

岩盤不連続面内の接触状況が透水特性に及ぼす影響の実験的解明

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
 長崎大学工学部 フェロー 棚橋 由彦

1.はじめに

岩盤不連続面のような狭い間隙中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、これは層流と仮定される場合にのみ適用される。現在、層流・乱流の区分は Schiller により提案された、層流から乱流に遷移するレイノルズ数(Re)は2300よりも小さくならないという定義により判断されている。¹⁾しかしながら、自然岩盤不連続面において複雑な内空孔構造を有しているため、 Re よりも層流から乱流への遷移が早いと推測される。これを検証するために自然岩盤を用いた透水試験が望ましいが、内空孔構造が複雑であるため捉えにくい。そこで本研究では、自然岩盤不連続面を模擬するため人工的に接触面を設けた不連続面供試体を作成し、この不連続面供試体における層流から乱流への遷移点を捉えることを目的とする。

2.透水試験概要

図1に透水試験機概要を示す。上部供試体を透明なアクリル供試体、下部供試体を石膏供試体とし、二つ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。ここで、不連続面において単位面積当たりの接触領域を接触率と定義する。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、それぞれの微小な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。ただし、透水試験中は水温を20℃と一定に保ち、動粘性係数を $1.004 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ とした。また、透水試験中に水压をかけたことによる開口幅の増加を抑えるために垂直応力を载荷した。その際、垂直応力によりテフロンシートの厚さが変化する可能性があるため、クラックスケールを用いて開口幅を確認する。

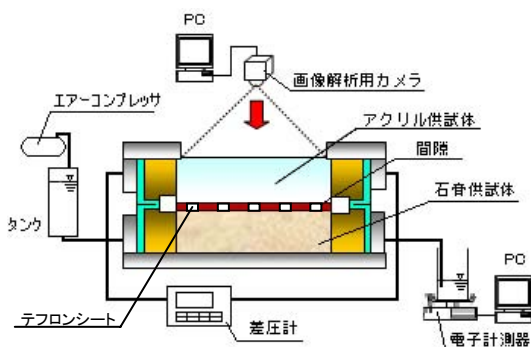


図1 透水試験機概要図

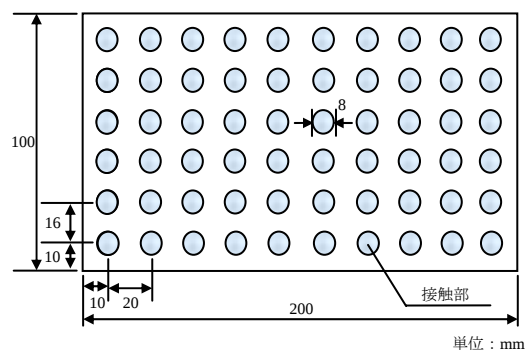


図2 アクリル供試体 (接触率 15%)

3.試験結果と考察

実験結果は図3~6に示す。図3は水頭差と透水量の関係、図4は水頭差と Re 数の関係、図5は層流から乱流の遷移点における水頭差と Re 数の関係、図6は水頭差と水理的開口幅の関係をそれぞれ示す。

3.1 層流から乱流への遷移条件

図3(a)が示すように開口幅0.2mm、0.3mmにおいて、透水量は水頭差に

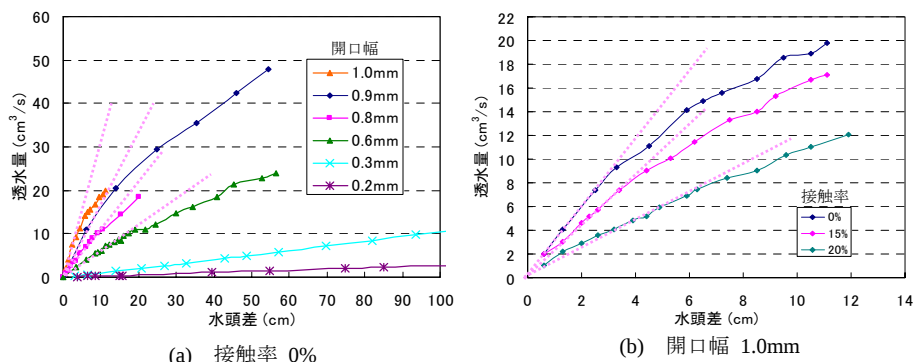


図3 水頭差 - 透水量の関係

比例している。また同図には記載していないが、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(破線)で示した比例関係から離脱し始めた点が現れる。そのときの Re 数は図 4 (a)に、それぞれの遷移点に対応した Re 数は図 5 に示す。図 5 (a)で確認すると概ね $Re=200$ 付近であり、それが層流と乱流の遷移点と考えられる。

3.2 水理学的開口幅に及ぼす影響

図 6 (a)が示すように開口幅 0.2mm、0.3mm において水理学的開口幅はほぼ一定である。この結果は開口幅 0.2mm、0.3mm において透水量が水頭差に比例していることから分かる。また図 5 (a)より、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ことが分かる。

