

### 浸透流による地盤内細粒分の移動現象の観察

熊本大学 正会員 ○佐藤 宇紘  
 熊本大学 上野 陸  
 港湾空港技術研究所 正会員 高野 大樹  
 熊本大学 正会員 大谷 順

#### 1. はじめに

地盤内部に水の浸透流が生じた場合には土粒子に浸透圧が作用する。この浸透圧の作用により発生するクイックサンド現象による地盤の破壊（パイピング、ボイリング、ヒービング）は古くから知られている。これらの現象に加えて、近年、粒度の良い地盤内において浸透圧の作用により生じる細粒分の間隙内での移動というミクロな現象が地盤の陥没や河川堤防の決壊につながる可能性を指摘する研究結果が数多く報告されている<sup>1)</sup>。この浸透流による細粒分の系外への移動、つまり内部侵食によって生じる局所的なゆるみ領域の形成や粒度分布の貧配合化、また、移動した細粒分による系内での目詰まりで生じる局所的な動水勾配の変化など、その基本的な挙動を解明するための研究<sup>2)</sup>が進められている。また、個別要素法を用いた内部侵食を受けた地盤の構成モデルの提案<sup>3)</sup>や、内部侵食を受けた土試料の三軸試験による強度変形特性に関する研究<sup>4)</sup>、浸透流の繰り返しの影響や中長期の挙動の検討も進められておりそのメカニズムの解明に徐々に近づいている。今後は、地盤内に残り残された気泡の影響や地盤の変形と内部侵食の相互作用といった、より複雑な現象についても着目して研究を進める必要があると考える。そのためには、地盤内で生じる細粒分の間隙内での移動現象や粗粒分で構成される骨格構造の変化を観察、測定する技術は有用であると考えられる。本報告では、浸透流によって地盤内で生じる細粒分の移動の観察にX線CTスキャナを適用した結果について報告する。

#### 2. 実験概要

浸透実験の概要を図1に示す。浸透実験には内径10mm、高さ40mmの亚克力製の円筒容器を用いた。流入口、流出口には75μm以下の粒子が通過できる金属メッシュをセットした。給水タンクにはマリオート管を設置して一定の水頭とし、脱気水を供試体下部から

流入させて上向流による浸透実験を行った。表1に実験材料の物性を、図2には粒径加積曲線を示す。実験材料には相馬珪砂5号とシルトを用いた。重量比を変えて混合し、細粒分含有率( $F_c$ )を調整した。気乾状態の2つの材料を十分に混合した後、容器内に3層に分けて突き固め、試料高さ25mmの供試体を作製した。供試体作製後、飽和度を高めるために一定水位の動水勾配( $i=1$ )で15時間の透水を行い初期地盤とした。次に一定水位の動水勾配( $i=5$ )で約1時間の浸透実験を行った。一定の時間間隔で水と細粒分の流出量を計測

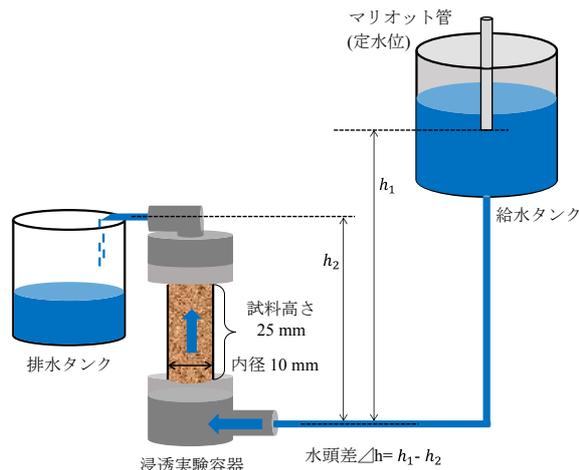


図1 浸透実験概要

表1 実験材料の物性値

試料	相馬珪砂5号	シルト
土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.640	2.643
最大間隙比 $e_{max}$	1.13	-
最小間隙比 $e_{min}$	0.68	-
平均粒径 $D_{50}$ (mm)	0.35	0.021

