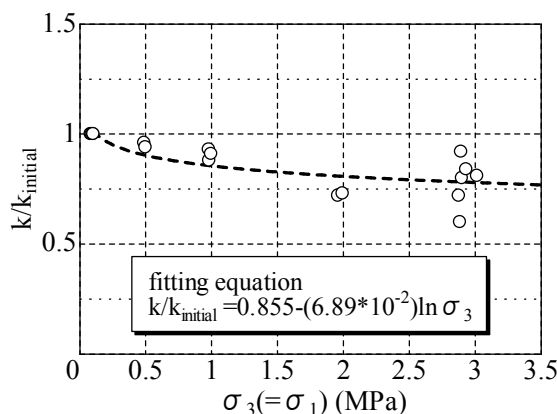


図-2 各等方圧における無次元化透水係数

3-2. 三軸せん断変形下透水試験

等方圧下透水試験に引き続いて行う。変位制御で軸差荷重を載荷して行く。供試体破壊前は軸ひずみの進行0.2%，破壊後は0.5%ごとに載荷を停止し変位を固定する。軸ひずみが3.0%に達した段階で載荷終了とした。

図-3にせん断試験の結果を示す。軸ひずみの変化に伴う(上)軸差応力の変化，(中)体積ひずみの変化，(下)無次元化透水係数の変化を表す。ひずみは圧縮を正，膨張を負としている。低拘束圧条件ではひずみ軟化にともない透水係数が上昇し，試験後にはせん断破壊面が確認できた。特に拘束圧0.1 MPaの供試体では透水係数は最大で初期状態の4倍まで上昇している。高拘束圧条件では

キーワード 堆積軟岩，浸透特性，掘削影響領域，除荷試験

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学地圏科学研究センター TEL048-858-3547

塑性的挙動を示しており、低拘束圧条件で見られたような透水係数の上昇は見られなかった。試験後には供試体が樽型に変形していることが確認できた。また拘束圧 $0.1\text{ MPa} \sim 1.0\text{ MPa}$ では塑性体積膨張が生じているが拘束圧 3.0 MPa では生じていない事が分かる。

3-3. 平均有効応力除荷透水試験

等方圧下透水試験に引き続いて行う。よりEDZを考慮するために、土被りに相当する初期応力状態から徐々に平均有効応力を除荷して行き、その応力状態の変化に伴う変形挙動および透水挙動を測定する。

図-4に除荷試験の結果を示す。平均有効応力の変化に伴う(上)せん断力の変化、(中)体積ひずみの変化、(下)無次元化透水係数の変化を表す。平均有効応力が除荷され破壊に至った後、透水係数が増加している事が分かる。また、試験開始時の平均有効応力の値が同じであっても、破壊時の応力状態によって透水係数の増加傾向が異なる事が分かる。破壊基準線に接する時点の応力状態が低いほど、透水係数の上昇傾向が大きくなっている。体積ひずみの変化をみると、試験開始時の平均有効応力が小さいほど破壊後の変形挙動が大きく、透水係数の変化傾向と似ている。さらに応力経路にかかわらず、平均有効応力が $1.0\text{ MPa} \sim 1.5\text{ MPa}$ よりも小さくなると透水係数が上昇するという点も特徴的である。

4. まとめ

1. 等方圧下における透水係数は等方圧に依存しており、非線形な負の相関が見られた
2. 軸差荷重を載荷すると、低拘束圧ではひずみ軟化に伴う透水係数の上昇、およびせん断破壊面が確認できた。高拘束圧では塑性的挙動を示し、変形は進むものの透水係数に変化は見られなかった
3. 平均有効応力を除荷して破壊に至った場合、せん断試験と同様に破壊後の透水係数の上昇が確認できた。この透水係数の上昇は破壊時の応力状態に依存していた
4. 体積ひずみの進展にかかわらず、平均有効応力がある値よりも小さくなると、透水係数の上昇が見られるというのが特徴的であった

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：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次取りまとめ、pp.III-71

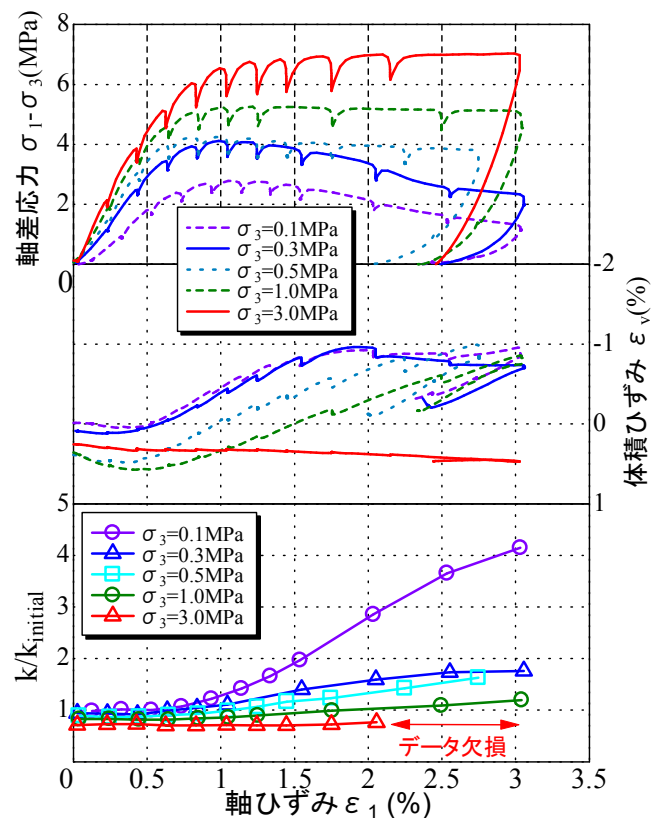


図-3 三軸せん断変形下透水試験結果

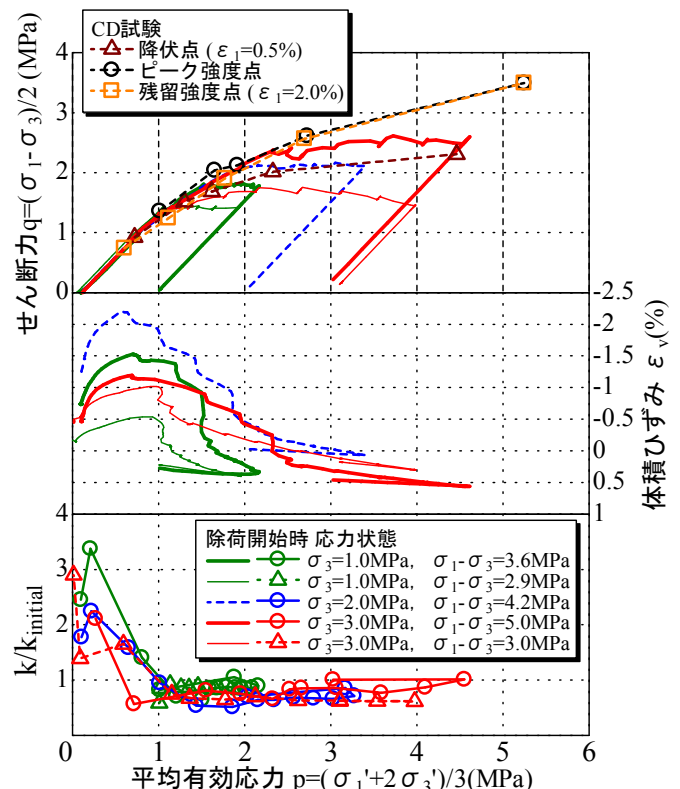


図-4 平均有効応力除荷透水試験結果