

## 第II部門

## トランスパレントソイルを用いた地形の空間分布計測に関する試み

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○牧川 星朗

京都大学大学院工学研究科 正会員 音田 慎一郎

## 1. はじめに

地盤工学の分野において近年多く利用されるようになったトランスパレントソイルは、等しい屈折率をもつ粒子と溶液により地盤が透明化するという原理を利用している。また、透水係数やせん断強度などの基本的特性を調べることで、天然砂の性質に近いことが確認されており、トランスパレントソイルは侵食実験にも用いられている。例えば、音田ら<sup>2)</sup>は越流破堤実験を行い、飽和度によって変化する輝度の値に着目することで、堤体土の飽和度の空間分布を求められることを示している。しかし、既往の研究では、鉛直二次元断面内の時空間変化しか追跡することができなかった。一方、透明なトランスパレントソイルにレーザーシートを照射すると、照射された箇所だけが蛍光するため、対象物の任意の断面で切り取られた情報を読み取ることができ、三次元的な計測が可能になる。

本研究では、トランスパレントソイルとレーザーシートを用い、画像解析による地盤地形の三次元的な空間分布の計測を目的とする。

## 2. 水理模型実験

## (1) トランスパレントソイルに関する基本事項

トランスパレントソイルのメカニズムについて説明する。光は均一な物体内を進む場合、物体内で光の屈折率(RI)の変化がないため直進する。一方で、異なる2物体の境界を通過するとき、2物体のRIが異なる場合は境界面で光は屈折するが、RIが同じ場合には直進する。この原理を利用したのがトランスパレントソイルである。

本実験では、地盤材料として熔融石英(以下「石英」とする)、液体としてヨウ化ナトリウム水溶液(以下「溶液X」とする)を用いる。ここで、熔融石英のRIは1.458である。溶液Xは濃度を変化させることでRIが変化し、石英のRIと一致させた無色透明の溶液Xが白い乾燥石英に対して流れると透明になる。ただし、溶液を無色に保つためチオ硫酸ナトリウムを加えて処理する。

このトランスパレントソイルに対して、レーザーシー

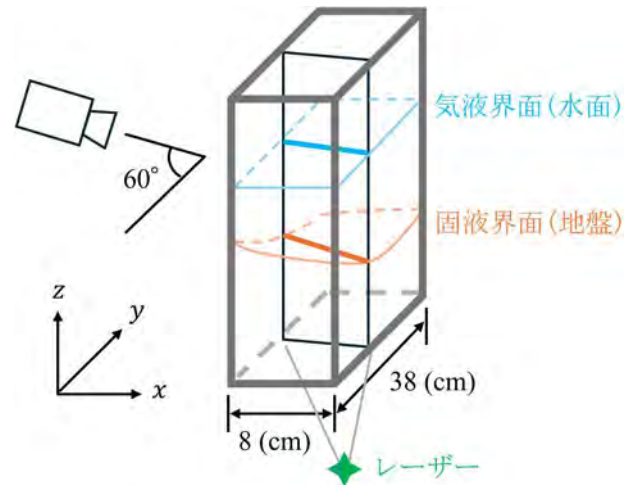


図-1 実験に用いた容器と撮影の様子

トを照射すると、その断面だけが可視化されるため、任意の位置での固液界面の把握ができる。

## (2) 静水中の地形

本実験では、静水中の地盤の地形を計測する。図-1に示すように、底面および側面がアクリル製の直方体の容器に、石英を用い任意の地形を成形した。地盤は飽和土とするため、石英の間に気泡が入り込まないように、あらかじめ容器内に入れられた溶液Xに対して静かに石英を振り入れた。図-1に示す座標軸を設定し、y方向10cmから28cmまで3cmごとの位置でレーザーシートを容器に対して下から照射し、映し出された断面をカメラで撮影した。ただし、水平面に対して60度の角度で斜め上方から撮影した。また、レーザーの照射位置が $y \geq 19$ (cm)のときはy軸正の向きに、 $y < 19$ (cm)のときはy軸負の向きに撮影した。撮影した画像をもとに画像解析を行って求められた地形と、実際に計測した地形の高さを比較することで、画像解析による地形データの整合性を確認する。

