

第Ⅲ部門

X線 μ CT を用いた泥岩のスレーキングによる透水性変化に関する研究

京都大学大学院 学生会員 ○高橋 真鈴
 京都大学大学院 正会員 肥後 陽介
 京都大学大学院 正会員 木戸 隆之祐

1. はじめに

スレーキング現象とは、主として軟岩に対して水浸すると組織の結合力が破壊されて泥状化あるいは細粒化する現象のことをいい、泥岩のスレーキングに関して様々な研究がなされている(例えば¹⁾)。しかし、透水係数の変化について明示的に研究している事例は少ない。東名高速牧之原の地震による盛土崩壊もスレーキングによる水位上昇が要因と報告されており、スレーキングによる透水性変化のメカニズムと、盛土内の地下水位変動の関係性については課題が残っている。

そこで本研究では、スレーキングによる透水係数の変化を明らかにすることを目的とし、泥岩の乾湿繰返しによる透水性変化を変水位透水試験で調べるとともに、X線 μ CT 装置を用いてスレーキングによる内部構造の変化を可視化した。

2. 実験試料

高速道路総合技術研究所より提供を受けた神戸 5 泥岩(以下、神戸泥岩)と藤枝泥岩の2種類を用いて透水試験を行った。スレーキング率は神戸泥岩が 100 %、藤枝泥岩が 56.7 %であり、神戸泥岩がよりスレーキングしやすい性質を持つ。試料はどちらも自然含水比でふるい分けを行い、試料が盛土材として使用された際の粒径加積曲線に基づいて試験時の粒度を決定した。

3. 実験条件

実験手順のフロー図を図1に示す。締固め度 90 %となるよう、6層に分けて締固めを行った。供試体下部から供試体上部に向かって通水し、合計で 47 時間水に曝露した。間隙体積分あるいはそれ以上の通水を行うことで飽和化を図り、その後供試体上部から下部に向かって通水し、通水量を定常状態にした。なお、曝露時間は、既往の研究²⁾により、湿潤時のスレーキングによる沈下が収束する時間を参考に決定した。変水位透水試験は、1 時間での水頭低下量がほぼ一定となるまで測定を行った。変水位透水試験後、上下板を取り外し、円筒に入った状態の供試体を 40℃の乾燥炉で、

67 時間上下両面から乾燥させた。なお、乾燥時の温度は、試料の物性に自然現象にはない変化を起こさせないことと、アクリル円筒の耐温度を考慮して決定した。乾燥時間は、供試体内の大半の水分が蒸発する時間として、予備実験により決定した。

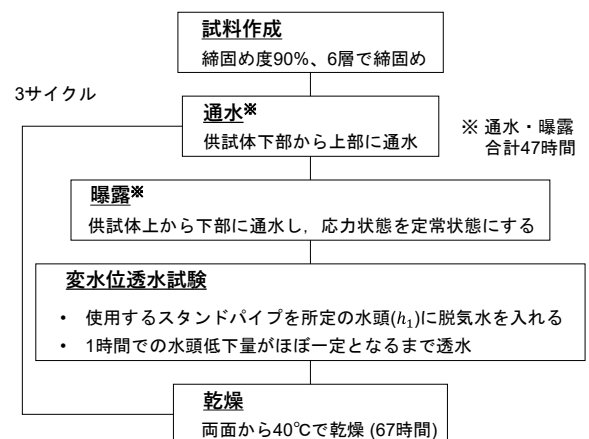


図1 実験手順

4. 実験結果

神戸泥岩、藤枝泥岩の乾湿繰返し回数と透水係数の変化を図2に示す。初期の透水係数は飽和化と同時にスレーキングが進行し、測定が困難であるため、Creagerの方法により推定した。

神戸泥岩、藤枝泥岩ともに1回目の湿潤により、透水係数が著しく低下しており、神戸泥岩の方がより顕著である。これは、神戸泥岩のスレーキング率が藤枝泥岩よりも高いことと整合している。また、神戸泥岩は1回の乾湿繰返しで著しくスレーキングが進行し、それ以降のスレーキングの進行はゆるやかであるとする研究結果³⁾と整合しているということが分かる。両泥岩ともに2回目の乾湿で透水係数が上昇し、3回目ではわずかに減少している。

実験の各段階で取得したCT画像を図3に示す。この画像は、Simple Thresholdにより視覚的に明らかな間隙を可視化した画像である。上下端面、円筒との境界部分に亀裂が多くみられることから、これらの箇所から乾燥が進展することがわかる。また、大きい粒子は

あまり変化がみられないことが多く、小さい粒子が乾燥により収縮していると考えられる。つまり、収縮しやすい箇所としにくい箇所の境界部に亀裂が発生しやすいために、上下端面、周囲から、特に、大きな粒子の周囲に亀裂が多く発生していると考えられる。さらに、変水位透水試験の結果と比較すると、1回目と2回目の透水後のCT画像では、2回目のCT画像の方に間隙が多くみられ、乾燥時に発生した亀裂が閉塞しないために透水係数が上昇することが考えられる。

