

一次元透水試験時の出砂を伴う浸透破壊と強度特性変化に関する研究

京都大学大学院 学生会員 ○久泉友二

京都大学大学院 学生会員 岩永英

京都大学大学院 正会員 肥後陽介

1. はじめに

河川や海の堤防におけるパイピング現象、細粒分の流出によって引き起こされる地盤の陥没現象等に共通する土の内部浸食のメカニズムは未解明であり、現在も盛んに研究が行われている。本研究では、Ke and Takahashi¹⁾の実験に着目し、ほぼ同条件の土の透水試験を実施し、実験中の内部浸食の過程をμフォーカス X 線 CT 装置によって可視化する事で内部浸食および浸透破壊に至るまでの土構造の変化を明らかにすることを目的とした。さらに、透水試験後の三軸試験を実施し、透水試験による構造変化と力学的特性の変化との関係を議論した。

2. 透水三軸試験の実験手順

本実験は Ke and Takahashi¹⁾の透水三軸試験と同様の手法で実施した。珪砂 3 号と 8 号を体積比 7 : 3 で混ぜ合わせた試料を用いた。図 1 に粒径加積曲線を示す。供試体は、 $\phi 35 \times h 70$ (mm)、相対密度 30 % となるよう湿潤突き固め法で作成した。供試体上面にろ紙を被せ、さらにその上にポーラスストーンを設置した。供試体下部には、珪砂 8 号のみ通過できる孔径 1mm の有孔盤を設置した。供試体上部とビューレットをつなぎ、水頭差をつけ、レーザー変位計を用いて水頭差を計測した。浸透流が層流であると仮定し、Darcy 則より動水勾配を算出した。透水三軸試験に関して動水勾配を 1, 2, 4, 8, とそれぞれ 10 分透水させ段階的に変化させ、12 で 30 分透水した後透水を一時的に中断し CT 撮影、さらに 30 分, 60 分透水させ同様に撮影を行った。透水後、排水三軸試験を行った。軸ひずみ 2%, 4%, 6%, 8%, 12%, 16%, 20% でそれぞれ CT 撮影を行った。透水無の供試体を同条件で排水三軸試験し、比較対象とした。本研究での CT 撮影に用いた装置は KYOTO-GEO μ XCT (TOSCANER-32250 μ HDK) であり、CT 画像の画素サイズは、 $37 \times 37 \times 41 \mu\text{m}$ である。

3. 画像解析手法

取得した CT 画像より、珪砂 3 号、水、珪砂 8 号+水、の 3 相割合を定量化するセグメンテーションを行った²⁾。珪砂 8 号は粒径が細かく個々の粒子の分離が困難であるため、8 号と水が混ざった相を一つの相として解析した。さらに Morphology 解析により、水相のみを抽出し、Erosion 処理することで細かい間隙水を除き、大きな間隙水に着目する解析を行った。

4. 透水試験結果

動水勾配 12 で計 120 分透水させた。時間-透水係数関係を図 2 に示す。時間の経過と共に透水係数が徐々に増加し、透水開始から約 105 分後、一気に 0.0035 (cm/sec) あたりまで透水係数が上昇している。この瞬間に大量の出砂を確認しており、浸透破壊したと考えられる。

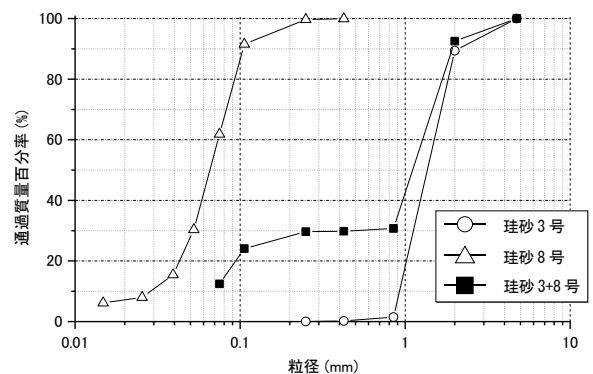
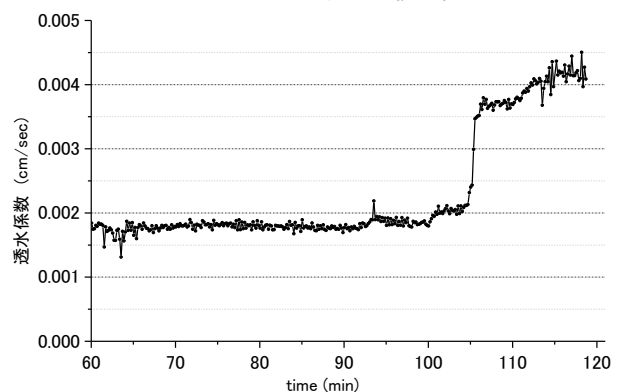


図 1 粒径加積曲線

図 2 $i=12$ の時間-透水係数関係 (60~120min)

keyword 細粒分 内部浸食 μ X 線 CT
連絡先 京都市西京区京都大学桂 C1-4-587

5. 三軸試験結果

図3に試験の結果得られた応力ひずみ関係を示す。随所にみられる応力低下は、X線CT撮影中に载荷を一時停止することで生じた応力緩和現象が原因である。両ケース共、終始軸差応力が増加しており、ピーク応力560(kPa)に向けて収束していくことが分かる。ここで透水有供試体の方が応力が低く、次第に透水無と同等の応力まで上昇することが分かる。これは、ある程度のひずみまでは、透水によって生じた間隙によって強度低下するが、その後間隙が少なくなると骨格材である3号珪砂に強度に依存するようになり、同等の強度に至ったためと考察する。

