

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金  
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

## 研究概要書

研究課題：地下水位の変動により発生する内部侵食現象と道路盛土の老朽化過程の解明

研究代表者：長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻 助教 福元 豊

### 1. はじめに

道路盛土が劣化し耐震強度が低下する原因の 1 つとして、内部侵食により複数の大小様々な空洞が盛土内に生じることが挙げられる。道路盛土の安全性を保つためには空洞の発生をいち早く見つけることが重要であり、様々な内部探査手法が日々開発されている。しかし、運良く侵食による空洞が生じた形跡を見つけたとしても、それが今後どのように進展していくかを予測することができない現状があり、このまま放置してもしばらくは安全なのか、それとも今すぐ対処しなければ危険なのかを判断することが難しい。本研究計画では、盛土内の地下水位変動と内部侵食現象の関連性について検討し、道路盛土が老朽化する過程の解明を目指した研究をおこなった。前年度までの 2 年間で検討した浸透流と土粒子の挙動を直接的に計測するための模型実験方法と数値解析方法<sup>1)</sup>をさらに高度化することで、これまでと同様に道路盛土の健全性維持への貢献を図った。

研究期間中は、a) 層流-乱流の遷移域の浸透流の直接観察<sup>2)</sup>、b) 浸透破壊の条件での浸透流と土粒子の両方の直接観察<sup>3)</sup>、c) 多孔質体流れの乱流域を観察できるような数値解析モデルの導入<sup>4)</sup>、の 3 点を主に実施した。以上の a)~c)のうち本報告では紙面の都合上、a)に該当する成果を中心に紹介する。

### 2. 土中の浸透流の直接的計測のための模型実験方法の高度化

屈折率マッチング手法を応用した模型実験を実施し、実験的に土中の浸透流を直接的に観察する方法の高度化を試みた。実験材料は、前年度と同様で、土粒子を模したアクリル球（粒径 8 mm, 屈折率 1.49）と間隙流体を模したシリコンオイルを用いた。今年度はそれ以外にも、ハイドロゲル球と水を組み合わせて屈折率をマッチングした場合の検討も別途実施した。

図-1(a)はシリコンオイル中に浮遊させた蛍光トレーサー粒子の挙動をレーザーシート上で光学フィルター越しに高速度カメラで撮影した画像である。画像中の黒く見えるのが固体領域を示し、白く輝いて見えるのが流体領域である。そして、この撮影画像に対して PIV にもとづく画像解析をおこなうことで、図-1(b)のような 2 次元的な流速ベクトルの分布を取得した。試料作製方法や撮影方法を工夫しながら実験を繰り返すことで、前年度よりも固体領域と流体領域の境界が鮮明で精度の高い画像を取得できるようになった。

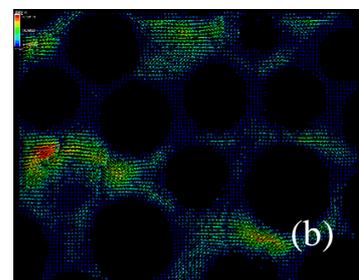
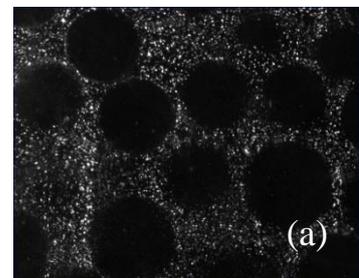


図-1 (a)レーザーシート上の撮影画像 (b)画像解析後の流速ベクトルの分布を示す図

### 3. 層流-乱流の遷移域の直接観察

今年度は浸透流のような多孔質体流れが層流から乱流へと移り変わる遷移域を調べるために、流入流量を変えながら検討をおこなった。流入流量  $Q$  は 60~1090 (ml/min) の範囲とした。本報では  $Q=60, 175, 1090$  の結果を示すが、それぞれレイノルズ数  $Re=0.480, 2.063, 15.118$  に対応する。多孔質体流れに

おける層流から乱流への遷移域は  $Re=1\sim 10$  とされるため、その範囲を含めた以上の条件とした。

図-2 は、多孔質体内の間隙流速の大きさの分布の確率密度関数 (PDF) であり、 $Re=0.480, 2.063, 15.118$  の 3 ケースをまとめた。図-2(a)は流速の水平方向成分  $v_y$  (m/s)の分布、図-2(b)は流速の鉛直方向成分  $v_z$  (m/s)の分布である。横軸の流速の大きさはそれぞれ  $y$  方向の流速の平均値  $\langle v_y \rangle$  (m/s)で正規化したもので、縦軸はその頻度を示している。これらの図より、 $Re$  の値が大きくなり、層流から乱流に近づくほど、 $v_y$  と  $v_z$  の分布のピーク値も大きくなる傾向が実験的に得られた。

