

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15082

研究課題名（和文）三次元流路形成モデルを用いた土壌中の流体流動プロセスの解明

研究課題名（英文）Fluid flow process in soil using a three-dimensional channel formation model

研究代表者

中村 謙吾（Nakamura, Kengo）

東北大学・環境科学研究科・助教

研究者番号：30757589

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、土壌の不均一性にも対応し得る流路形成モデルを確立することで、実環境（攪乱土壌、不攪乱土壌）の孔隙構造を可視化し、土壌内の流路を流体流動シミュレーションから透水性の予測を行った。その上で、真値となる実環境での透水性の評価し、土壌中の孔隙構造と流体流動特性の支配的要因を考察していく。本研究で実施した土壌中の流れに関する各種試験結果から、土壌中の流路に応じて卓越流路が形成される。また、この形成された卓越流路の形状に応じて土壌中の成分の溶出プロセスが大きく変化することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地盤環境中の流れを可視化し、卓越流路形成プロセスについて議論を行った。地盤環境中では、地下水の流れ、雨水の浸透などの土壌間隙水の流れなど様々な流れのが生じる。この流れを可視化し、形成プロセスを議論することで、見ることでできない地下の環境の移送を予測することが可能となる。また、汚染源より流入した汚染物質の土壌や地下水を經由して様々な環境を汚染する可能性がある。この卓越流路の可視化により、人への摂取プロセスを詳細に予測することが可能となり、環境リスクへの適切な対応が可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we visualized the pore structure of real environments (disturbed and undisturbed soils) by establishing a flow channel formation model that can accommodate soil heterogeneity. The flow paths in the soil were predicted for permeability from fluid flow simulations. We then evaluated the permeability in the real environment, which is the true value, and discussed the dominant factors of pore structure and fluid flow characteristics in the soil. Based on the results of various tests, an excellence channel is formed according to the flow path in the soil. It was also suggested that the leaching process of the constituents in the soil changes significantly depending on the shape of the formed excellence flow paths.

研究分野：地盤工学

キーワード：土壌 卓越流路 可視化 孔隙構造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

土壌における流体流動現象の理解は、環境工学、農学、防災などの分野において重要な課題である。土砂災害の発生メカニズムや土壌汚染における汚染物質の分布は、土壌内の孔隙水の移動が寄与している。

土壌中の流体流動現象も透水係数により表現され、そのパラメータの推定に関する研究も報告される。土壌の透水係数の推定式のひとつに Kozeny-Carman の式がある。Kozeny-Carman の式は、砂分を多く含む砂質土では実験値と推定値でよい近似を示したが、シルト分・粘土分を多く含む土壌では、その値に大きな違いが生じた。土壌という複雑な形状や含有成分を持つ試料を対象とする場合は、汎用性の観点から Kozeny-Carman の式が用いることが多く、シルト分・粘土分を多く含む土壌では、フィティングや補正係数を導入することで対応しているに過ぎない。

実験室レベルの土壌中の透水性予測は、実環境の透水性を容易に再現することができない。これは、土壌の粒度や地盤内の割れ目、動植物の影響による孔隙分布の偏りによって、大きな流路の偏りが生じるためである。また、土質試験では土壌を均質なものとして扱うことから、実環境で生じる可能性のある不均質な孔隙分布や流路の偏りを実験室で再現することは不可能である。そのため、Kozeny-Carman の式から推定される透水係数は、実環境での流体の予測での Darcy の法則に適用する場合に実環境と予測に差異が生じる。この土壌中の流路の偏りは、農薬や重金属類の有害物質の移流・拡散に重要な要素であり、また、土砂災害発生の原因となる地盤の亀裂形成の引き金となる可能性が高い。土壌中の流体流動を知ること、土壌汚染や土砂災害における適切なりスク評価を実施することが可能となると考えられ、実環境に即した流体流動モデルの開発が希求されている。

2. 研究の目的

本研究では、土壌中の孔隙分布や流路を可視化するモデルを作成した上で、実環境における土壌の流体流動現象について考察を行う。この手法において有用な点として、可視化によって表現される土壌中の孔隙や流路の偏りが視覚的に捉えられることにある。学術的には、孔隙構造と流体流動特性の支配的要因を土壌のマクロ的にも、偏りによるミクロ的な観点からも議論することが可能である。また、可視化によって土壌を表現することは、土壌汚染のメカニズムの検討、砂防対策の基礎データなどの利用価値があり、理解や応用することが容易となる。

3. 研究の方法

土壌中の流体流動現象を解明するためには、金粒子など土壌と未反応性の物質を用いたトレーサー試験による流路の観察が行われてきた。しかし、近年では土壌中の孔隙分布の調査において、X線CTを用いた解析が報告されている。著者らは、土壌カラム通水試験に着目し、X線CTを用いてカラム内に充填された土壌の孔隙分布を三次元分布としてとらえた。X線CTなど三次元可視化技術を用いた実環境中の土壌構造を想定して実施する試料充填方法の違いに起因した孔隙率分布の違いとその流体流動への影響について考察を行った。しかし、土壌カラム内に形成される流路の議論は、土壌への間隙水流入時の初期条件やカラムと土壌試料の境界条件から生じるカラム試験の実験的なスケールや土壌種の少なさから不十分であった。