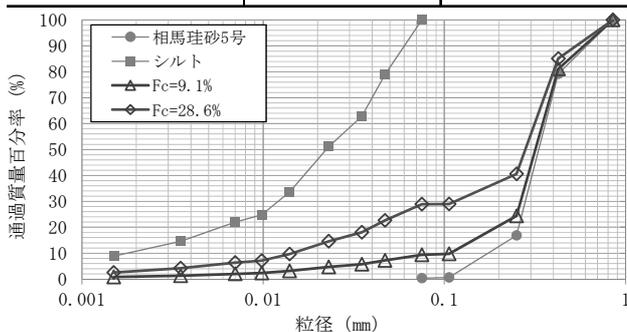


図2 実験材料の粒径加積曲線

キーワード 浸透流, 細粒分, 内部侵食, 目詰まり, X線CTスキャナ

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1 熊本大学 X-Earth Center TEL 096-342-3531

し、透水係数と細粒分の累積流出割合の経時変化を記録した。X線CT撮影は浸透実験前後に実施した。

### 3. 実験結果

図3に供試体  $F_c=9.1\%$  と  $F_c=28.6\%$  の累積細粒分流出割合を示し、図4に浸透実験初期の透水係数に対する経時変化を示す。細粒分の少ない  $F_c=9.1\%$  では比較的高い割合で細粒分の流出が生じた。 $F_c=9.1\%$  では粗粒分で構成されたマトリックスの空隙は細粒分で満たさず、細粒分の移動が  $F_c=28.6\%$  と比べて容易であるためと考えられる。ただし、もともとの細粒分含有量が少ないため、実験精度や供試体サイズの影響もあるため追加の確認が必要である。また、 $F_c=9.1\%$  では約1時間の浸透実験後に透水係数が浸透初期と比較して約30%低下していたことから、細粒分の移動による内部構造の変化(目詰まり)が生じたと推定される。図5にX線CT画像を示す。密度の高い砂鉄と珪砂は白及び明灰色で示されており、暗灰色がシルト、黒色が水を示している。元画像をMCW法<sup>5)</sup>で多値化処理するとそれぞれの材料の占有空間情報を得ることができる。図6は浸透実験前後のCT画像とシルトが移動した領域を示している。浸透前にシルト、浸透後に水となった領域を内部侵食(赤色)とし、その逆を目詰まり(青色)と判定した。図7の  $F_c=9.1\%$  では供試体内の各所で内部侵食と目詰まりが生じているのに対して、 $F_c=28.6\%$  ではシルトがもともと詰まっていなかった間隙の境界付近で移動が卓越している様子が観察された。

### 参考文献

- 1) 例えば 川井正彦, 吉田直人, 平林学, 石原雅規, 佐々木哲也: 河川堤防の内部侵食発生の初期変状と進行性に関する小型模型実験, 第49回地盤工学研究発表会, pp.937-938, 2014.
- 2) 山田高弘, 近藤明彦, 前田健一: 透水力の作用による粒度変化を伴う粒状体の内部侵食と目詰まりの挙動, 第47回地盤工学研究発表会, pp.909-910, 2012.
- 3) 温谷恵美, 近藤明彦, 前田健一, D. M. WOOD: 内部侵食による粒度変化を伴う粒状体の変形・破壊挙動メカニズムとその定式化, 第45回地盤工学研究発表会, pp.1833-1834, 2010.
- 4) Lin Ke, A. Takahashi: Triaxial Erosion Test for Evaluation of Mechanical Consequences of Internal Erosion, *Geotechnical Testing Journal*, Vol.37, No.2, pp.347-364, 2014.
- 5) T. Mukunoki, K. Mikami: Study on mechanism of two-phase flow in porous media using X-ray CT Image Analysis, *Proc. of the 18th ICSMGE*, TC106 selected paper, pp.1163-1166, 2013.

