

京都大学大学院 学生会員 ○濱田 祐輔  
 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

内部侵食は、土粒子が水の浸透により剥離・移動する現象であり、ダムの崩壊や堤防の決壊、地盤の陥没現象などの災害を引き起こす危険性があると言われて<sup>1)</sup>。内部侵食についてのこれまでの研究<sup>例えば<sup>2)</sup></sup>では、粒度分布や間隙比といった巨視的物物理量によって、内部侵食のメカニズムが議論されており、内部侵食が進行していく微視的挙動の解明は課題のままである。

そこで本研究では、侵食過程を可視化することによって、土の内部侵食挙動のメカニズムを明らかにすると共に、供試体に与える拘束圧を変えて実験を行い、内部侵食の拘束圧依存性について検討することを目的とした。これらの目的のため、マイクロ X 線 CT 装置で撮影可能な透水三軸試験装置を用いた透水による内部侵食実験を行った。さらに、撮影した CT 画像を用いた画像解析より、土の内部侵食挙動について評価した。

### 2. 実験方法

地表面付近を想定して拘束圧 10 kPa とした場合と、堤防天端直下等、比較的拘束圧の高い状態を想定して拘束圧を 50 kPa とした場合の 2 ケースの実験を行った。

供試体は、直径 35 mm、高さ 70 mm、相対密度 30 % となるよう珪砂 3 号と珪砂 8 号を体積比 7:3 で混ぜ合わせた。粒径加積曲線を図-1 に示す。この混合砂は粗粒分の間隙を細粒分が移動する suffusion の発生条件を満たしている<sup>2)</sup>。供試体作製時には、供試体内で珪砂 3 号と珪砂 8 号が均質になるように湿潤突き固め法を用いた。供試体下部には、珪砂 8 号のみ通過できる有孔板を設置した。水頭差によって下向きに透水力を与え、流れ出る水の量を測定し、Darcy 則より 10 秒毎の平均透水係数を算出した。

透水試験は、同供試体に対して動水勾配を 1, 2, 4, 8, 12 と順に上げて行った。各動水勾配における透水時間は 3 時間ずつである。また、CT 撮影は、透水開始前

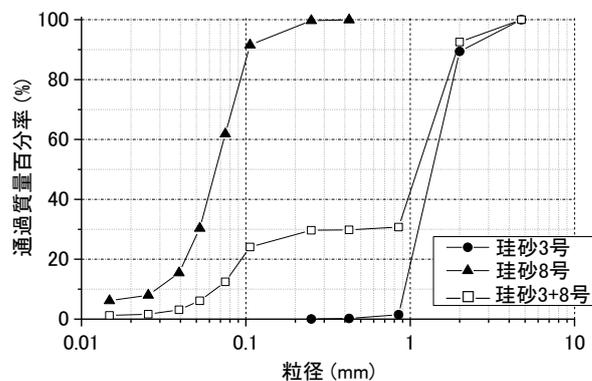


図-1 粒径加積曲線

と動水勾配 1, 2, 4, 8, 12 の透水終了時の計 6 回行う。透水試験後、同供試体を用いて排水三軸試験を行った。

### 3. 画像解析手法

珪砂 3 号、珪砂 8 号+水、水、空気の相の 4 相割合を定量化するために、CT 画像を相ごとに色分けして相を分離するセグメンテーションを行った。そして、セグメンテーション画像より水相のみを抽出し、間隙水の縮小・拡大処理を行う Morphology 解析を行った。この解析により、小さな間隙水を除去して大きな間隙水のみに着目し、供試体全体の水みちを可視化することができる。

### 4. 実験結果

透水試験より得られた時間-透水係数の関係を図-2 に示す。拘束圧 10 kPa, 50 kPa の両ケースにおいて、動水勾配 4 のときに水が流れ出はじめた。そして、図-2 より、動水勾配 4, 8, 12 における丸印で示す透水係数の急激な上昇時に、細粒分の流出を目視で確認した。これより、粗粒分の間から細粒分が抜けていく suffusion が起こっている可能性があるといえる。また、拘束圧 10 kPa の試験の方が拘束圧 50 kPa の試験より、供試体の間隙比は 0.12 程度大きく、透水係数の値も 5 倍程度大きいことがわかる。これより、透水性は拘束圧に大きく依存するといえる。

