

流れの可視化技術を活用した岩盤不連続面内の開口幅の推定

長崎大学工学部 学生員 ○吉田敬一 長崎大学大学院 学生員 李 博
 長崎大学大学院 学生員 矢野孝樹 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
 長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦

1.はじめに

岩盤内の物質移動特性を大きく支配する岩盤不連続面は、内部構造が非常に複雑であり、開口部が不均質に分布している。そのせん断-透水の挙動を把握する方法として、平行平板モデルが適用されているのが現状である^{1,2)}。そこで、本研究では岩盤不連続面内の開口幅分布と透水特性を解明するため、新たに構築する可視化技術を活用して、せん断に伴う不連続面内の接触状態の変化を調べ、その評価方法を確立することを目的としている。

2.可視化技術の確立

岩盤不連続面間にせん断が生じると、表面凹凸の乗り上げや損傷により、開口幅が変化し、透水特性に大きな影響をもたらす。本研究では、不連続面上の開口幅の分布をせん断-透水試験中で連続的に計測することを可能とするため、不連続面を再現したアクリル供試体を通して、水の流れの可視化を試みた³⁾。これは、不連続面内に染色液を流すことでその濃淡を撮影画像の輝度値に置き換え、定量的に開口幅の大小を求めるものである。ここで輝度値とは、色の濃淡を数値化したものである。

まず、輝度値と開口幅の関係を定義する為、図-1 に示すように上部にアクリルの平板を設置し、下部に一定の勾配をつけた石膏供試体で、染色液を不連続面内に流し画像を撮影する実験を行う。併せて、未染色液でも同様の実験を行い、両者の差分をとって影や光のノイズを除去した結果、開口幅と輝度値との間に図-2 に示す相関関係を得た。これより近似式(1)を求め、以下のせん断-透水試験の解析に適用した。

$$e_v = 0.0318b^{1.2062} \quad (1)$$

ここで、 b は輝度値、 e_v は可視化による開口幅である。

3.せん断-透水試験

3.1 試験ケース

せん断-透水試験では、不連続面に対する垂直荷重を 1.0MPa と設置し、せん断速度を 0.5mm/min とした。透水実験を行う際に、不連続面に水を流す水頭差を 3 段階に変化させて、計測した 3 回の試験の平均から透水量を求める。式(1)を適用する際に水温を 20℃ と一定に保ち、水の動粘性係数が $1.004 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ とした。

3.2 開口幅の算出方法

図-3 に開口幅の概念図を示している。せん断-透水試験において撮影した画像より算出された輝度値に関係式(1)を適用させ、各要素における不連続面開口幅を算出する。なお、カメラの解像度に応じて流れ範囲は 1024×1024 に分割するため、全ての要素($i, j=1, 2, \dots, 1024$)の平均開口幅を算出する。図中の e_{vij} は微小要素の可視化による開口幅である。また、力学的開口幅 E 及び水理学的開口幅 e は次の手順で求める。つまり力学的開口幅 E は、せん断試験機に設置された変位計より得られた平均垂直変

