

間隙ネットワークモデルの紹介と吸水性ポリマー混合砂への適用

Pore network model and its application to sand mixed with absorbent polymer

宮本輝仁¹・松本宜大¹・佐藤駿介²

¹農研機構農村工学研究部門・²筑波大学理工情報生命学術院

要旨

Python を使って間隙ネットワークモデリングが可能なフレームワークである OpenPNM を紹介する。また、吸水性ポリマーを豊浦砂に混合したとき、吸水したポリマーによって間隙が閉塞され、飽和透水係数が低下したことを表現する間隙ネットワークモデルについて検討した。

キーワード：間隙ネットワークモデル, OpenPNM, 吸水性ポリマー

Key words: pore network model, OpenPNM, absorbent polymer

1. はじめに

土の物理性は土の複雑な間隙構造に大きく依存する。例えば、保水性は大小様々な間隙径の分布により変わる。また、土中の物質移動は間隙の空間的配置に大きく影響を受ける。そのため、間隙構造を非破壊で把握することが試みられている。非破壊試験法として水銀圧入法やガス吸着法の他、最近では X 線マイクロトモグラフィ等も用いられる。

複雑な間隙構造を把握して土の物理性を評価するにはモデル化が必要である。間隙スケールのモデルの一つに間隙ネットワークモデルがある。ここでは、吸水性ポリマーの混合割合が豊浦砂の透水性へ与える影響のモデル化に応用したことを報告する。

2. 間隙ネットワークモデル

間隙ネットワークモデルは多孔質体中の移動現象のモデル化で用いられてきた。間隙ネットワークモデルでは間隙と他の間隙と連結しているネックといわれる挟まったところをそれぞれ球形の間隙 (pores) と円筒状の連結部 (throats) で表現してネットワークを構築する (Fig. 1)。これにより、他の間隙スケールのモデル、例えば、格子ボルツマン法等に比べて計算資源をあまり使わずにシミュレーションが可能なモデルである (Xiong et al., 2016)。

本研究では Python 上で間隙ネットワークモデリングが可能なフレームワークである OpenPNM (<https://openpnm.org/index.html>) を使用した。OpenPNM を用いると、ネットワークの構築から間隙と連結部の幾何形状の設定や流体の物理性や熱力学的特性の設定等を行うことができる。ネットワークの構築には立方体や任意の形状の中に立方格子を作るものや、間隙と連結部をランダムに配置するものまで標準で用意されている。また、間隙径分布を調整する機能もあり、対象土壌の間隙径分布に近いものを再現できる。さらに、流体の物理性や熱力学的特性については、水と空気、水銀の標準値が格納されている他、任意の値を設定することができる。これらのパラメータを設定してモデルを構築した後、定常浸透の計算から間隙内

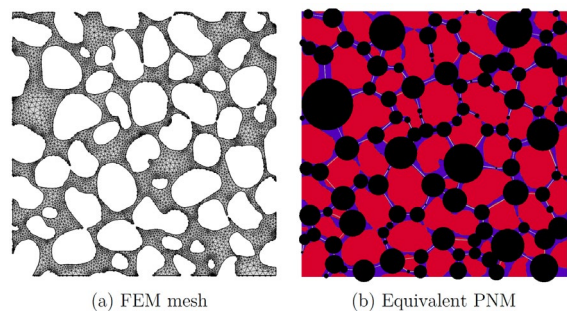


Fig. 1 間隙構造を (a) FEM と (b) PNM でモデル化したときのイメージ (OpenPNM の HP より)

