

粒子構造に着目した多孔質体流れの直接観察

環境防災研究室 渡邊 尚幸

指導教員 福元 豊

1. はじめに

浸透流などの多孔質体中の流れは幅広い研究分野で扱われ、土木工学の分野では土、岩石、コンクリート、アスファルトなどが構造物を構築している多孔質材料である。このような建設材料の経年劣化はその内部における流体の移動と密接な関係があるため、多孔質体中の流体挙動を詳細に理解することが工学的に重要である。そこで、透明砂を用いて本来観察できない多孔質体流れを可視化し、粒子画像流速測定法 (PIV) によって画像解析を行うことで流速を測定した。本実験では粒子構造および各構造の水理屈曲度 T_h に着目し、各構造や流量が多孔質体流れへ及ぼす影響を検討した。

2. 実験の概要

2.1 実験方法

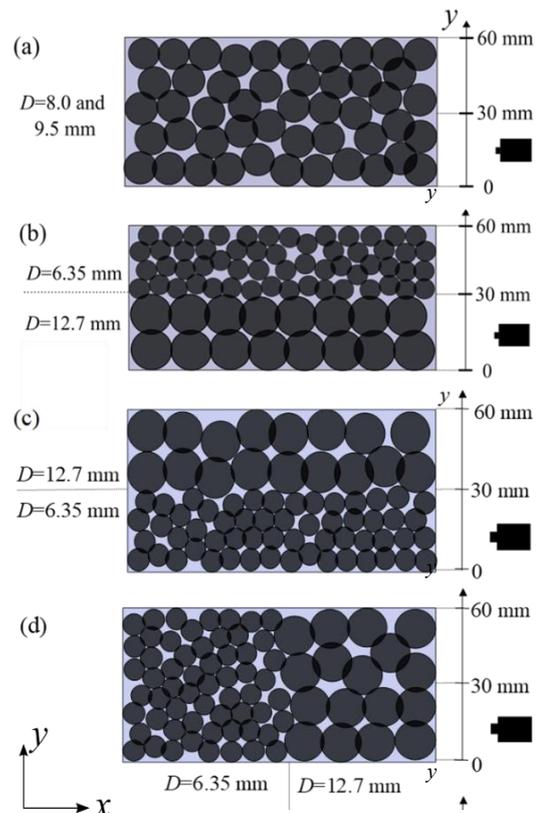
本実験では、流体挙動を観察するために屈折率の近い透明砂を模したアクリル球とシリコンオイルを用いて実験を行った。実験装置は一定流量ポンプ、浸食コントロール装置 (内寸: 縦 60 mm, 横 150 mm, 高さ 60 mm)、循環用タンク、PIV レーザー、高速度カメラ、光学フィルターによって構成されている。循環用タンク内にはトレーサー粒子の入ったシリコンオイルを貯水し、一定流量ポンプの回転数を制御することによって浸食コントロール装置内の流量を調節する仕組みとなっている。

2.2 実験条件

本実験では、昨年度実施した (a) 一層 (直径 8.5mm, 直径 9.5mm の混合) の構造, (b) 二層 (下部直径 12.7mm, 上部直径 6.35mm) の構造の実験結果に加えて、新たな二層構造として、図 2-1 のような (c) 下部に直径 6.35mm のアクリル球 155 個, 上部に直径 12.7mm のアクリル球 1111 個を充填した構造, (d) 流体の流入部に直径 6.35mm のアクリル

球 1189 個, 流出部に直径 12.7mm のアクリル球 145 個を充填した構造, (e) 流体の流入部に直径 12.7mm のアクリル球 1177 個, 流出部に直径 6.35mm のアクリル球 146 個を充填した構造を作製した。ポンプからの一定流量は 589.5ml/min, 1188.7ml/min で実験を実施した。図 2-2 のように PIV レーザーを侵食コントロール装置の横から照射し、光学フィルター越しに高速度カメラを用いて浸透流の観察を行った。

浸透流を観察する断面は (c) 構造では $y = 20 \text{ mm}$ ~ 32 mm 間を最小 0.5 mm 間隔で観察, (d), (e) 構造では流量を一定にし, 25mm, 27.5mm, 30mm 断面を構造ごと (6.35mm 層 \times 4 ケース, 境界層, 12.7mm 層 \times 4 ケース) に分割し, 撮影画像に対して図 2-3 のような PIV に基づく画像解析を行い各ケースごとに流速および T_h を取得した。



