

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：土粒子-浸透流連成の数値計算手法の高度化と内部侵食による道路盛土の劣化メカニズムの研究

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。本研究計画は、内部侵食による道路盛土の劣化メカニズムを解明するために、前年度までに検討した土粒子-浸透流連成の数値計算手法¹⁾³⁾をさらに高度化し、道路盛土の健全性維持への貢献を図るものである。(平成 28 年度の採択課題「雨水浸透による道路盛土の内部侵食メカニズムの微視的解明と空洞進展の予測手法の構築」を発展させた研究である。)

2. 屈折率マッチング手法を応用した模型実験による浸透流の直接観察

数値計算手法を高度化するためには、実験により計測された現実の現象との比較検討をすることが不可欠である。そこで、本研究では屈折率マッチング手法を応用した模型実験を実施し、実験的に浸透流を直接的に観察することを試みた。実験材料は、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。平成 28 年度は間隙流体として水を用いた検討までしか行うことができなかったが、本年度はシリコンオイルを用いて検討した²⁾。

図-1(a)はアクリル球の屈折率に対して、2 種類のシリコンオイルを用いて屈折率を調節した様子である。その後、図-1(b)のように、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断面上で光学フィルター越しに高速度カメラで撮影した。そして、そ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(c)のような 2 次元的な流速の分布を取得した。

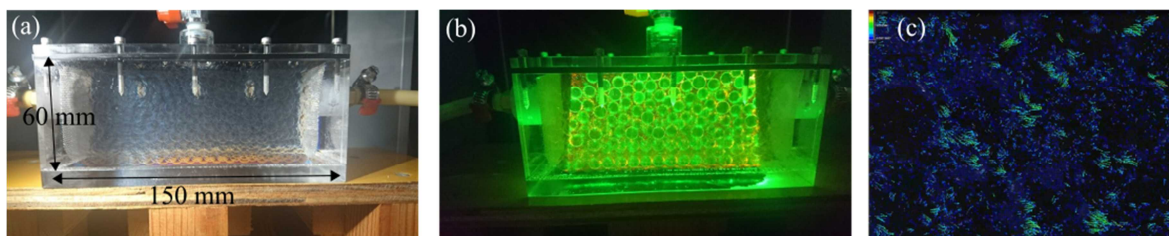


図-1 模型実験 (a)屈折率の調節 (b)レーザー断面 (c)PIV 解析による流速ベクトルの取得²⁾

3. 土粒子-浸透流連成の数値計算手法による浸透流の直接観察

内部侵食の問題に応用するために昨年度より検討を進めてきた数値計算手法は、個別要素法と格子ボルツマン法を連成して土粒子と浸透流の両方を直接解くものである¹⁾³⁾。本研究では、とくに、間隙流速の大きさの分布に着目し、模型実験で得られた結果との比較検討をおこなうことで、数値計算手法の妥当性を確認した。

模型実験を模擬した数値計算モデルは、図-2のように作成した³⁾。図-2(a)はモデルの全景で、図-2(b)は $x=30\text{mm}$ における yz 断面である。固体粒子の配置の作成は、個別要素法の計算によって行った。固体粒子の平均粒径は 8.0mm である。解析領域は模型実験装置に対応させて $60\times 128\times 60\text{mm}$ とし、 xz 断面の一方を一定流入境界、他方を自由流出境界とした。これらの条件の下、定常状態に至るまで計算を行った。図-3(c)は結果の一例で、 $x=30\text{mm}$ における yz 断面の流速分布である。