これらの傾向を視覚的に確認するために、図-3 のような流速分布図を作成した。カラーバーは、最小値が 0、最大値が  $2\langle v_y \rangle$  (m/s)となるように設定した。図-3(a)の  $Re=2.063$  の場合と図-3(b)の  $Re=15.118$  の場合を比較すると、 $Re$  の値が大きくなるほど、図中で赤く描かれた高速流場が増加することがわかった。この高速流場の増加によって、図-2 においてピーク値に相当する 0 に近い流速の頻度が増加したと考えられる。

#### 4. まとめ

屈折率マッチング手法を応用した模型実験によって、層流から乱流に遷移する領域 ( $Re = 0.480 \sim 15.118$ ) の浸透流を直接的に計測することができた。また、レイノルズ数の大きさの変化にともなう間隙中の浸透流速の分布特性の変化を捉えることができた。以上の計測結果は、数値解析結果の妥当性を確認する際にも役立つと考えられる。

今後も、微視領域における浸透流と土粒子の運動の詳細観察を通して、道路盛土のような土構造物の健全性維持に貢献できる可能性を探っていきたい。

#### 5. 謝辞

研究の遂行にあたっては長岡技術科学大学修士課程 2018 年度卒業生の宇井智章氏<sup>1,2)</sup>、同修士課程 2 年生の塩原祐希氏<sup>1,2)</sup>、京都大学修士課程 2 年生の北尾朋広氏<sup>3)</sup>からの多大なる協力を承った。

#### 6. 参考文献

1. Yutaka Fukumoto, Satoru Ohtsuka: Coupled particle-fluid numerical simulation model for internal erosion of granular soils with a broad particle size distribution, 9th International Conference on Scour and Erosion, Vol.9, pp.639-644, Taipei, November, 2018.
2. 塩原祐希, 宇井智章, 福元 豊, 大塚 悟: 透明砂を用いた浸透流の直接計測手法による層流-乱流領域の観察, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019. (投稿中)
3. 塩原祐希, 宇井智章, 福元 豊, 大塚 悟: 透明砂を使ったボイリング現象の直接観察方法の検討, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, Vol.36, [3-206], 2018.
4. 北尾朋広, 福元 豊, 藤澤和謙, 村上 章: 乱流モデルを組み込んだ流体計算手法を用いた浸透流の直接的シミュレーション, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019. (投稿中)

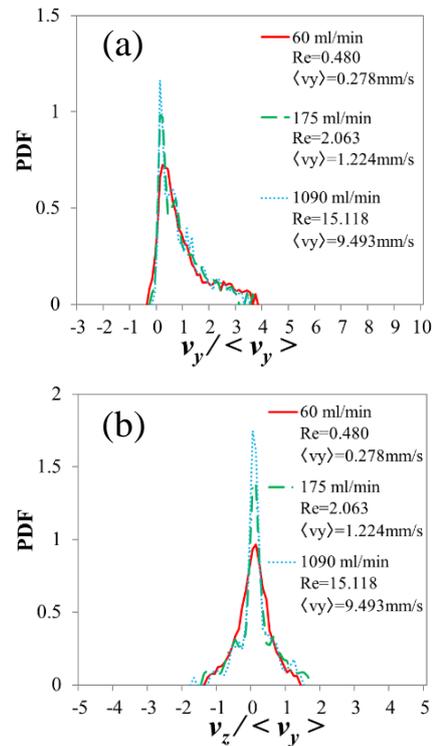


図-2 (a)水平方向の流速の大きさの頻度の分布 (b) 鉛直方向の流速の大きさの頻度の分布

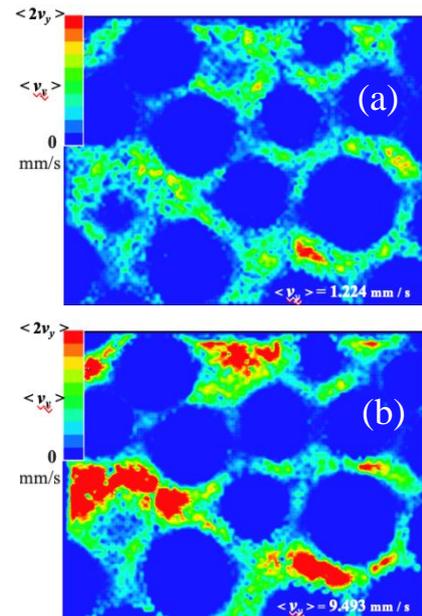


図-3 間隙における流速の大きさの分布図 (a)  $Re = 2.063$  (b)  $Re = 15.118$