

汚染履歴が異なる油汚染土壌の水理特性と土中油分存在形態との関連性評価
Assessment of the Relationship Between Hydraulic Properties of Oil-Contaminated Soils with
Different Pollution Histories and the Presence of Oil Phases in Soil

谷川原龍之介¹・小島悠揮²・濱本昌一郎³・大竹豊⁴・神谷浩二²

¹岐阜大学大学院自然科学技術研究科 (現・アジア航測)・²岐阜大学工学部・

³北海道大学大学院農学研究院・⁴東京大学大学院工学系研究科

要旨(Abstract)

油汚染発生時の体積含水率の違いによる間隙中の水-油-空気の三相分布とその土壌水理特性への影響を把握するため、初期含水率が異なる模擬汚染土を作成し、透水試験、保水性試験、せん断試験、CT スキャンによる内部観察を行った。透水試験では、乾燥状態の珪砂に油を混入させた試料は、湿潤状態の珪砂に混入させた試料より透水性が低下した。保水性試験では、乾燥状態の珪砂に油を混入させた試料の方が湿潤状態の珪砂に油を混入させた試料と比べ保水性が低下した。CT スキャンによって油汚染発生時の土壌中の水の有無によって、模擬汚染土の間隙中の三相分布に違いがみられた。

キーワード：油汚染土壌，汚染履歴，透水係数，水分特性曲線，X線CT

Key words: oil-contaminated soil, contamination histories, hydraulic conductivity, soil water characteristics curve, X-ray computed tomography

1. はじめに

近年、油や揮発性有機物による土壌汚染が問題となっており、効率的な浄化が求められている。その実現のためには油汚染土壌中の水の移動を把握する必要がある。油汚染土壌の水理特性は間隙中にとどまった油によって変化することが分かっているが、Cui et al. (2003)は、汚染が発生した際の乾燥密度によって間隙中の水-油-空気の三相の分布傾向が変化すると推測した。このような三相の分布傾向が変化すると、間隙中を移動する水の移動特性に影響を与えたと考えられる。Cui et al. (2003)は土壌の乾燥密度に着目したが、油汚染が発生した際の土壌水分量によっても間隙中の三相分布が変化する可能性がある。そこで本研究では、油汚染発生時の体積含水率の違いによる間隙中の水-油-空気の分布傾向の変化とそれによる土

壌水理特性の変化を解明することを目的とした。目的の達成に向け油混入時の体積含水率が異なる模擬汚染土を用いて透水試験、保水性試験、せん断試験、X線CTによる内部観察を実施した。

2. 実験方法

模擬汚染土の作成には珪砂6号と、珪砂9号を用いた。試料の乾燥密度を珪砂6号は 1.40 g cm^{-3} 、珪砂9号は 1.35 g cm^{-3} に統一し各実験に用いた。油は安全性と揮発性の低さを考慮し、ナタネ油を使用した。実験に用いた模擬汚染土の初期含水率と油の体積分率を表1に示す。透水試験は変水位透水試験を採用し、表1の汚染土A~Jを用いた。保水性試験は汚染土A~Fを用いて土柱法を行った。内径4.7 cm、高さ5 cmの円筒形のアクリルパイプ20個を鉛直方向に重ねて固定し、高さ1 mのカラムを作成した。

表1 模擬汚染土の水と油の体積分率

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
水の量(%)	0	0	1	1	5	5	10	10	20	20
油の量(%)	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10

飽和-排水後の水分量より保水性を評価した。一面せん断試験は垂直力上面載荷, 下箱稼働型で, 直径 6 cm, 高さ 2 cm, 容積 57 cm³ のせん断箱によって, 汚染土 B, D, F を用いて実験を行った。X線 CT は高さ 5 cm, 内径 1 cm のアクリルカラムに珪砂 6 号の模擬汚染土 B, H を充填し, CT Lab HX130 (リガク) で撮影した。

