

第II部門 土壌構造の分析に基づく空隙径分布の推定

京都大学工学部	学生員	○	松田雄馬
京都大学大学院工学研究科	正会員		市川 温
京都大学大学院工学研究科	正会員		堀 智晴
京都大学大学院工学研究科	正会員		椎葉充晴

1 はじめに 土壌中の水の挙動は、土壌の空隙(径)分布に大きく左右される。土壌の空隙は土粒子間の隙間であることから、空隙径は土粒子の粒径分布や土粒子間の接合と密接な関係がある。Arya and Paris^[1]は、土粒子の粒径分布と土壌密度から空隙径分布を推定し、土壌水分特性を予測する手法を開発したが、彼らの手法では、異なる粒径の土粒子が隣接して配置されるという一般的な状況が考慮されていない。そこで、本研究では、より現実的に土壌水分特性を推定することを目的として、異なる粒径の土粒子が不規則に配置された状態にて生じる空隙径の分布を、土壌構造の分析に基づいて推定する方法を開発する。

2 土壌構造のモデル化と空隙径の計測方法

2.1 土壌構造のモデル化 本研究では、粉体工学において一般的に用いられている粒子要素法^[4]を用いて、土壌構造をモデル化する。粒子要素法では、土粒子を球形弾性体として考え、図1のように、二つの土粒子が接触したときの相互作用を考える。このとき、相互作用により圧縮した距離を α とすると、二粒子間に働く相互作用力 P は、土粒子の弾性による力

$$P_1 = K\alpha \quad (1)$$

と、粘着力による力

$$P_2 = \mu \frac{d\alpha}{dt} \quad (2)$$

の合力として求められる。ここで、 K は土粒子の弾性定数、 μ は粘性係数である。

粒子が接触する際に、これらの相互作用力が働くことを考慮して、土粒子の充填を行い、これによって土壌構造をモデル化する。

土粒子の充填は、容器上方から土粒子を一つ一つ落としていくという方法で行う。図2に示すものが、

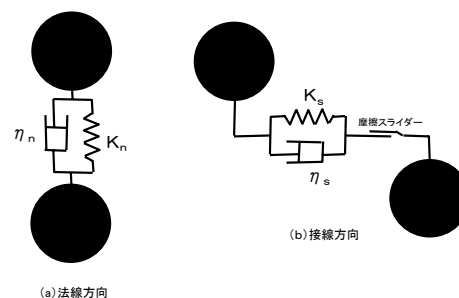


図1 粒子要素法の概念図

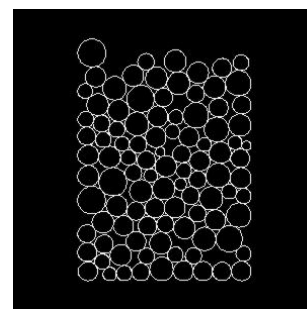


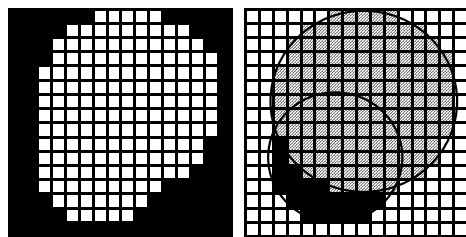
図2 土粒子充填図(例)

こうして得られた土壌構造であり、図中の円が土粒子である。

このようにして作成した土壌構造中の空隙(図2の白色部分)について、2.2に示す方法で空隙径の分布を調べる。

2.2 空隙径の計測方法 空隙径計測方法については例を挙げて説明する。

図3(a)に示すように、土壌のサンプルを細かいメッシュで区切り、粒子部分と空隙部分を色分けする。黒色は土粒子部分を、白色は空隙部分を表す。水銀圧入式ポロシメータなどを用いて空隙径を実測する場合は、空隙径の大きいものから計測していくので、図3(a)の空隙部分に入る円を大きいものから順に描いていき、この円の半径と面積をそれぞれ測定するこ



(a) 手順 1

(b) 手順 2

図 3 空隙径計測手順 (例)