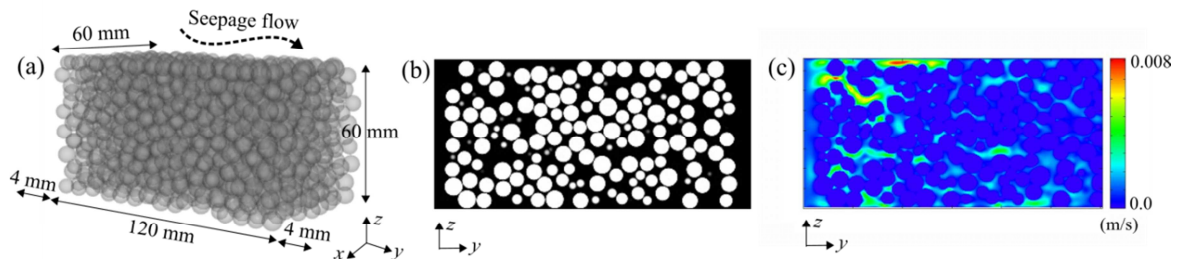


図-2 数値計算 (a)モデルの全景 (b) yz 断面の様子 (c) yz 断面における流速の大きさの分布³⁾

4. 模型実験と数値解析の結果の比較とまとめ

図-3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)である。横軸の流速の大きさは y 方向の流速の平均値 $\langle v_y \rangle/\text{m/s}$ で y 方向の流速 v_y を正規化したもので、縦軸はその頻度を示している。図-3(a)の模型実験から得られた v_y の分布を見ると、平均流速よりも小さい $0 < v_y / \langle v_y \rangle < 1$ に頻度のピークを持つ分布となった。また、 y 方向の平均流速の9倍以上の流速も計測された一方で、 y 方向で負の値をもつ流速も計測された。次に図-3(b)の数値解析から得られた分布を見ると、こちらでも平均流速よりも小さい $0 < v_y / \langle v_y \rangle < 1$ にピークをもつ分布となっており、最大の流速の大きさは平均流速の8倍程度となった。この点では模型実験で計測された間隙流速の分布の特徴と一致しているが、 y 方向で負の値をもつ流速の頻度の割合は模型実験に比べて小さくなった。

模型実験でPIVによる画像解析が対象とした範囲は $25\times 25\text{mm}$ であり、これが多孔質体領域全体の間隙流体移動の特徴を代表していると言えるかどうかについては今後の検討が必要である。また、模型実験では2次元的な浸透流の情報しか得ることができないが、数値解析では3次元的な検討が可能であり、この点の比較をさらに進めることも必要である。研究の遂行にあたっては長岡技術科学大学修士課程 H29 年度卒業生の清野颯氏²⁾³⁾と齋藤雅史氏⁴⁾、同修士課程2年生の宇井智章氏²⁾³⁾からの多大なる協力を承った。

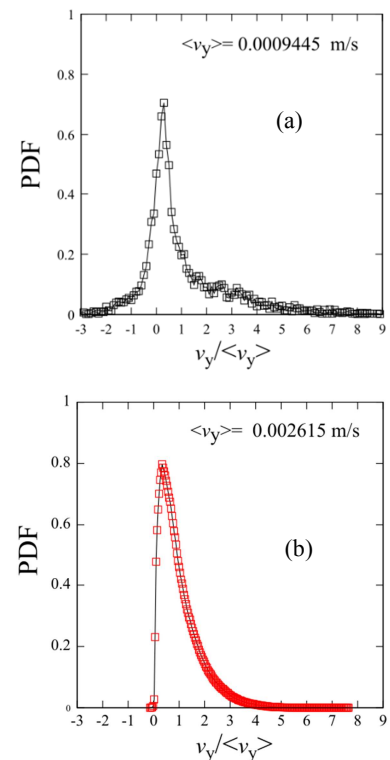


図-3 流速の確率密度関数²⁾³⁾
(a)模型実験 (b)数値計算

参考文献

1. Yutaka Fukumoto, Satoru Ohtsuka : 3-D direct numerical model for failure of non-cohesive granular soils with upward seepage flow, Computational Particle Mechanics, DOI: 10.1007/s40571-017-0180-5, pp.1-12, 2017
2. 宇井智章, 清野 颯, 福元 豊, 大塚 悟 : 土骨格中の浸透流の直接的観察手法の検討その1 : RIMSを用いた模型実験, 第53回地盤工学研究発表会, 2018. (投稿中)
3. 福元 豊, 宇井智章, 清野 颯, 大塚 悟 : 土骨格中の浸透流の直接的観察手法の検討その2 : 模型実験と数値解析の比較, 第53回地盤工学研究発表会, 2018. (投稿中)
4. 齋藤雅史, 福元 豊, 大塚 悟 : 水中での砂柱崩壊実験に基づく土粒子-間隙水連成計算手法の高度化, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, Vol.2017, pp.638-639, 日本大学湘南キャンパス(藤沢), 2017.