

平成 29 年 4 月 24 日

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：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

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

道路盛土の耐震強度が低下する原因の 1 つとして、雨水の浸透により細粒分が流亡する内部侵食によって複数の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、道路盛土の内部侵食メカニズムを微視的に解明するとともに、発見した空洞の今後の進展を正しく予測できる手法を構築することを目的とした、模型実験方法と数値解析方法の開発を行った。

### 2. 内部侵食を微視的に観察するための模型実験方法の開発

液浸法に PIV/PTV 計測に基づく画像処理を組み合わせた室内での模型実験により、土粒子と間隙水を模したガラスビーズまたはアクリルビーズとシリコンオイルの挙動をレーザーシート上で 2 次元的に可視化して観察する方法について検討した。液浸法とは、対象物をそれと同じ屈折率を持つ液体中に浸すことで、直接見えない内部の断面を可視光のもとで観察可能とする実験手法である。

図-1 左は、ビーカー内にアクリルビーズ（直径 8mm，比重 1.2，屈折率 1.49）を充填し、シリコンオイルで満たした状態で、上述した方法で撮影した画像である。画像より、任意断面のアクリルビーズの輪郭を 2 次元的に捉えることができた。同じ検討をソーダガラスビーズでも行ったが、アクリルビーズを用いた場合のほうがより鮮明に観察できることがわかった。図-1 右は、シリコンオイル中にトレーサー粒子を浮遊させた上で、光学フィルタガラス越しにトレーサー粒子のみを撮影した画像である。図-1 左と比較すると、今度は間隙の流体部分のみを観察できることがわかった。

図-2 は、直方体の容器内の上部に粗粒分と見立てたソーダガラスビーズ、下部に細粒分である珪砂を充填し、浸透流として水を一定流量で循環させ、細粒分の流出を観察する装置である。3 時間経過後の様子を示した図-2 より、この装置を用いて内部侵食の進行による細粒分層の上昇を再現できることがわかった。研究期間内では浸透流として水を用いた実験までしか行うことができなかったが、今後はシリコンオイルを用いて撮影した画像に対して PIV/PTV 計測を行う予定である。

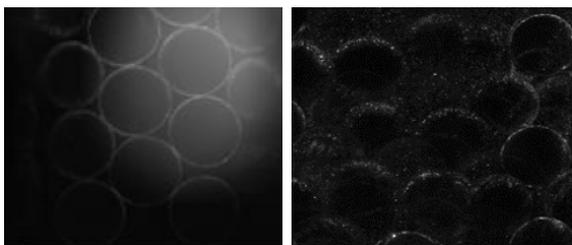


図-1 レーザーシート上の土粒子と浸透流の観察<sup>1)</sup>

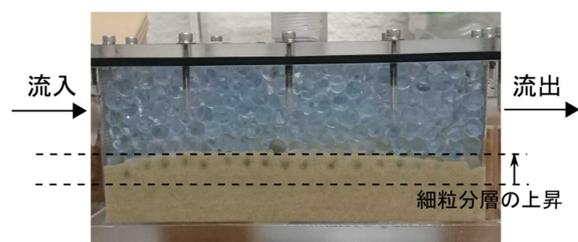


図-2 内部侵食の小型観察装置

### 3. 内部侵食を微視的に観察するための数値解析方法の開発

模型実験の結果を踏まえて3次元的に内部侵食を把握可能とするための粒子-流体連成の数値解析方法について検討した。開発したモデルは、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。この場合の「直接解く」とは、土粒子の運動を1粒ごとに追跡するとともに、図-3のように浸透流を土粒子の粒径以下の解像度で解くことを意味する。

図-4は、約1万個の土粒子を想定した球形粒子を流体中で落下させる計算例である。ここでの計算条件は、液浸法による浸透流と土粒子の可視化実験で用いたガラスビーズとシリコンオイルの物性値に相当するものである。数値計算モデルの妥当性は、容器中の3次元多粒子沈降の計算のほかに、流れ中の球体に作用する抗力の計算、3次元多孔質体流れの計算も行うことで示した<sup>2)</sup>。

図-5は、図-4での数値計算モデルをさらに拡張し、細粒分移動を取り扱えるようにした計算の例である。流体計算セルの大きさに対して、直径が小さい粒子との連成と直径が大きい粒子との連成とを組み合わせることで、細粒分と粗粒分が混在する地盤の内部侵食の問題への適用性を示した。

