

動水勾配の与え方が細粒分流出に及ぼす影響とその後の強度性状の変化

山口大学大学院 学生会員 ○小森 朝陽
 山口大学大学院 正会員 鈴木 素之
 東京理科大学 (元山口大学) 正会員 石丸 太一

1. はじめに

浸透流によって粗粒な土粒子が形成する間隙空間を細粒分のみが流出する Suffusion の発生は、土構造物の強度に影響を及ぼすことが分かっている。しかし、その発生メカニズムや影響因子とその度合いはいまだ明らかにされていない。本研究では、まず人為的に Suffusion を発生させる通水実験を行い、細粒分流出に及ぼす動水勾配の影響について調べた。次いで、通水実験で細粒分が流出した試料から切り出した供試体に対して三軸圧縮試験を実施し、Suffusion がせん断強度に与える影響について調べた。

2. 使用した土試料

本研究で使用した土試料は、珪砂 4 号とカオリンを混合し、細粒分含有率 F_c が 10%、20% となるように調整したものであり、それぞれ GG10、GG20 と呼ぶ。これらは gap-graded soil と呼ばれるある区間の粒径が取り除かれた粒度分布を持つ土であり、Chang and Zhang¹⁾ の内部安定指標により内部不安定と判定される。図 1 に土試料の粒径加積曲線、表 1 に土試料の物理特性を示す。

3. 実験方法

図 2 に使用したカラム通水実験装置を示す。供試体寸法は直径 10cm、高さ 20cm の円筒形である。供試体は最適含水比に調節したものを計 10 層で突き固めて作製した。今回の実験では、浸透破壊に至るまで動水勾配を段階的に上昇させた実験 (パターン F)、動水勾配 0.9 で 24 時間通水した実験 (パターン C)、動水勾配を 0.9 まで上昇させたのち下限 0.4、上限 0.9 の範囲で動水勾配を繰り返し変動させた実験 (パターン R) の 3 パターンを行った。なお、パターン R は、フロートスイッチを用いて動水勾配を 100 回変動させた。実験では、流量を 5 分ごとに測定し、流量が一定になったのを確認したうえで、動水勾配を上昇させた。動水勾配を上昇させた直後、越流を 300ml 採取し、濁度を測定した。実験終了後、通水後に供試体に残存する細粒分含有率を供試体を 7 層に分割して調べた。

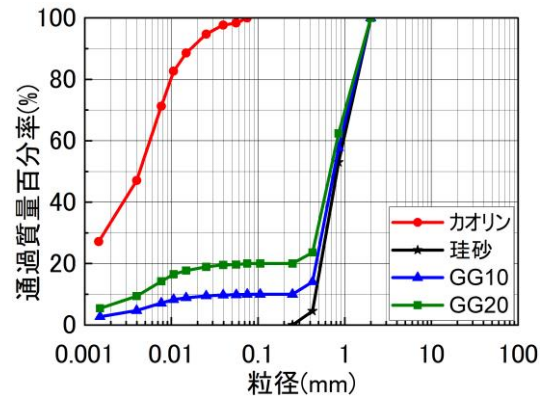


図 1 本研究で使用した土試料の粒径加積曲線

表 1 本研究で使用した土試料の物理特性

	GG10	GG20
細粒分含有率 F_c (%)	10.0	20.0
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.652	2.653
最適含水比 w_{opt} (%)	14.0	13.0
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.59	1.67

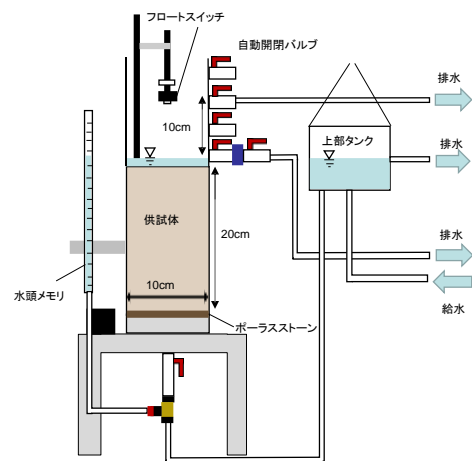


図 2 カラム通水実験装置 (模式図)

キーワード 浸透, 細粒分, 浸透流

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之
 TEL 0836-85-9303

次いで、三軸供試体は、高さ 10cm、直径 5cm の円筒型アクリルモールドを 2 つ繋げ、カラム供試体に静的に押し込むことでカラム上層、下層から 2 本分採取した。また、三軸試験では侵食を発生させない条件 (NE)，三軸試験で侵食を発生させる条件 (EBS)，カラム通水実験の供試体 (GG10-C) からサンプリングした (カラム上・下層) の計 4 ケース実施した。

