

粒度分布を持つ粒子充填構造を用いた多孔質体の透水挙動解析

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

1 序論

大規模化・複雑化する災害に対する現実的なリスク評価手法として、数値シミュレーションが盛んに用いられるようになってきている。地盤工学分野においては、降雨による斜面災害や堤防の浸透破壊といったハザードを透水に起因するものとして、数値シミュレーションを用いた現象理解のアプローチがとられている。しかし、水と土粒子の相互作用を表現する方法は定まったものがなく、未だ多くの研究が行われている。

橘ら⁽¹⁾は、地盤材料内部の代表体積要素を球充填モデルで近似し、3次元有限差分法による間隙流体の運動解析から線型・非線形透水挙動を直接評価する手法を提案した。しかし、その中で扱っている要素は大きさの均一な球による充填系であり、実際の地盤材料が持つ内部の複雑さを表現できているとは言い難い。

そこで本研究では、空間充填に用いる粒子に粒度分布を持たせることで、より不規則な内部構造をもつ球充填モデルを作成した。これらを橘らの手法によって数値的に解析し、透水係数の値と内部構造の変化に関する基礎的な考察を行った。

2 手法

2.1 計算スキーム

本研究では、地盤中の土粒子を固定された球として表現し、固定された一様な直交 Staggered 格子を用いた有限差分法によって間隙水の運動を解いた。支配方程式として非圧縮 Newton 流体の Navier-Stokes 方程式に物体力項 f を加えた

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} u_j = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + f_i \quad (1)$$

を用いた。ここに、流体の速度 u 、時間 t 、位置 x 、密度 ρ 、圧力 p 、粘性係数 μ である。物体力項 f は、固体表面の境界条件を埋め込み境界法^(2;3)を用いて与えた。上

式に対して、フラクショナルステップ法による1次の陽解法を用いて時間方向に離散化を行った。移流項は3次のLagrange多項式補間を用いたSemi-Lagrange法によって、拡散項は2階の中央差分によって、圧力項は1階の中央差分によって評価した。埋め込み境界法では、固体表面にLagrangian点を定義して、離散時間内の力積の式から次式のように固体と流体の相互作用力を計算した。

$$F = \frac{U_i - u_i}{\Delta t} \quad (2)$$

ここに、固体表面の速度差を打ち消す力 F 、固体表面の物質点速度 U 、時間刻み幅 Δt である。ここで得られたLagrangian点での力 F と Staggered 格子の点での力 f の補間にはPeskinによる平滑化 δ 関数⁽⁴⁾を用いた。

2.2 解析モデル

Meshman Particle Packingを用いて、直径1mm、0.5mm、0.25mmの3種類の球要素を1辺10mmの立方体領域内にランダムに生成し、異なる大きさの粒子を混合した土粒子充填モデルを作成した。

充填率をできるかぎり均一に保ちつつ、3種類の粒子の体積比率を変化させるよう入力パラメータを調整することで、間隙比の値は近いが異なる粒度分布を持つ解析モデル群を作成した。図1、図2はそれぞれ直径1mm、0.5mm、0.25mmの3種類の球要素を1:2:4、および5:3:1の体積比になるように充填した例である。

3 結論

粒度分布を持たせた解析モデルについて、既往の手法による透水係数の数値実験が可能であることを確認した。

同一の粒径を用いた充填系に関する透水係数の計算値に対して、粒度分布を持たせたモデルの透水係数は

キーワード 透水, 数値解析, 粒度分布

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

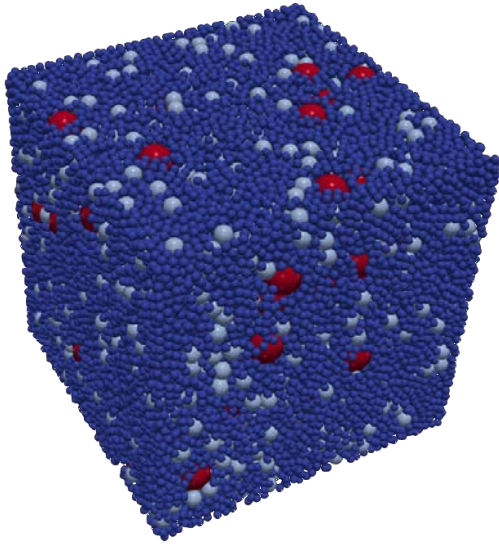


図1 体積比 1:2:4 の粒子充填系

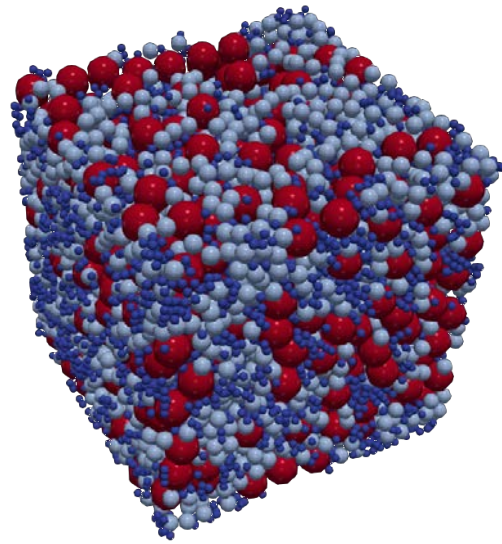


図2 体積比 5:3:1 の粒子充填系

異なる値を示すことが確認でき、同様なケースを本手法に基づいて解析することで現象理解を深めることができると言える。

本研究における基礎的な検討を踏まえ、今後のアプローチとして

- 代表体積要素のスケール依存性に関する精査
- より滑らかな粒度分布の設定
- 非球形要素による充填系の設計

などが考えられる。

参考文献

[1] 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.

[2] Charles S. Peskin. Flow patterns around heart valves: A numerical method. J. Comput. Phys., 10(2):252–271, oct 1972. ISSN 00219991. doi: 10.1016/0021-9991(72)90065-4.

[3] Markus Uhlmann and Jan Dušek. The motion of a single heavy sphere in ambient fluid: A benchmark for interface-resolved particulate flow simulations with significant relative velocities. Int. J. Multiph. Flow, 59:221–243, feb 2014. ISSN 03019322. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.10.010.

[4] Charles S. Peskin. The immersed boundary method. Acta Numer., 11:479–517, 2002. ISSN 0962-4929. doi: 10.1017/S0962492902000077.