3. 結果と考察

透水試験の結果, 乾燥状態の珪砂に油が混入した試料の透水係数は, 体積含油率 5% と 10% の供試体でそれぞれ 0.024 cm s⁻¹, 0.015 cm s⁻¹ だった。その一方で, 湿潤状態の珪砂に油が混入した試料は, 体積含油率 5% と 10% でそれぞれ 0.010~0.012 cm s⁻¹, 0.006~0.007 cm s⁻¹ であり, 透水係数は減少した。これは汚染履歴の違いによって水-油-空気の分布が異なったためと考えられる。乾燥状態の珪砂に油を添加した場合は油が微細間隙に侵入し水が粗間隙に存在する一方で, 湿潤状態の珪砂に油が混入した場合は油が粗間隙に存在すると考えられる。

土中法で得た水分特性曲線を図 1 に示す。尚, 図中には測定された未汚染土の水分特性曲線も示した。汚染履歴の違いによって残留体積含水率が若干異なったものの, 珪砂 6 号では水分特性曲線の形状に大きな変化は見られなかった。その一方で, 珪砂 9 号の水分特性曲線は, 初期体積含水率 0% の汚染土と初期体積含水率が 1~10% の汚染土において, 顕著な違いが見られた。汚染土 B ではマトリックポテンシャルが -7.84 kPa を下回った辺りから体積含水率が増加した。これは自由水面から 85~90cm (-8.33~8.92 kPa 相当) の高さに位置するカラムで, 土中水の連続性が途絶えたと推測される。また空気侵入値が他の試料と比べて大きくなっている。珪砂 9 号では土粒子表面に付着した油が土壌中の間隙を塞いでいる可能性がある。

撮影した CT 画像を, 土粒子を黄色, 水を青色, 油を赤色, 空気を黒色に分節化した画像を図 2 に示す。図 2 (a) の乾燥状態の珪砂に油を

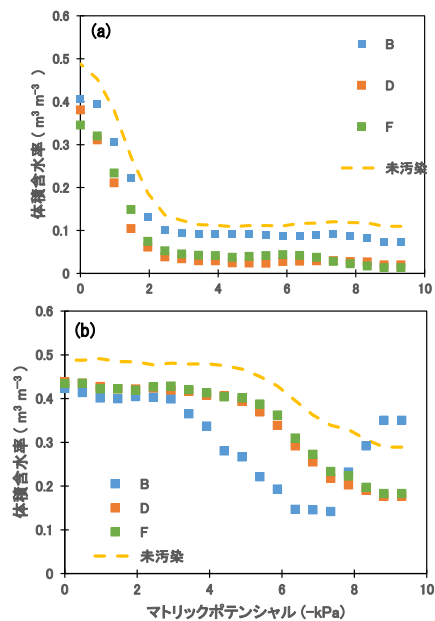


図 1 土柱法で求めた水分特性曲線。それぞれ (a) 珪砂 6 号の体積含油率 10% (b) 珪砂 9 号の体積含油率 10% の結果を示す。

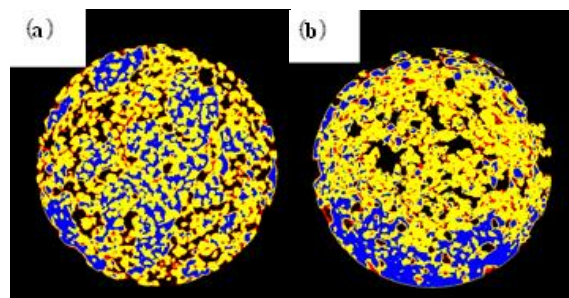


図 2 分節化した後の CT 画像。それぞれ (a) 乾燥状態の珪砂に油を混入させた試料 (b) 湿潤状態の珪砂に油を混入させた試料の画像を示す。

混入させた試料に着目すると, 水が大きい間隙に存在しており, 油が微小間隙中や土粒子の表面に付着して存在していることが分かった。図 2 (b) の湿潤状態の珪砂に油を混入させた試料では, 油の多くが土粒子表面よりも間隙中央を埋めていることが確認できた。以上の結果は, 透水試験, 保水性試験の結果と一致している。

4. おわりに

汚染履歴の違いによる間隙内三相分布の変化とそれが汚染土壌の水理特性に与える影響を把握することができた。汚染発生から時間経過によっても間隙内三相分布が変化する可能性があるため, 今後検証を行う必要がある。

【引用文献】

Cui, Y. J., Delage, P. & Alzoghbi, P. 2003. Retention and transport of a hydrocarbon in a silt. *Géotechnique* 53, No. 1 : 83-91