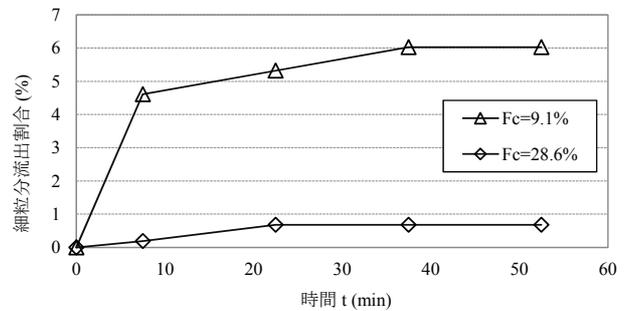


図3 累積細粒分流出割合の経時変化

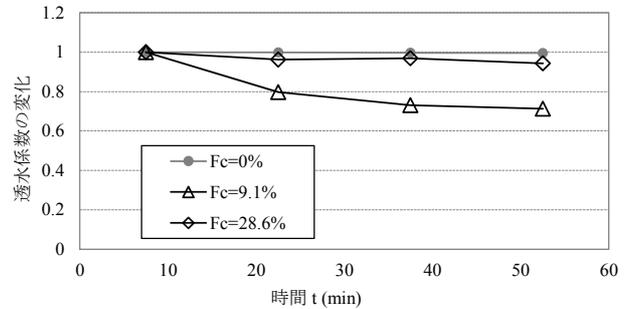


図4 透水係数の経時変化

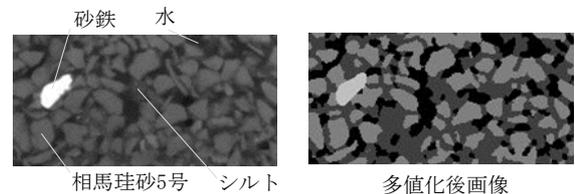


図5 MCW法によるCT画像の多値化

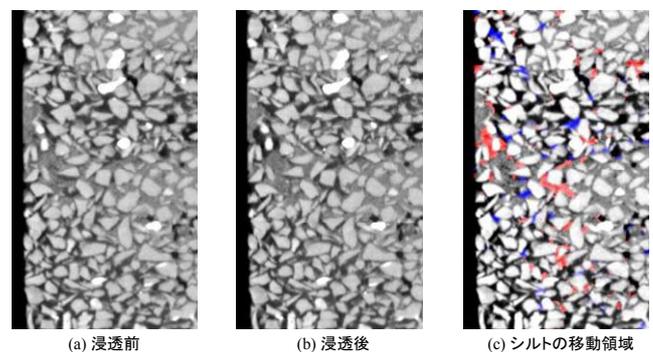


図6 浸透実験前後のCT画像と細粒分移動領域の抽出

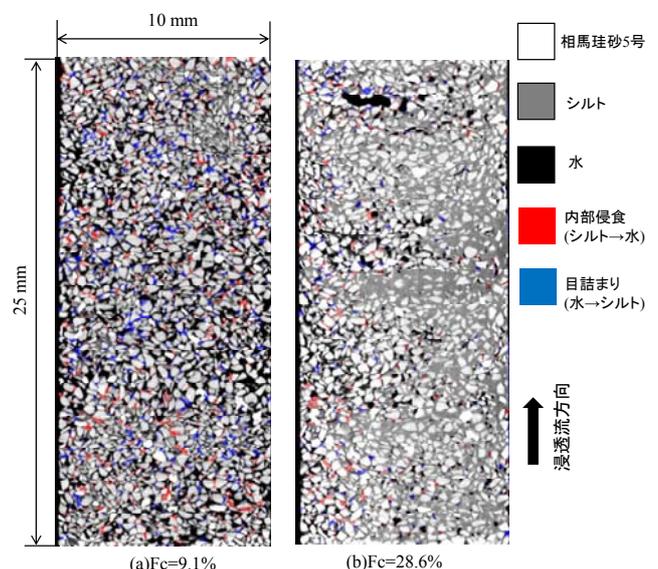


図7 細粒分含有率の異なる供試体内部の内部侵食と目詰まりの分布