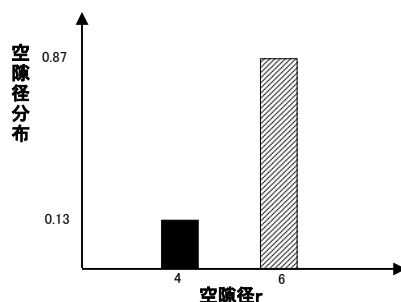


図 4 空隙径分布図 (例)

とによって空隙径とその面積を決定する。図3(a)のような空隙部分に対しては、図3(b)のような二つの円が描ける。この例では、灰色部分の円の半径(これがこの空隙の空隙径となる)は6、面積百分率は0.87であり、黒色部分の円の半径は4、面積百分率は0.3となるので、縦軸に面積百分率、横軸に空隙径を取ると図4のような空隙径分布図が描ける。

3 数値実験の結果と考察 本研究では、豊浦標準砂の平均粒径 ($293.4[\mu\text{m}]$)・標準偏差 ($69.8[\mu\text{m}]$) を用いて数値シミュレーションを行った。この結果を空隙径分布図として図5に示す。図中に示した曲線は、対数正規分布の確率密度関数である。

シミュレーションによって得られた空隙径は、1標本に対するコルモゴロフ・スミルノフ検定を用いて調べた。帰無仮説を「得られた空隙径分布は対数正規分布にしたがう」とし、対立仮説を「得られた空隙径分布は対数正規分布にしたがわない」とした。

本実験では、帰無仮説は棄却され、「得られた空隙径分布は対数正規分布にしたがわない」という結果になった。

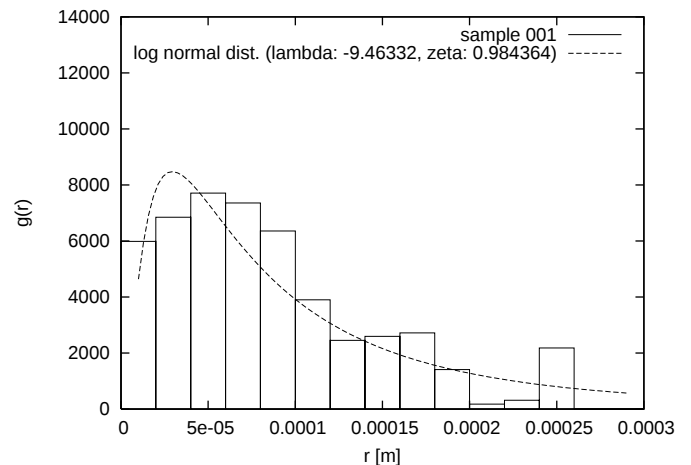


図 5 空隙径分布図

4 まとめ 本研究では、計算機上で作成した土壌構造を分析することによって空隙径の性質を調べる手法を開発した。具体的には、粒子要素法を用いて土壌構造をモデル化し、空隙径の実測手法の原理を参考として計算機上で空隙径を計測する手法を提案した。そしてその手法を用いて数値実験を行い、空隙径分布を得ることができた。

この空隙径分布について調べたところ、一般的に言われていた、空隙径分布が対数正規分布をなすという事実については予想と異なった結果が得られた。この理由としては、本実験において用いた土粒子数が非常に少なかったことが考えられる。また、実験回数自体が少なかったため、十分な分析ができなかった。さらに、本実験は2次元上で行ったため、この結果が現実を詳細に反映しているとは言えない。今後の課題は、プログラムの効率化を計ることによって、3次元上で、より多くの粒子を用いて数値シミュレーションを行うということである。

参考文献

- [1] Lalit M.Arya and Jack F.Paris : A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-Size distribution and bulk density data, Soil Sci.Soc.Am.J., vol.45, pp.1023-1030, 1981.
- [2] Yechezkel Mualem : A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resource Research, vol.12, No.3, pp.513-522, 1976.
- [3] Ken'ichirou Kosugi : Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention, Water Resource Research, vol.30, No.4, pp.891-901, 1994.
- [4] 粉体工学会 : 粉体シミュレーション入門, 産業図書, pp.29-82, 1998.