の流速や圧力分布の把握が行え、排水過程を再現することで不飽和状態と飽和度の関係等を得ることができる。

3. 間隙ネットワークモデルの試行

間隙内の水移動に関わる現象として、吸水性ポリマーを豊浦砂に混合したとき、吸水したポリマーによって間隙が閉塞され、飽和透水係数が低下したことを取り上げる。

(1) 飽和透水係数の実験

風乾した豊浦砂に吸水性ポリマー（EF ポリマー株式会社、<https://ja.efpolymer.com/>）を 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10 %混合して試料を作成した。毛管上昇により吸水させたところ、3, 5, 10 %混合試料では吸水したポリマーによって間隙が閉塞され、毛管飽和が行えなかった。そのため、100 cm³の円筒容器内に水を張り、水中充填により試料を充填した。変水位法により飽和透水係数を測定した。併せて、吸水性ポリマーのみの試料でも飽和透水係数を測定した。吸水性ポリマー自体は 10⁻⁸ cm/s の透水性であったため、混合割合の増加に伴い、10⁻² cm/s から急速に透水性が下がり、10%混合試料では 10⁻⁷ cm/s まで低下した。

(2) 間隙ネットワークモデルの構築

3D の立方格子上に間隙が配置された間隙ネットワークモデルを構築した (Fig. 2 (a))。間隙と連結部の幾何形状の設定や流体の物理性や熱力学的特性の設定等を行った後、Stokes 流を適用して間隙ごとの圧力や連結部の流速を計算した。その後、x 軸方向の断面における間隙流速の平均値から Darcy 則を適用して飽和透水係数を求めた。

吸水したポリマーによって間隙が閉塞されることを間隙ネットワークモデルで表現するために、閉塞した間隙をネットワーク上からランダムに取り除く機能を使って新たに間隙ネットワークを構築し、上と同様に Darcy 則を適用して飽和透水係数を求めた。この操作により、

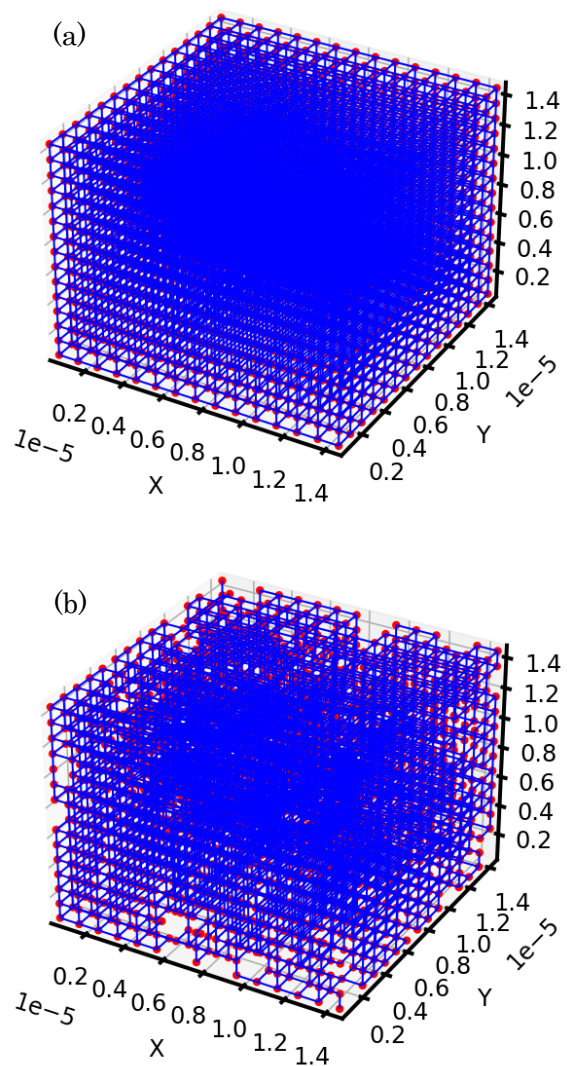


Fig. 2 構築した間隙ネットワークモデル

(a) 3D 立方格子上に間隙を配置したモデルと

(b) 間隙をランダムに 14%減らしたモデル

間隙を 14%減らすことにより飽和透水係数が半減することを確認した。

4. おわりに

間隙ネットワークモデルを用いることにより、土の物質移動への間隙構造の影響をより詳細に評価できる可能性があることがわかった。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP24H00535（代表：宮本輝仁）の助成を受けたものである。

参考文献等

Xiong et al., (2016) J. Contam. Hydrol. 192(1), 101-117.