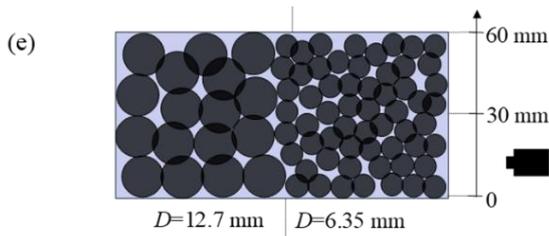


図 2-1 粒子配置

- (a)一層 (b)二層(上下) (c)二層(上下入れ替え)
 (d)二層(左右) (e)二層(左右入れ替え)

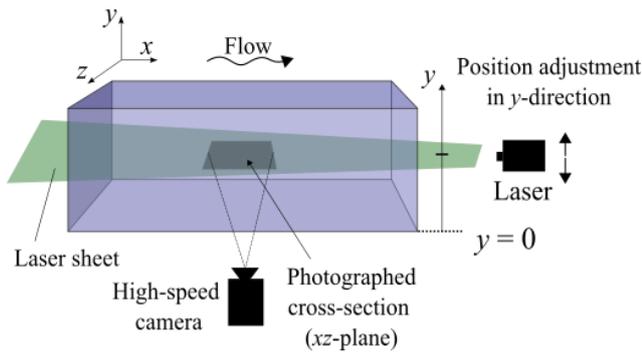


図 2-2 実験装置

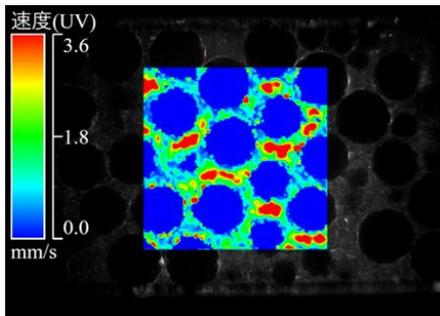


図 2-3 x-z 断面における PIV 解析画像

3. 実験結果

図 3-1 に(a)構造における T_h の変化のグラフ, 図 3-2 に(b)構造における T_h の変化のグラフ, 図 3-3 に(c)構造における T_h の変化のグラフ, 図 3-4 に(d)構造 30mm 断面における T_h の変化のグラフ, 図 3-5 に(e)構造 30mm 断面における T_h の変化のグラフをそれぞれ示した。

既往の研究から, 二層構造における T_h の大きさは, 境界部分以外では充填率に依存することがわかっている。¹⁾しかしこれまでの研究で行った(b)構造において, 境界部分における T_h は充填率に従

わない結果を得た。²⁾また, 新たに作製した(c)構造における境界部分は 26.5mm 断面付近である。

図 3-3 に示したグラフから, 境界部分にさしかかる 25.5mm~26mm 断面および境界部の上部 28mm~28.5mm 断面において, T_h が充填率の変化に従わない昨年度と同様の結果が得られた。

左右二層構造における境界部分は $x=45\text{mm}$ である。2つのグラフから, 左右二層構造においては, 充填率に対して T_h の傾向が境界部分を境に変化していることがわかる。境界部分以外では粒子構造に関係なく T_h は充填率に依存する。しかし, T_h は充填率に則って反映されるのではなく, 各層における粒子構造に従った数値を取ることがわかる。

左右二層構造であっても境界部分を除くと数値シミュレーションによる既往研究と同様の傾向および結果が得られた。図 3-4 および図 3-5 から粒子構造の境界部分は T_h の数値の傾向が変化する点であると考えられる。

