

Characterization of transition from Darcy to non-Darcy flow with 3D pore-level simulations

Soils and Foundations, Volume 57, Issue 5, October 2017, Pages 707-719

Ikkoh Tachibana (Tohoku University)

Shinsuke Takase (Tohoku University)

Takayuki Aoki (Tokyo Institute of Technology)

Takeshi Kodaka (Meijo University)

Shuji Moriguchi (Tohoku University)

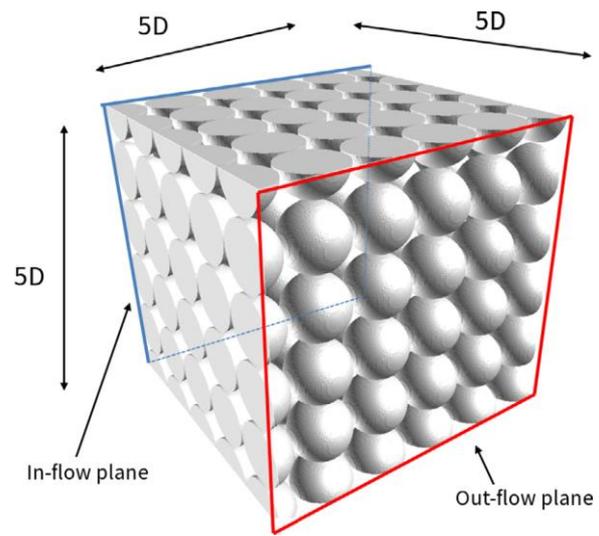
Kenjiro Terada (Tohoku University)

Kohji Kamiya (Gifu University)

概要

豪雨災害の激甚化に伴って、河川堤防が内部破壊によって崩壊する事例が蓄積され、その起因となる透水挙動を制御するための対策が求められている。地盤材料の透水挙動はDarcy則による線形モデルを用いた取り扱いが広く用いられている一方で、上記のような破壊に至る程度の透水挙動が同様な表現となることは自明ではない。本論文では、土構造物のミクロ構造を粒子パターンの充填による多孔質体として与え、Navier-Stokes方程式に基いた直接数値解析による浸透流解析を行い、土構造物内部で発生する透水の非線形挙動について定量的に考察した。

問題設定と支配方程式



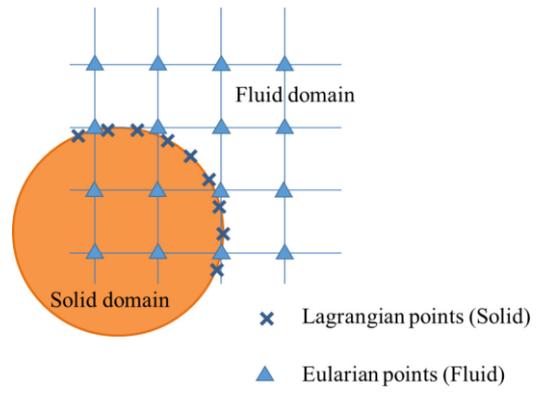
粒径0.08mm-1.00mmの全7ケースを用いて
圧力勾配と透水係数の関係を比較

- ① 流入・流出面の計算条件を設定して圧力勾配を付与
- ② 流出面の計算点で流下方向の流速平均を観測
- ③ 流速平均が定常化した時点での透水係数を算出

充填された粒子の隙間を流れる水の挙動を再現する

埋め込み境界法

流体計算で用いる直交格子に
任意形状の境界面をなじませる



有限差分法

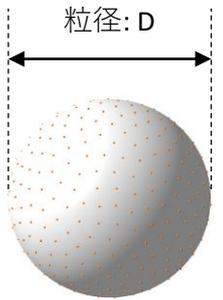
非圧縮Newton流体のNavier-Stokes方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + g_i$$

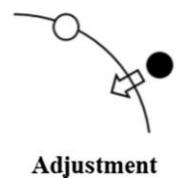
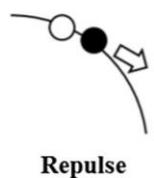
連続の式 $\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$

SMAC法 (Fractional Step) で離散化し、
埋め込み境界法の物体力を追加

$$\frac{u_i^* - u_i^n}{\Delta t} = -u_j \frac{\partial u_i^n}{\partial x_j} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i^n}{\partial x_j} \right) + g_i + f_i$$



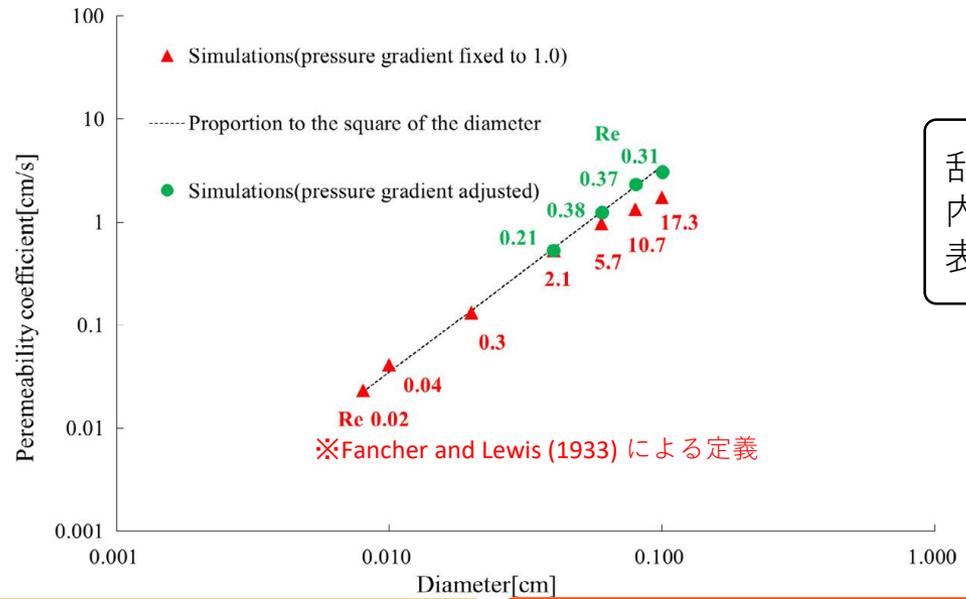
表面の計算点は
斥力計算で均一化



Darcy則からの乖離の検証・非線形透水挙動の分析

解析領域全体の傾向

流れ場の乱流寄与度の大・小と
計算結果のDarcy則との乖離・整合が一致



格子点の情報に基づいたマイクロ分析

- 内部流速の分布が高速/低速に二極化
- 流速の高い空間が大きく成長
- 流路の構造が複雑化

乱流寄与の増大によるDarcy則との乖離が内部の流れ場におこる変動の特徴量を用いて表現できる可能性がある