実環境の土壌試料では、土壌の孔隙構造の不均一性から精度を保持して予測することができない。しかし、土壌汚染や土砂災害の現場が均質な土壌であることはない。したがって、土壌の

不均一性に対応可能な透水係数の推定方法を得るためには、最低限カラム試験程度の大きさを保持した土壌コアを用いた流路形成モデルを確立し、流体流動プロセスを理解した上で三次元に可視化した実環境の土壌の三次元孔隙分布や流路から評価していく必要がある。本研究では、室内実験から土壌内の孔隙分布を X 線 CT を用いて可視化し、部分体積効果を用いて土壌中に形成される二相（固相 vs 気相・液相）のデジタル土壌コアをモデリングすることで、土壌内の流路を流体流動モデルから透水係数などのパラメータの推定を行う。また、様々な環境の土壌コアを採取し、室内試験の結果とそのパラメータの比較を行うことで、実環境の土壌中の孔隙構造と流体流動プロセスの真値について考察していく。

4 . 研究成果

本研究では、土壌中に形成される流路を可視化し、土壌の成分と流れの関係性を評価した。充填方法（Free-fall, Compaction）の異なる上向流カラム試験を実施し、X線CTを用いて土壌構造及び孔隙構造及びヨウ化カリウムを用いた卓越流路を可視化した。また、通水中の流れの変化を差圧より求めた透水係数で評価した。土壌成分は、pH や EC、主要元素と重金属類を測定し、それらの溶出濃度及び溶出挙動をカラム試験より得た。Free-fall で充填したカラムでは、液固比 2 までの透水係数が 100 倍程度変化し、通水直後は、土壌間隙全体に流れが生じていたが、液固比の増加と共に卓越流路が形成された。Compaction では、液固比 2 までに 10 倍程度変化することが、通水初期からカラム内に卓越流路が形成されていた。Na や Cl のように吸着性の低い元素は、充填方法による挙動の変化がない。主要成分の Ca や Mg や重金属類の中で土壌へ吸着土壌成分の溶出挙動の変化は、液固比 2 までに充填方法の違いによる大きな影響が見られた。これは、土壌中に形成された卓越流路が土壌成分の吸脱着に影響し、溶出挙動に影響したと考えられる。また、液固比 2 以上で、充填方法の違いによって EC の挙動が変化した。このことから、上向流カラム試験中では、通水によってカラム内部の性状が異なり、土壌成分の溶出メカニズムが変化していることが示唆される。

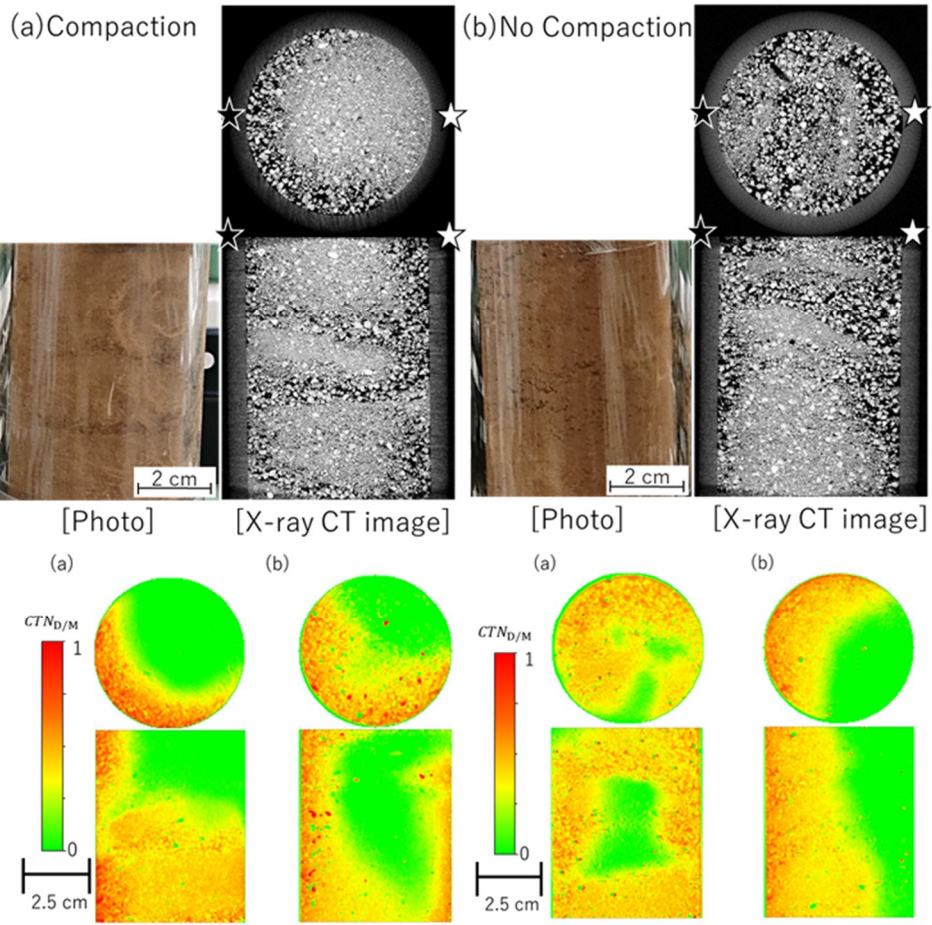


図 土壤カラム内に形成される卓越流路

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------