一方、水理学的開口幅 0.8mm や 0.6mm では、ある水頭差を越えると水理学的開口幅が減少している。その水頭差を図 4 (a)と比較すると層流と乱流の遷移点とほぼ一致しており、層流から乱流に移行しているため減少したと考えられる。また、図 4 (b)と図 6 (b)のように接触率が変化した場合においても同様の傾向が窺えることにより、層流から乱流に移行する際に水理学的開口幅が減少することが推測される。

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 1.0mm 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)と図 4 (b)、図 6 (b)に示す。図 3 (b)において補助線(破線)から離脱し始めた箇所が存在しており、それらの箇所を図 4 (b)や図 5 (b)で確認すると、層流と乱流の遷移点は $Re=200$ 付近に存在することが分かる。加えて、開口幅が等しいにも関わらず、接触率が高くなるにつれて遷移点の Re 数は徐々に減少する傾向にある。また同様に、開口幅を 0.8mm に行った実験結果の図 5 (b)からも $Re=200$ 付近で層流と乱流の遷移点であることが分かり、接触率が高くなるにつれて遷移点の Re 数は徐々に小さくなる。さらに、接触率 0%と 15%の曲線の差よりも接触率 15%と 20%の差が大きくなっている。これより、接触率が高くなるにつれて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.おわりに

岩盤不連続面内を模擬する狭い間隙中における透水試験により層流から乱流に移行する遷移点を捉えることができた。今後は今回の結果を生かし、平行平板モデルの補正方法の提示と検証を進めていく。

【参考文献】 椿 東一郎：基礎土木工学全書 6 水理学 I，森北出版，pp.75 - 77, 2006

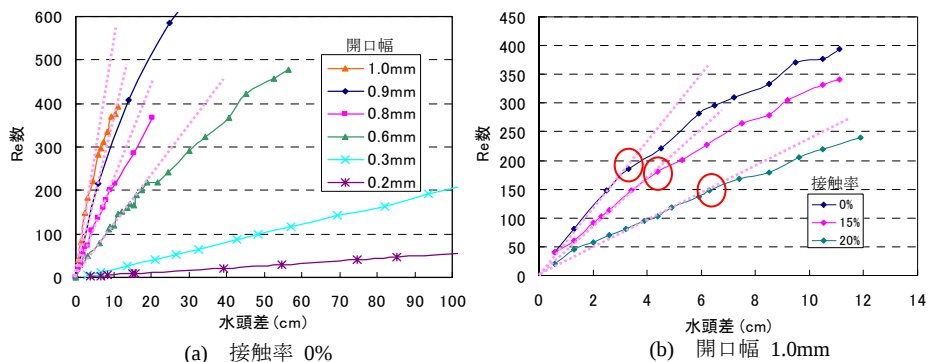


図 4 水頭差 - Re 数の関係

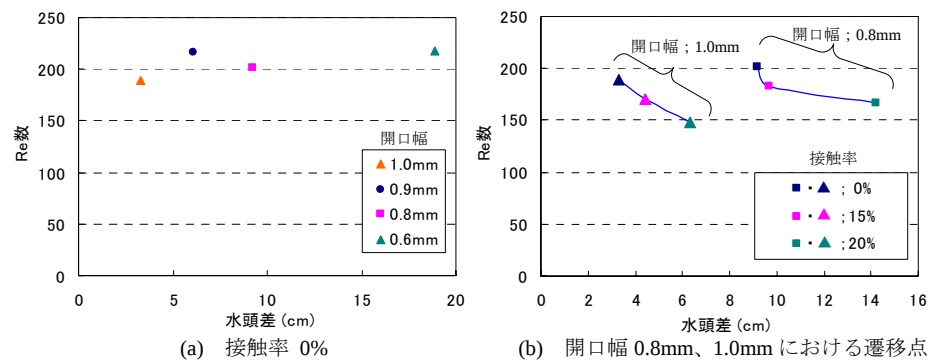


図 5 遷移点 - 水頭差の関係

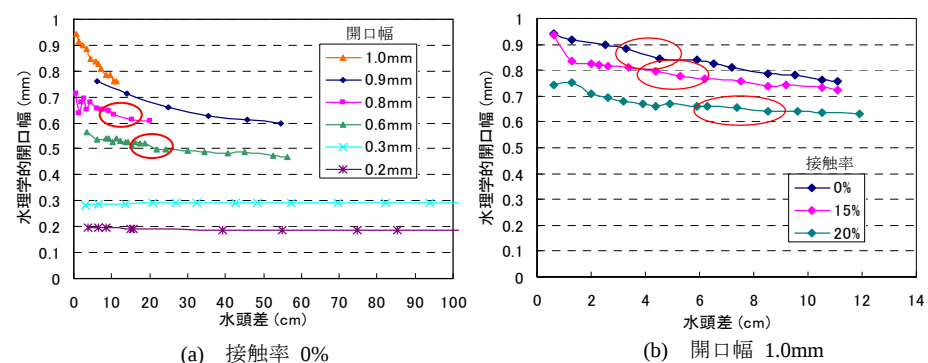


図 6 水頭差 - 水理学的開口幅の関係