4. 試験結果と考察

図 3 に濁度と動水勾配の関係を示す。この図から、動水勾配の上昇に対して濁度は変動しながら上昇していることがわかる。なお、濁度測定の結果と目視の結果にずれが生じていた。目視では供試体上部に滞留した水に流出した細粒分を確認できたが、採水したものには確認できなかった。これは、細粒分が供試体上部まで流出したが、供試体上部から越流せず、排水を回収する採水容器まで到達しなかったことが原因と考えられる。このことは、流量が少ない GG20-F の場合、特に顕著であった。また、図 3 から、GG10-C の場合、動水勾配 0.6 から 0.7 で濁度が上昇している。Skempton²⁾ は、限界動水勾配より低い範囲で細粒分流出が始まる動水勾配が存在するとしており、この動水勾配はそれに該当すると考えられる。また、GG20-C の場合、GG10-C と比べて濁度が総じて低い傾向がみられた。さらに、目視観察の結果、浸透破壊した供試体の GG10-F、GG20-F はともに、動水勾配が 1.0 から 1.1 に上昇するときに供試体の中央部から上部にかけて亀裂が入り、供試体が持ち上がる挙動が確認された。また、それに伴い濁度も急激に上昇した。さらに、GG20-F の供試体は GG10-F に比べ濁度の上昇が緩やかであるが、供試体上面に細粒分が沈殿していた。また、いずれの供試体も動水勾配が 0.5 と 0.7 の間では動水勾配を上げた直後は薄い白濁がみられたが、時間の経過とともに白濁は消失した。これは、供試体内部で“みず道”が形成されたためと考えられる。なお、動水勾配を上げると、新たなみず道が形成されて細粒分流出が再発すると考えられる。なお、EBS ではせん断前に動水勾配 5.0 で供試体に通水し、下部ポットに排出された水の濁度を測定した。

図 4 に動水勾配と流量の関係を示す。流量と動水勾配の間には、ある範囲で直線関係が認められる。浸透破壊した供試体のケースでは、動水勾配が 1.1 付近から流量が直線から外れてくるのがわかる。これは供試体内部に亀裂が入ったことによると考えられる

