

## 接触状態を考慮した岩盤不連続面内の流動機構の実験的解明

長崎大学工学部 学生会員 ○田島 成一郎 長崎大学大学院 学生会員 李 博  
 長崎大学大学院 学生会員 吉田 敬一 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静  
 長崎大学大学院 フェロー 棚橋 由彦

## 1. はじめに

岩盤不連続面における流体の流れは、一般的に開口幅の3乗に比例する3乗則により評価されているが、これは層流の場合にのみ適用される<sup>1)</sup>。自然岩盤不連続面では複雑な内空孔構造を有しているため、層流から乱流への遷移が早いと推測される。本研究では3乗則の適応範囲を捉えるため、自然岩盤不連続面を模擬する人工不連続面供試体を作成し、岩盤不連続面における流動機構と乱流の発生条件を明らかにする。

## 2. せん断 - 透水試験装置による実験の概要

図1に透水試験機の構成を示す。上部をアクリル供試体、下部を石膏供試体とすることで、アクリル供試体を通して、間隙の水の流れを撮影することで不連続面内の開口幅分布をせん断 - 透水試験中でも連続的に計測することができる。本研究ではこれを可視化と呼び、表面凹凸の乗り上げや損傷による開口幅、接触領域の変化を定量的に評価する点が主な特徴である。

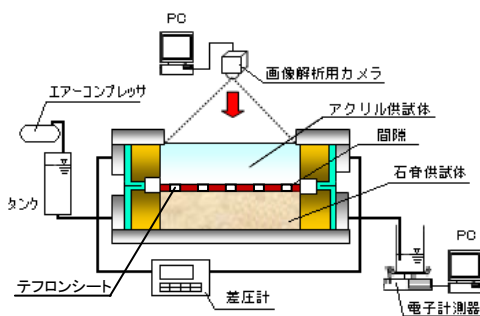


図1 透水試験機模式図

## 3. 平板内透水試験

## 3.1 接触率の設定

二つの供試体面の間にテフロンシートを挟み、任意の開口幅を持たせた平板内透水試験を行う。不連続面において単位面積当たりの接触領域を接触率(C)と定義する。接触率0%の透水試験では、開口幅を0.2~1.0mmの6段階に分け、間隙中における層流から乱流への遷移特性を捉える。

接触面を設け模擬した不連続面供試体による透水試験では、岩盤不連続面のせん断試験結果から接触率が一般に30%以下であることを踏まえ、接触率15%、20%の2ケースにより実施した。図2に接触率15%のアクリル供試体の概要を示す。そして、各接触率において透水試験を行い、エネルギー損失により透水量が減るという現象に着目し、層流から乱流への遷移点を明らかにする。加えて、接触率の変化が遷移点にどのような影響を与えるのかについても考察する。

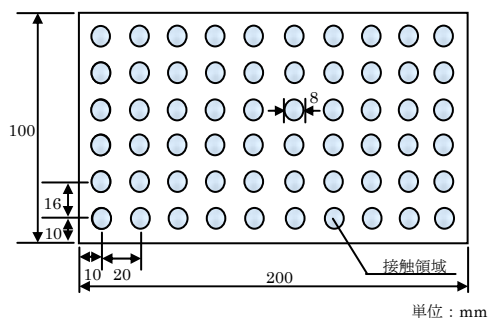


図2 アクリル供試体 (接触率 15%)

## 3.2 層流から乱流への遷移条件

図3是水頭差と透水量の関係を示す。図3(a)より開口幅0.2mm、0.3mmで透水量が水頭差に比例している。また同図に記載していないが、水頭差を200cm、500cmとした場合も遷移点は確認できなかった。しかし、開口幅0.6~1.0mmのケースにおいて補助線で示した比例関係から離脱し始めた点が現れる。その時のRe数をまとめたものを図4に示す。

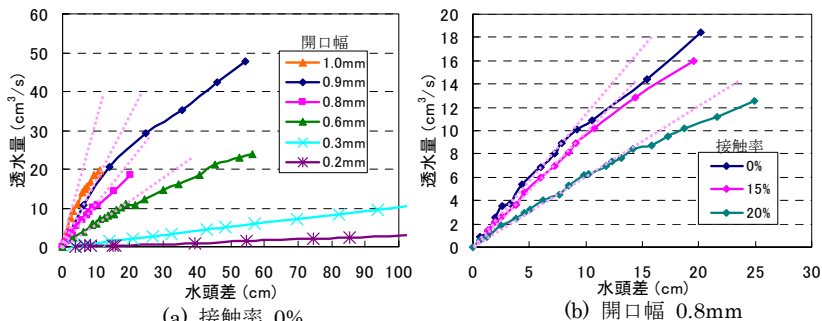


図3 水頭差 - 透水量の関係

図4(a)より、概ね $Re=200$ 付近であり、接触率0%時の層流と乱流の遷移点と考えられる。また、開口幅が大きくなるにつれ水頭差が小さくても、流れが乱流に移行する可能性があることがわかる。

キーワード 岩盤不連続面、透水特性、レイノルズ数、接触状況、可視化技術

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学 工学部 社会開発工学科 地盤環境研究室 TEL : 095-819-2618

### 3.3 接触率と透水特性との関係

上記の平板内透水試験(接触率 0%)の結果を受けて開口幅を遷移点が表れた 0.8mm に設定し、接触率を 0%、15%、20% と段階的に上げていった際の実験結果を図 3 (b)、図 4 (b)に示す。図 4 (b)より、接触率が高くなるにつれて遷移点の Re 数は減少する傾向にあることがわかる。