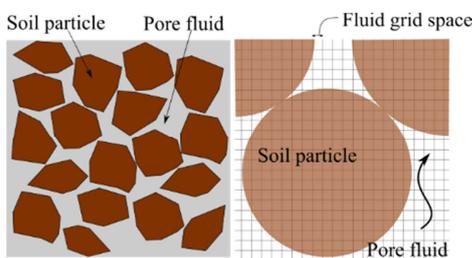


図-3 数値解析モデルの概図<sup>2)</sup>

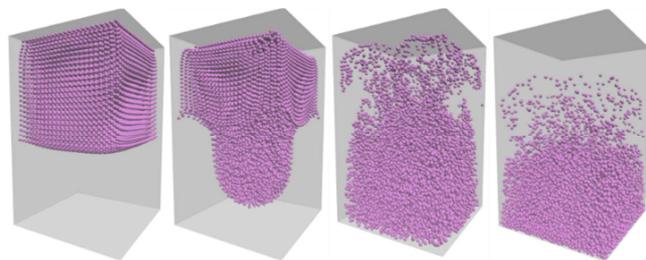


図-4 流体中の土粒子の挙動解析<sup>2)</sup>

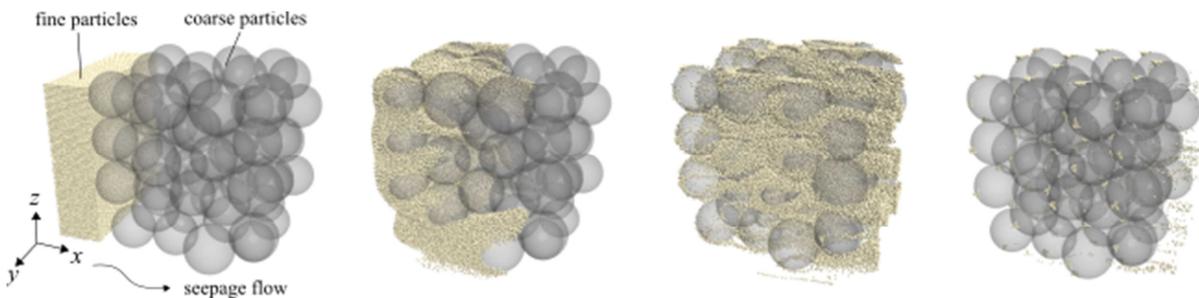


図-5 細粒分移動に対応した粒子-流体連成の数値解析モデル<sup>3)</sup>

### 4. おわりに

道路盛土内の内部侵食現象を微視的に捉えるための方法について、模型実験と数値解析の両面からの開発を進めた。模型実験方法については、材料の選定や撮影方法について検討を重ねることが今後も必要である。また、数値解析方法については、乱流も取り扱うことができる新たなモデルの導入などを通して、さらに高度化することが必要である。文中で引用した以下の参考文献は、研究期間内に得られた主な成果である。紙面の都合上、2通り行った模型実験<sup>3)4)</sup>のうちのみ<sup>3)</sup>を掲載した。もう1つの模型実験<sup>4)</sup>の詳細は、研究報告書に添付した。研究の遂行にあたっては長岡技術科学大学修士課程H28年度卒業生の梅沢圭佑氏<sup>4)</sup>と同修士課程2年生の清野颯氏<sup>1)</sup>からの多大なる協力を承った。

### 参考文献

1. 清野 颯, 福元 豊, 大塚 悟: RIMSによる土粒子と浸透流の可視化方法の検討, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, Vol.34, pp.170-171, 土木学会, 2016.
2. 福元 豊, 大塚 悟: 粒径差のある粒状体に対する内部侵食の数値計算モデル, 地盤工学研究発表会発表要旨集, Vol.51, pp.965-966, 地盤工学会, 2016.
3. 福元 豊, 大塚 悟: 浸透流と土粒子の直接数値計算のための PS-MRT Lattice Boltzmann モデル, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.72, No.2, pp.I\_335-I\_343, 土木学会, 2016.
4. 梅沢圭佑, 福元 豊, 大塚 悟: 土の侵食特性の定量的な測定方法の検討, 地盤工学研究発表会発表要旨集, Vol.51, pp.933-934, 2016.