図 5 に通水後の供試体高さ方向の細粒分含有率の分布を

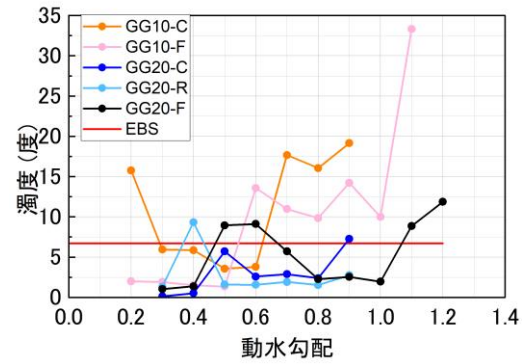


図 3 動水勾配と排水濁度の関係

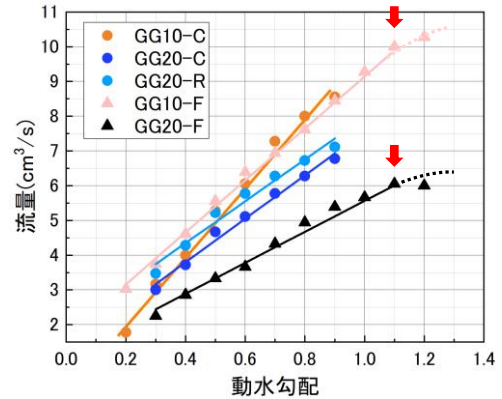


図 4 動水勾配と流量の関係

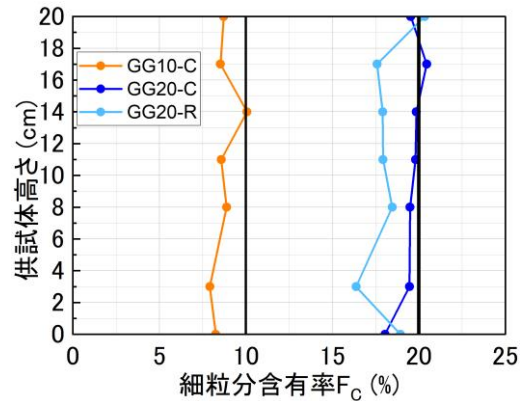


図 5 通水後の供試体高さ方向の細粒分含有率の分布

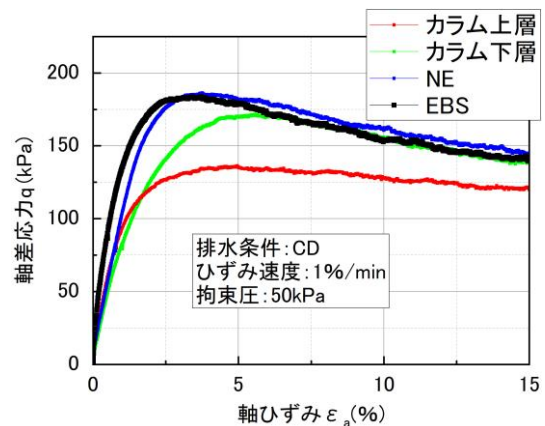


図 6 応力・ひずみ関係

示す。GG10-C の場合、高さ 14cm で目詰まりが発生しており、それ以外の高さでは 1~2%程度の F_c の低下がみられ、侵食の発生を確認した。GG20-C において下層で F_c のわずかな低下がみられ、上層では初期の F_c 値と変わらなかった。GG20-R と GG20-C を比較すると、動水勾配を変動させることで、細粒分流出が促進され、2~4%の細粒分の低下が確認された。

次いで、通水実験後の GG10-C から切り出した供試体に対する圧密非排水三軸圧縮試験結果を示す。図 6 の軸差応力 q と軸ひずみ ε_a の関係より、カラム供試体の上層の方が下層よりピーク強度が小さいことがわかる。これは、上層の方が F_c は高いが、通水に伴う供試体の収縮によって密度の差が生じたためと考えられる。このとき、カラム供試体上面に約 5 mm の沈下がみられ、これを裏付けている。また、実際にサンプリング後の供試体の締固め度は上層が 85%、下層が 88%であり、初期の 90%よりも低下していたことがわかっている。図 7 に ε_a と体積ひずみ ε_v の関係を示す。膨張傾向はピーク強度からの低下量に対応する結果となった。

図 8 に供試体の初期乾燥密度とピーク強度（最大軸差応力）の関係を示す。ピーク強度と供試体の初期乾燥密度の間には直線関係が認められ、密な供試体ほどピーク強度が大きくなった。本実験では、細粒分流出に伴って供試体の体積収縮が発生した。細粒分流出による力学挙動の変化を考察する上で、細粒分が抜けて、間隙が増加すること、と細粒分が抜けながら土全体の体積も変化することの両者を考察することが重要である。

5. まとめ

- 1) 繰返し通水によって細粒分流出が促進された。また、それによる細粒分含有率の低下は大きかった。
- 2) カラム供試体の上・下層の応力・ひずみ関係を比較すると、カラム上層の方がピーク強度が低い結果となった。これは供試体の密度変化によると考えられる。
- 3) 初期乾燥密度と最大軸差応力の間には直線関係が認められた。

参考文献

- 1) Chang D.S, Zhang L.M: Extended internal stability criteria for soils under seepage, Soils and Foundations, Vol.53, No.4, pp.569-583, 2013.
- 2) Skempton, A.W., Brogan, J.M. : Experiments on piping in sandy gravels, Geotechnique, Vol.44, No.3, pp.449-460, 1994.
- 3) 小森朝陽, 石丸太一, 鈴木素之, 又野公佳: カラム通水実験における細粒分流出に及ぼす動水勾配の影響, 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023 (投稿中).
- 4) 小森朝陽, 鈴木素之, 石丸太一: 三軸試験における侵食歴がある土の強度特性, 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, 2023 (投稿中).

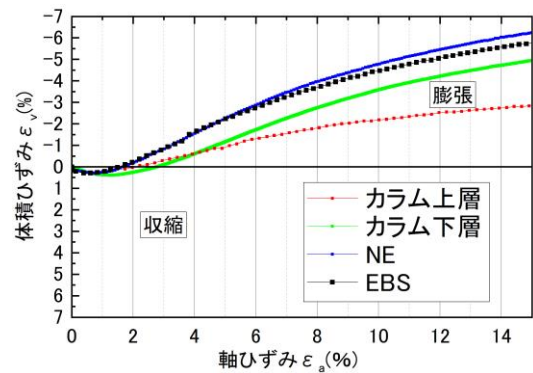


図 7 体積ひずみと軸ひずみの関係

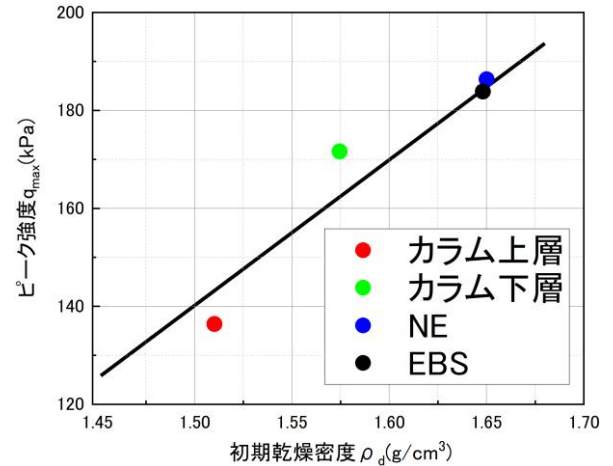


図 8 初期乾燥密度とピーク強度の関係