5. 実盛土との比較

ある道路盛土では、原因は調査中であるが、スレーキングによる沈下が懸念されている²⁾。ここでは、盛土法面表層で施工後5年間の間にスレーキングが進行し、亀裂の発生と間隙比の増大が見られた。亀裂の発生は本実験と同様の傾向であり、上載圧が低いため亀裂が閉塞していないと考えられる。次に、澤野ら³⁾は、変状が発生した盛土に対して経時的な追跡を実施し、盛土の物理的特性を調査した。その結果、スレーキングによって細粒化した土粒子が間隙水の流れに伴って移動していることを明らかにした。つまり、内部侵食により透水係数が上昇している可能性を示唆している。

本実験は、上載圧を与えていないため盛土の表層付近の挙動として考えられる。そのため、上記の盛土の挙動と本研究の実験結果を比較して表層付近のスレーキングによる透水性変化について考える。まず、湿潤過程により透水係数は低下するが、それ以降も乾湿繰返しが続くと、乾燥時に発生した亀裂を湿潤及び透水後に細粒分が流出するなどの要因で閉塞することができず、透水係数が上昇する。さらに乾湿を複数回繰返すと、最初の透水係数低下量を上回るだけの透水係数

の上昇が発生している可能性が考えられる。加えて、芝山地区では、表層付近でスレーキングしたと考えられる層の直下に宙水の水位があり、透水係数の増加によって降雨水や地山の地下水の流入を引き起こしている可能性が考えられる。

6. まとめ

本研究では、盛土の表層付近におけるスレーキングによる透水性の変化を知るために変水位透水試験を行った。その結果、上載圧の小さい表層付近では、透水係数の変化は物性の変化というよりも、亀裂の発生や細粒分の移動などの境界条件に依存した変化であり、全体としては透水係数が大きくなる。これが、盛土内に降雨水や地下水を浸透させる一因となっていると考えられる。

参考文献

- 1) Kikumoto, M., Putra, A. D. and Fukuda, T., *Géotechnique*, Vol.66, No.9, pp.771-785, 2016.
- 2) 肥後ら：新都市社会技術融合創造研究会，報告書，2021.
- 3) 澤野幸輝，長尾和之，加村晃良，風間基樹，土木学会論文集C(地圏工学)，Vol.76, No.3, pp.306-319, 2020.

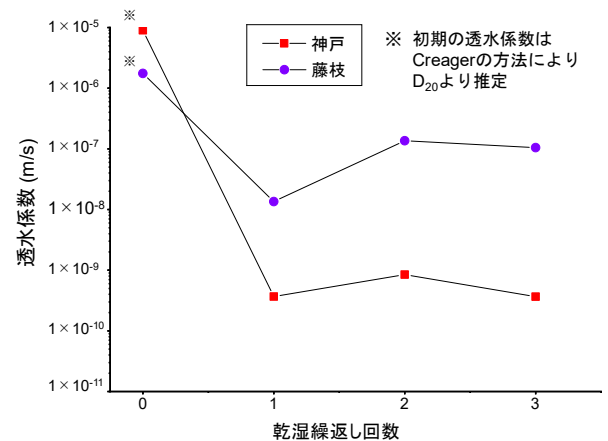


図2 乾湿繰返し回数と透水係数の変化

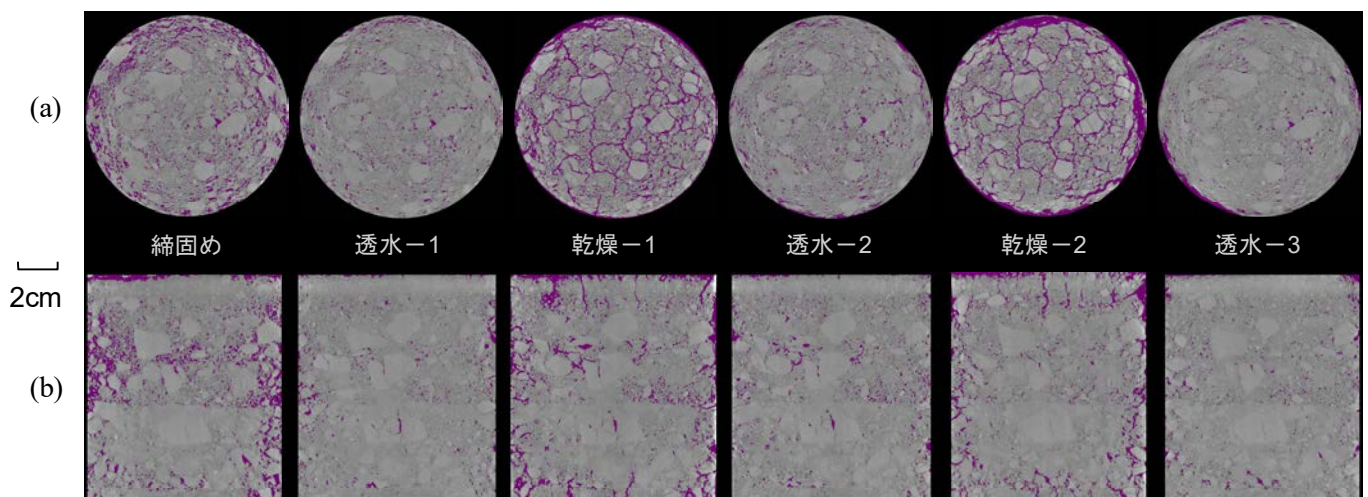


図3 CT画像(神戸)：(a) 水平断面，(b) 鉛直断面