6. 画像解析結果

セグメンテーション画像より供試体を縦方向に10分割し、それぞれの相割合を算出し比較した(図4)。この結果より、珪砂3号は全体的に透水によって分布が変化せず、透水によってほぼ移動しなかったことが分かる。水相と珪砂8号+水相とは、対照的な挙動を示しており、細粒分が抜けることで間隙が増加していることが分かる。また、供試体下部に近づくほどその傾向は顕著であることが読み取れる。このことから、透水により下方から順に浸食され流出することが分かった。Morphology解析により、間隙の大きい間隙水の分布を表現した(図5)。この結果より、透水前は全体的に間隙が分布していたのに対し、透水が進むにつれて下方で間隙が発達し、120minでは供試体縦断方向に水みちを形成することが分かる。これらのことから、浸透破壊するには段階的に浸食が起これと考えられる。まず、境界面から細かい土が少しずつ流出することで内部に微小空洞を多数形成させ、それらが徐々に拡大し粗な状態となる。これにより密な部分の局所的な動水勾配が徐々に増加し、限界動水勾配に至った瞬間一気に破壊に至ると考えられる。

7. 結論

内部浸食過程を可視化するため、透水試験を行い、X線CTを用いて内部の観察を行った結果、透水によって初期は強度低下するがひずみの増加と共に骨格材の強度に依存するようになることが分かった。また、透水によって境界面で段階的に浸食されたのち、局所的動水勾配が限界動水勾配を超えた瞬間浸透破壊に至ると分かった。

参考文献

- 1) Ke, L. and Takahashi, A., *Soil and Foundations*, **54** (4), pp.713-730, 2014.
- 2) 木戸隆之祐, 肥後陽介, 森下諒一, 合谷龍馬, 第49回地盤工学研究発表会, pp.719-720, 2014.

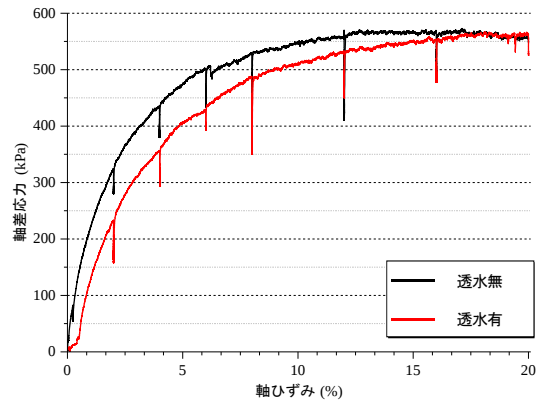


図3 応力ひずみ関係

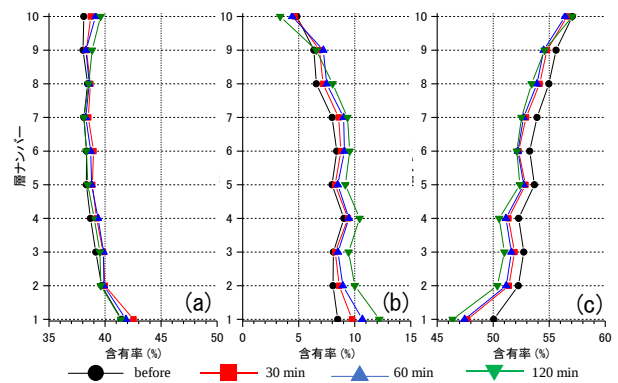


図4 層ごとの含有率比較 (a)3号 (b)水 (c)8号+水

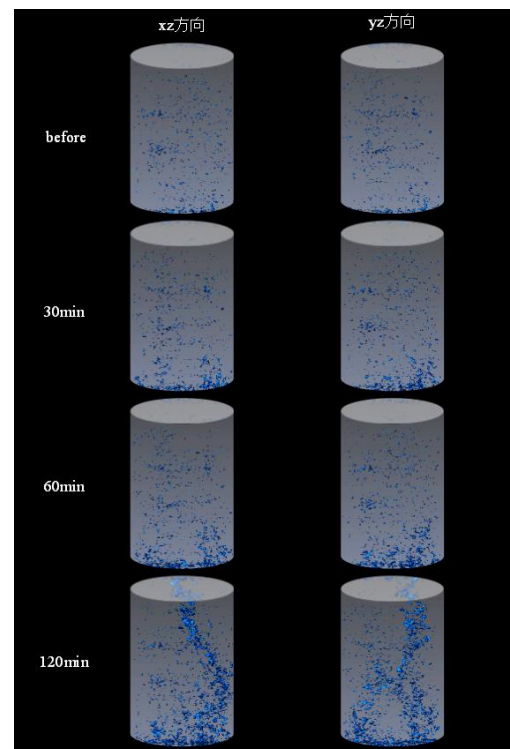


図5 間隙水分布の時刻変化