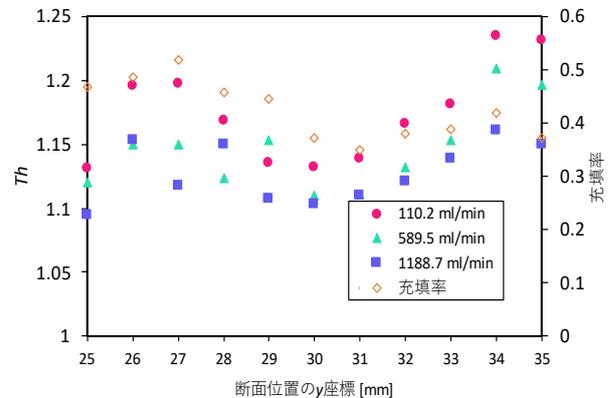


図 3-1 (a)構造における T_h の変化

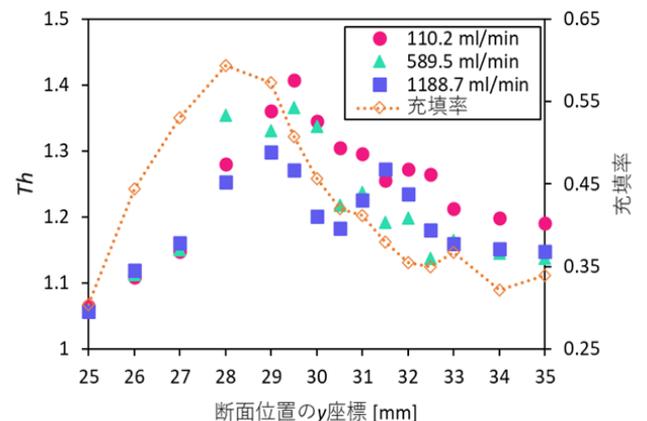


図 3-2 (b)構造における T_h の変化

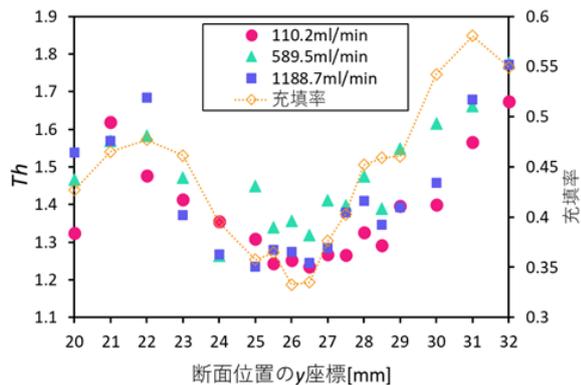


図 3-3 (c) 構造における T_h の変化

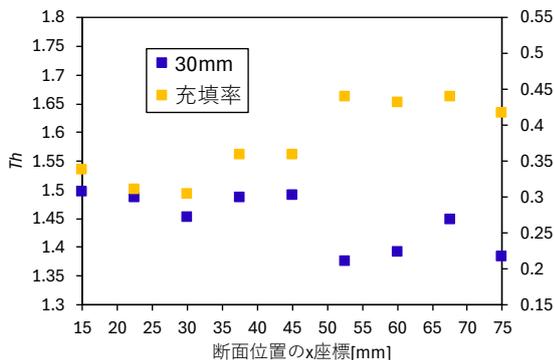


図 3-4 (d) 構造 30mm 断面における T_h の変化

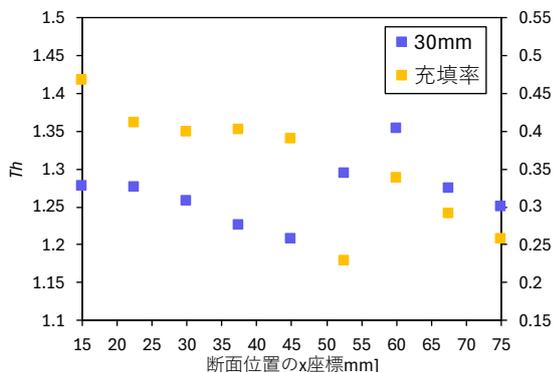


図 3-5 (e) 構造 30mm 断面における T_h の変化

4. まとめ

本実験では一層，上下二層，左右二層の 3 種類 5 パターンの粒子構造における多孔質体流れを解析し，いずれの構造においても T_h と充填率の関係を実験的に確かめることができた。

今後の展望としては，規則的に充填された粒子構造における実験を行い，粒子構造の規則性が T_h の値を決定する重要なパラメータである可能性を確かめる。

また，流入部分における T_h のばらつきが生じや

すくなっているため，脈動の少なく粒子構造に影響を与えにくい新しいポンプを用いた実験を行う。

最終的に，下からの撮影画像と横からの撮影画像を併せて，二次元的な複数の撮影断面から多孔質体流れと粒子構造を同時に把握することができる三次元画像の作成を行う。

・参考文献

- 1) M. Aminpour, S. A. Galindo-Torres, A. Scheuermann, L. Li : Pore-Scale Behavior of Darcy Flow in Static and Dynamic Porous Media, Phys. Rev. Applied 9, 064025, June 2018.
- 2) 渡邊 尚幸、山本 七輝、福元 豊、大塚 悟： 屈曲度に着目した粒状多孔質体中の流れの可視化計測，地盤工学研究発表会発表要旨集，Vol.59, [23-8-3-07]，2024.
- 3) Jinlong Fu, Hywel R. Thomas, Chenfeng Li: Tortuosity of porous media: Image analysis and physical simulation, Earth-Science Reviews 212 (2021) 103439.