また、排水三軸試験より、透水によって、細粒分が流出して間隙が増加することで、透水を行っていない場合より強度が低下することがわかった。

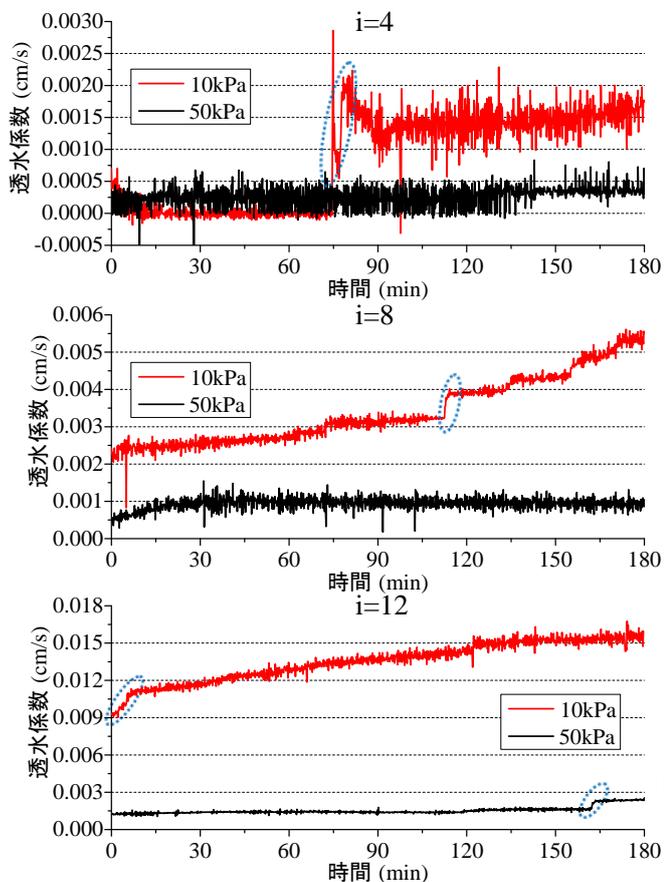


図-2 時間-透水係数関係 (i = 4, 8, 12)

### 5 画像解析結果

図-3 に、拘束圧 10 kPa の動水勾配 12 の透水終了時の CT 画像とセグメンテーション画像の水平断面図を示す。また、図-4 に Morphology 解析結果を示す。拘束圧 10 kPa の解析結果において、動水勾配が大きくなるにつれ、供試体の縦断方向に段階的に水みちが形成されていき、形成された水みちは、透水によって拡大していくことがわかった。水みちができた箇所は局所的であり、suffusion の起こる場所も供試体全体ではなく局所的であると言える。さらに、拘束圧が小さいほど、水みちは大きく、形成されるタイミングも早いことがわかった。

### 6 まとめ

これまでの研究では、suffusion は均質に起こると仮定されるなど、内部侵食が進行していく微視的挙動を確認した事例はなかった。本研究より、suffusion は局

所的に発生することが明らかになった。また、透水によって suffusion が発生し、細粒分が抜けていくことで水みちが形成され、透水性が急激に上昇することが分かった。さらに、拘束圧が小さいほど、水みちは大きく、形成されるタイミングも早いことが分かった。

### 参考文献

- 1) Bonelli, S. *Erosion of Geomaterials*, Bonelli, S. (Ed.), UK, ISTE Ltd, pp.xv-xviii, 2012.
- 2) Ke, L. and Takahashi, A. "Experimental investigations on suffusion characteristics and its mechanical consequences on saturated cohesionless soil", *Soil and Foundations*, 54 (4), pp.713-730, 2014.

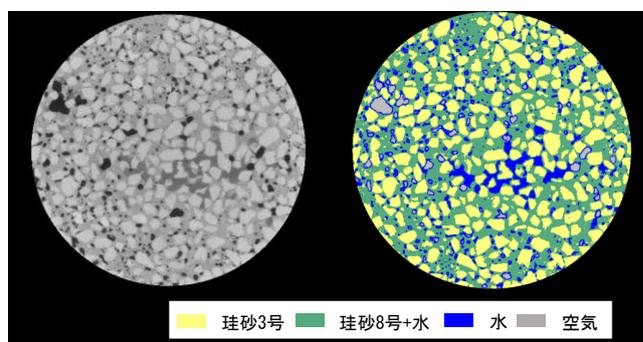


図-3 CT 画像とセグメンテーション画像 (拘束圧 10 kPa)

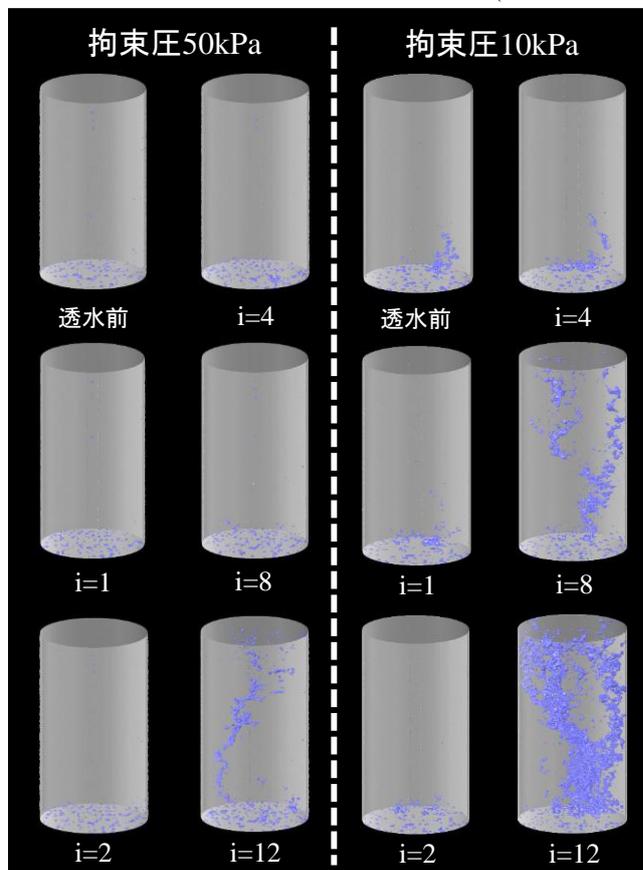


図-4 Morphology 解析結果