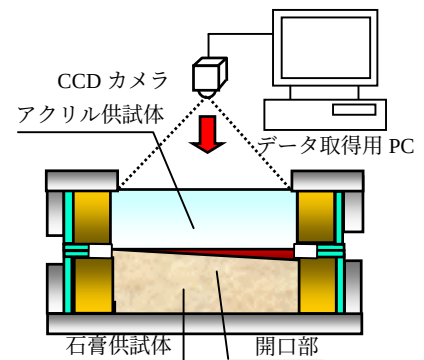


図-1 可視化システムの概略図

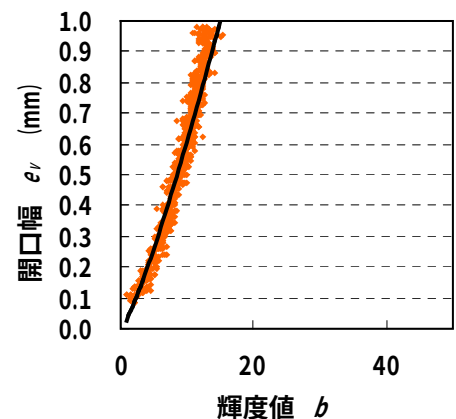


図-2 輝度値と開口幅の関係

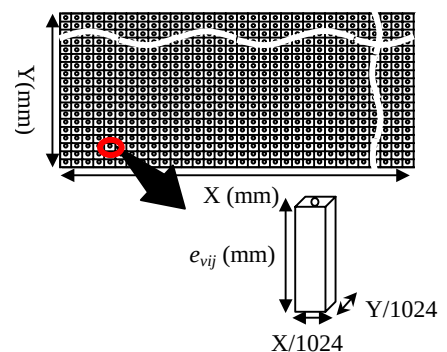


図-3 可視化による開口幅の概念図

位で評価し、水理学的開口幅 e はせん断 - 透水試験で得られる透水量に、式(2)に示すダルシー則を適用させることで逆算される。

$$Q = Av = Aki = We \cdot \frac{ge^2}{12\nu} \frac{\Delta h}{L} \quad (2)$$

ここで、 g は重力加速度、 Δh は水頭差、 A は断面積、 e は水理学的開口幅である。

3.3 不連続面内の開口幅の算出と分布特性

せん断-透水試験によって得られた不連続面供試体の輝度値に関係式(1)を適用すると、開口幅の分布が算出できる。図-4 にせん断変位の増加につれ、不連続面内の接触状態の変化を示す。せん断変位の増加に伴い接触領域が減少し、開口幅が大きくなっている。また、せん断変位 3mm 以降では開口幅の変化は顕著であるが、せん断変位が 8mm を超えるとほぼ一定となることが分かる。

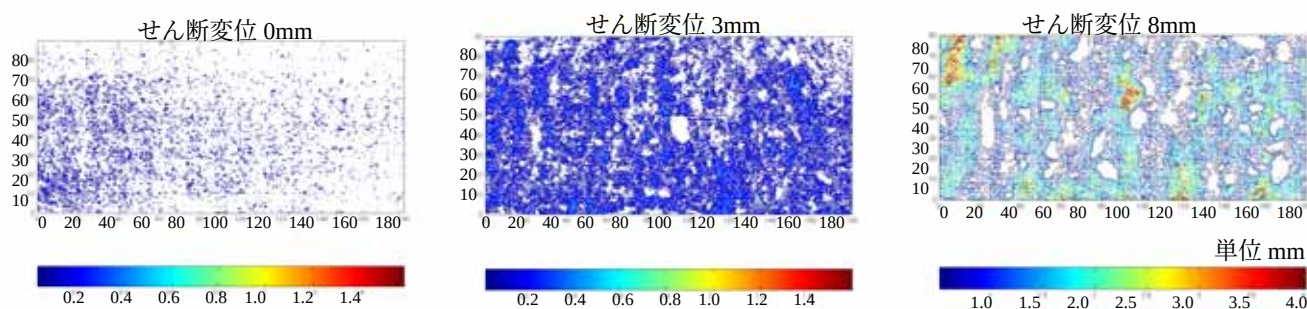


図-4 各せん断変位における開口幅の分布

3.4 力学的・水理学的・可視化による開口幅の比較

図-5 に各せん断変位における可視化による開口幅と力学的開口幅、水理学的開口幅の比較を示している。可視化による開口幅 e_v は他の2つに比べ値が小さい。これは e_v においてが不連続面の表面の接触影響を考慮しているためである。また、力学的開口幅と水理学的開口幅は類似した挙動を示すが、水理学的開口幅がせん断変位 10mm 以降において力学的開口幅より小さくなった。これは不連続面に凹凸が存在することにより、水の流れに摩擦を与え、流速が損失したためと考えられる。

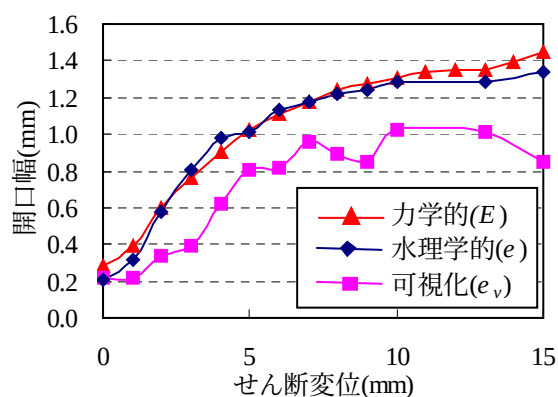


図-5 せん断変位と開口幅の関係

4. 終わりに

本研究では、せん断-透水試験及び可視化技術を併用することで岩盤不連続面内の開口幅の測定技術を確立し、接触状況から開口幅を算出した結果、不連続面の表面形状が流れに対して摩擦を生じることが判明した。今後の課題として、不連続面の接触状況と摩擦効果を考慮した高度なせん断-透水モデルを構築していく。

【参考文献】

- 1) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発，2002。
- 2) 蔣宇静：岩盤不連続面のフラクタル特徴とせん断挙動および透水特性との関係，科学研究費補助金(奨励研究 A) 成果報告書，1999。
- 3) 矢野孝樹, 李博, 蔣宇静, 棚橋由彦：流れの可視化技術による岩盤不連続面のせん断 - 透水同時特性の実験的評価 平成 18 年度土木学会西部支部研究発表会, 公演概要集 CD-ROM, 2001。