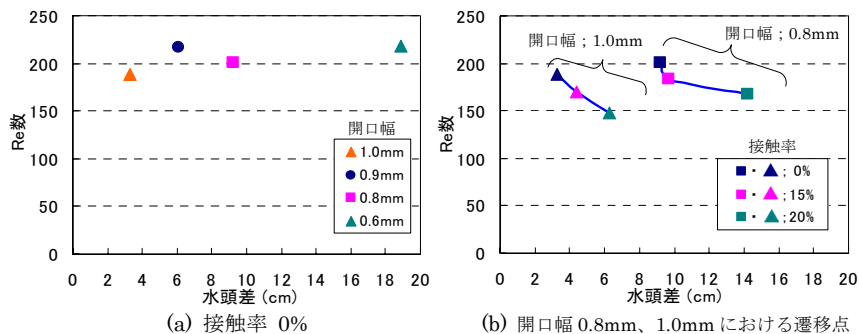


図 4 遷移点における水頭差 - Re 数の関係

また、開口幅を 1.0mm にした場合も同様である。さらに、接触率 0%と 15%の曲線の差より接触率 15%と 20%の差が大きい。これより、接触率が高い際の変化ほど透水特性に対する影響力が顕著になることが推測される。

## 4. 不連続面供試体を用いたせん断 - 透水試験

### 4.1 試験概要

表 1 に従い、せん断速度を 0.5mm/min とし、不連続面供試体のせん断 - 透水試験を行う。可視化の際は浸透水と食紅の質量比 800:1 の

| CASE | 上部/下部材料 | 载荷条件 (初期垂直応力)                        |
|------|---------|--------------------------------------|
| 1    | アクリル/石膏 | $\sigma_{n0} = 1.5\text{MPa}$ (CNL*) |
| 2    | アクリル/石膏 | $\sigma_{n0} = 1.0\text{MPa}$ (CNL)  |

\*CNL: 垂直応力一定制御

割合で着色する。但し水温を 20℃に保ち、動粘性係数を  $1.004 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$  としている。

### 4.2 せん断過程における透水特性の変化

図 5 に透水量と透水差から算出した水理学的開口幅と垂直変位計で得た力学的開口幅の比較を示す。またせん断初期では供試体同士の噛み合わせ状態がよくほぼ透水しないことを確認している。測定開始後、負のダイレイションが発生する。ピーク後、正のダイレイションへと推移しており、不連続面の乗り上げによる開口幅の急な増加が窺える。せん断変位 10mm 付近で開口幅の増加が衰え一定となる。図 6 に CASE1 での水頭差と Re 数の関係を示す。ここで遷移点の分布により、ステージ 1(せん断変位 3~5mm)、ステージ 2(せん断変位 6~8mm)、ステージ 3(せん断変位 9~13mm)に分ける。

ステージ 1 を初期段階と位置づける。流路が限られ流速も遅く、乱流へと遷移することが難しいため遷移点が見られない。ステージ 2 は主な流路が形成し始める段階である。この段階では開口幅の増加に伴い流量が急増し、乱流が発生しやすい状態となる。また、図 7 は可視化により接触領域を白で表している。図 7(a) から、接触領域も数多く分布しており流路が曲がりやすい状況であるため層流から乱流への遷移を促進させ、遷移点が極度に早い段階(Re=50 付近)で表れたと考えられる。図 7(b)より、ステージ 3 では複雑だった流路が次第に緩和化する。ステージ 2 より乱流へと誘発させる要因が減少し、遷移点の Re 数が高い値(Re=150 付近) となったと推測される。また、この接触率の低下による遷移点の上昇という現象は、模擬した不連続面供試体による透水試験結果の図 4(b)と類似している。

## 5. おわりに

岩盤不連続面内を模擬する間隙中における透水試験により、せん断過程における透水特性の変化及び層流から乱流に移行する遷移点を捉えた。加えて、狭い間隙中における透水特性の変化は接触率に大きく起因し、特にせん断過程で主な流路が形成し始まる段階では、遷移点が極度に早い段階で表れることが判明した。このことは実験室から実現場へと適応させるため、マクロ化する際の重要な要素のひとつであると言える。また結果を基に、平行平板モデルの補正方法の提示と検証を進めていくことが今後の課題である。

【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。

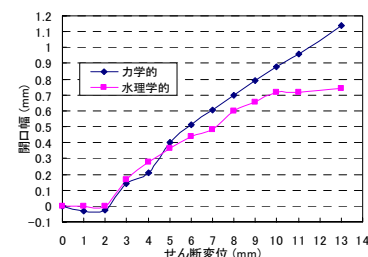


図 5 せん断変位 - 開口幅の関係(CASE1)

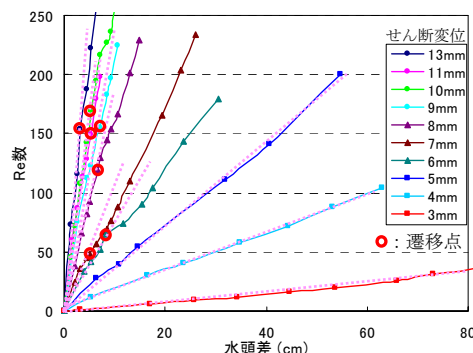
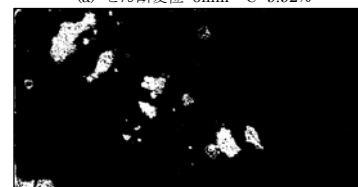


図 6 水頭差 - Re 数の関係(CASE1)



(a) せん断変位 6mm C=9.92%



(b) せん断変位 13mm C=5.49%

図 7 せん断に伴う接触領域の変化 (CASE1)