## 3. 画像解析

本研究で撮影された画像に対し、液相と固相の界面を自動で検出するため、オープンソースのコンピュータビ

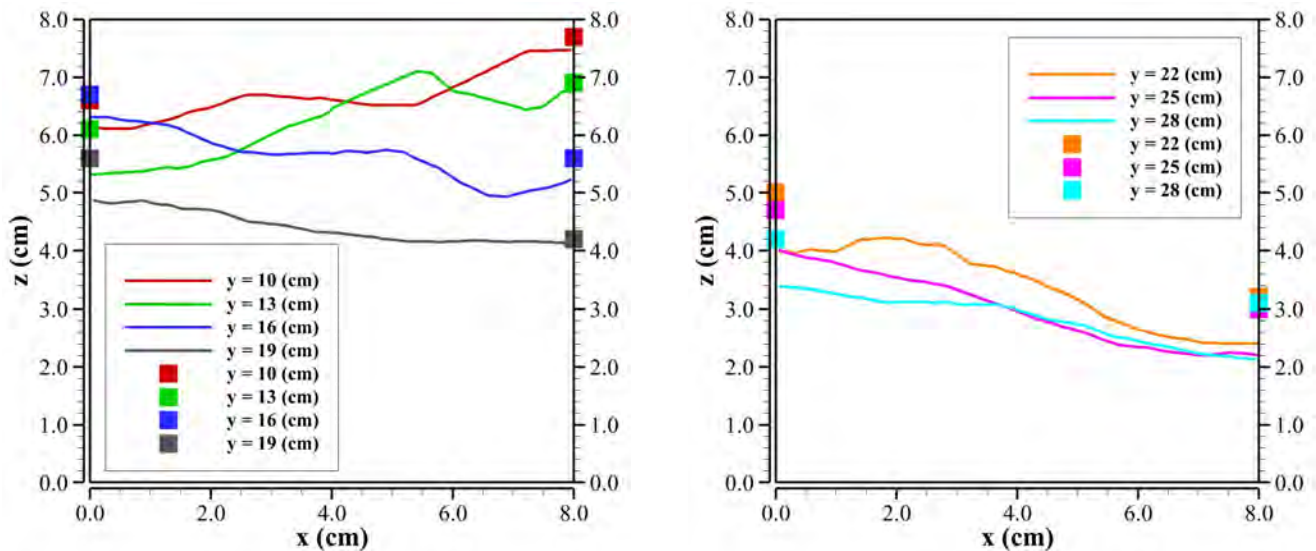


図-2 画像解析による固液界面の断面形状と計測値

ジョンライブラリである OpenCV, および数値計算ライブラリ NumPy を用いて画像解析を行った. その手順を以下に示す.

- 撮影した画像をグレースケール画像に変換し, 解析基準を輝度に統一する.
- グレースケール画像に対し,  $z$  方向の輝度勾配 (輝度値の差分) を算出する. ただし, 個別のピクセル列で輝度勾配を評価すると局所的なノイズの影響を受けやすいため,  $x$  方向に一定の幅を持つピクセルの集合を解析単位とし, 同一の  $z$  座標に属するピクセルの輝度値を平均化し, 隣接する上下の平均輝度値の差分を計算することで  $z$  方向の輝度勾配を算出する.
- b) で得られた輝度勾配が最大となる位置  $z$  を界面の候補点として抽出する.
- c) で得られた界面候補点の集合に対し, 移動平均フィルタを適用することで線の微小な変動を平滑化する.
- 最終的に得られた座標データに対し, カメラの撮影角度による幾何学的な歪みの補正と, あらかじめ設定したスケール値 (cm/pixel) を用いて, ピクセル単位の座標を実際の寸法 (cm) へと換算する.

以上の手順で得られた解析結果を図-2 に示す. 実線が画像解析から得られた地形データであり, プロットが  $x = 0, 8$  (cm) の 2 つの断面で実際に計測した地形データである. 実測値と比較すると, 画像解析で得られた地形の高さが低く求められていたが,  $x = 0, 8$  (cm) のそれぞれにおいて, 地形の高さを高い順番に並べたときに, 画像解析の順序と実測値の順序は一致していた.

本実験では, 斜め上方から撮影しているため, 撮影角度を考慮して地形の高さの補正を行っている. 一方で, レーザーで照射された断面の映像がカメラのレンズに入り込むまでに水面で屈折することで, 実際の高さより地形が小さく見えている可能性が考えられる. 画像解析において, その補正を考慮できず, 解析結果が全体的に実測値より低くなったことが考えられるので, 今後, その補正について検討していきたい.

#### 4. まとめ

トランスパレントソイルおよびレーザーを用いて静水中の地盤を撮影し, 画像解析を行うことで, 地形の空間分布を確認することができた. 今回の実験では, 飽和土を用いていたが, 地盤材料が飽和・不飽和の場合について検討したいと考えている.

#### 参考文献

- Carvalho, T., Suescun-Florez, E., Omidvar, M. and Iskander, M. : A Nonviscous Water-Based Pore Fluid for Modeling With Transparent Soils, *Geotechnical Testing Journal*, Vol.38, No.5, pp.805-811, 2015.
- 音田慎一郎, 加納隆伸, 肥後陽介, 山口凌大, 高野大樹: トランスパレントソイルを用いた堤防決壊プロセスの可視化に関する試み, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.77, No.2, pp.I\_643-I\_648, 2021.