

多孔質体の透水挙動における間隙形状変化の影響

福島工業高等専門学校 学生会員 ○福地 啓大
福島工業高等専門学校 正会員 橘 一光

1 まえがき

近年地盤工学分野において、広域災害の現象理解のために水と土との相互作用を適切かつ詳細に表現することが求められている。これに伴って、土・水の相互作用を表す透水係数のような材料パラメータの表現精度向上も求められている。透水係数は本来、間隙の形状に依存した材料パラメータであることが知られている⁽¹⁾が、実際の土質材料の内部構造の複雑さから、間隙の形状を直接観測・数値化することは困難である。そのため、粒形や粒度分布などの測定値から間接的に間隙を表現することが一般的である。現在土質材料に対して用いられる透水係数の推定式は多数提案されているが、式ごとに適用できる土の範囲や係数の差異がある要因として、本質的に上述の問題があると考えられる。この問題に対して、数値解析を主軸とした研究すなわち数値材料試験を用いることで、内部の間隙形状を数値化したい。

近年盛んに応用されているデータ解析手法として、ビッグデータなどの抽象的なデータを扱う位相的データ解析が挙げられる。そのなかでも、Persistent Homology (PH)⁽²⁾と呼ばれる手法は物理的な距離・位置関係を数値的に表現する手法として応用することができると考えられる。本研究では球要素充填で作成した土要素モデルの内部間隙について PH による数値化を行い、間隙形状の変化を定量化する操作としての性質を調査する。

2 解析手法

2.1 Persistent Homology

Persistent Homology (PH) は抽象的なデータ群を扱う位相的データ解析手法の一つである。3次元空間の点群を入力とした場合、個々の点の座標を仮想球の中心とみなし、一斉に球を拡大することで起こる球同士の接触・閉領域の生成と消滅を記録することで、点

群の位置関係を数値化・抽出する⁽³⁾。

Persistent homology で処理したデータの出力の一つに Persistent Diagram (以下 PD) があり、生成・消滅の2軸で間隙の散布図を表示することで点群の形を特徴づけることができる。

本研究では、東北大学で開発された Python ライブラリ⁽⁴⁾を用いて、土要素モデルの間隙表現として PD を利用することで透水係数変動と間隙形状の関係をみた。

3 解析結果

PD によって表現される間隙の情報は抽象化されているため、事前に具体的な間隙の形状との対応関係を明らかにする必要がある。そこで、球や円錐など基本的な形状の間隙を想定し、それを形作る点群データを PD として表現した場合に特徴的な出力が得られることを確認した。実際に数値解析で透水係数を決定した土要素モデルの間隙を PD で表現し、モデル間の PD の変化を分析した。その結果、土要素モデルの間隙の PD における、どのモデル間にもみられる普遍的な要素と特徴的な要素を判別し、特徴的な要素を取り出すことに成功した。

4 結論

球要素充填によって作成した間隙形状を Persistent Homology によって数値化する場合の特徴は以下のよう

- Persistent Diagram 上で点の密度が大きい特徴線が出る
- 特徴線の上には基本形状として考えられる粒子配置を対応付けることができる
- 特徴線から外れた点は、ある基本形状から別の基本形状へと変形する途中の粒子配置として解釈できる

キーワード 透水係数, 間隙形状, Persistent Homology

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 都市システム工学科

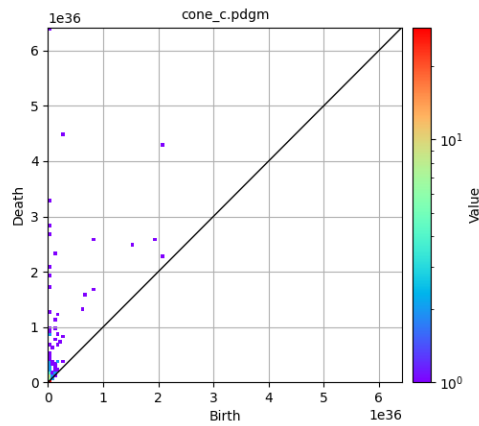


図1 Persistent Diagram（円錐状配置）

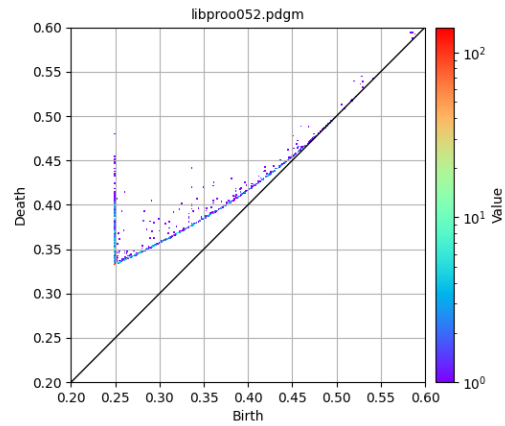


図2 Persistent Diagram（球要素充填モデル）

今後のアプローチとしては、橘ら⁽⁵⁾による数値解析手法を用いて土粒子モデルの透水係数を算出し、結果の変動とPDの変化を対応付けることを検討している。

参考文献

- [1] Gyorgy Kovács. Seepage Hydraulics, volume 53. 1981. ISBN 9788578110796. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [2] Herbert Edelsbrunner, David Letscher, and Afra Zomorodian. Topological persistence and simplification. Discrete and Computational Geometry, 28:511–533, 11 2002. ISSN 01795376. doi: 10.1007/s00454-002-2885-2.

URL <http://link.springer.com/10.1007/s00454-002-2885-2>.

- [3] 平岡 裕章. 位相的データ解析パーシステントホモロジー, 2016.
- [4] 大林 一平. パーシステントホモロジーに基づくデータ解析パッケージ homcloud の紹介, 2020.
- [5] Ikkoh Tachibana, Shuji Moriguchi, Shinsuke Takase, Kenjiro Terada, Takayuki Aoki, Kohji Kamiya, and Takeshi Kodaka. Characterization of transition from Darcy to non-Darcy flow with 3D pore-level simulations. Soils Found., 57(5):707–719, 2017. ISSN 00380806. doi: 10.1016/j.sandf.2017.08.003.