

細孔前障害物が固液混相流れに与える影響

日大生産工 (院) ○本間 佳史 日大生産工 安藤 努

1. 緒言

人や物の“流れ”において、流れの促進を図ることは渋滞や目詰まりの解消・緩和につながり重要である。そこで目詰まりの解消・緩和の一策として、本来であれば流れの妨げになるはずの障害物を、細孔や縮小管といった急激に幅が狭くなる部分の手前に配置することで渋滞を緩和する効果がこれまでに報告されている。

群衆が部屋から避難する際に避難口付近に障害物を意図的に置くと、避難時間が短くなるといったシミュレーション結果がある¹⁾。また 1960 年代に漏斗を用いて穀物をサイロに移す際に目詰まりを抑制するために流出口手前に障害物を置く方法が用いられた²⁾。このように過去にはシミュレーションや実験によって人の避難時間低減や粉体の目詰まりが抑制された報告があるが固液混相流れについてはこのような現象は報告されていない。

本研究は固液混相流れにおいて、細孔前の障害物設置が粉体のような目詰まり抑制または流れ促進などの効果が得られるか検証実験を行ったので結果を報告する。

2. 先行研究

検証実験を行う上でもとにした数値シミュレーションについて示す³⁾。この数値シミュレーションは圧力勾配によるデッドエンド流れを仮定した流体解析シミュレーションソフト⁴⁾を用いている。またこの流体解析シミュレーションソフトでは本来メソスケール領域の粒子を扱うことを前提としているが、先行研究での粒子運動方程式中には粒子間の衝突については解いているが、分子間力は考慮していないマクロな粒子を仮定している。

2.1 シミュレーションモデル

数値シミュレーションでは圧力駆動によるデッドエンドろ過膜内流れであり、 x 軸方向の圧力勾配により

粒子は x 軸方向に駆動される。

数値シミュレーションの計算領域、粒径、膜厚を Fig. 1 に示す。また粒子直径を $d=100$ [nm] とし、膜の細孔径の大きさは $2d, 3d, 4d, 5d$ の 4 種類を扱う。解析対象として粒子と膜にはアルミナを、溶媒には水を仮定している。計算条件は x 方向圧力勾配を -2.0×10^{11} [Pa/m]、流体計算時間ステップを 0.4 [ns]、最大ステップ数を 20000 としている。

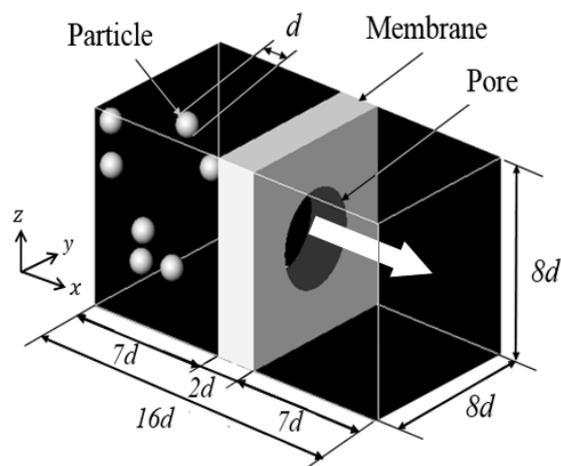


Fig. 1 Computational domain including membrane with straight pore

2.2 評価方法

評価方法には粒子阻止率を用いる。粒子阻止率は計算領域へ流入した粒子数の総和と流出した粒子数の総和によって評価され、式(1)に従う。

$$R(t) = \left(1 - \frac{\Phi_f(t)}{\Phi_s}\right) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 t :時刻[s]、 $R(t)$:粒子阻止率[%]、 $\Phi_f(t)$:時刻 t におけるろ過液粒子体積濃度、 Φ_s :原液粒子体

The effects of obstacle in front of pore on solid-liquid two phase flow
Yoshifumi HONMA and Tsutomu ANDO

積濃度(一定値)を表している. つまり粒子阻止率の値が低い方が好ましく, 低ければ低いほど混相液中の粒子が円滑に流れる.

2.3 結果

数値シミュレーション開始から 8 [μs] までの粒子阻止率を障害物の有無を比較したものを Fig.2 に示す. 約 2.5 [μs] 以降, 障害物無しと比較して障害物有りの方が粒子阻止率の値が小さく, 渋滞を緩和していることが分かる.

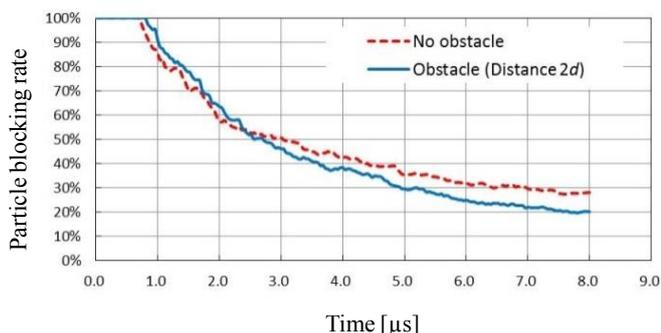


Fig. 2 Particle blocking rate (Pore size $4d$)³⁾

3. 検証実験

3.1 実験装置

Fig. 3 に実験装置全体のシステム図を示す. この管路にはポンプで常に一定流速の水を流し粒子を細孔まで運び渋滞を視認できるような設計となっている. シミュレーションでは3次元の流れにおいて細孔前に障害物を設置したときの渋滞の緩和を検証したが, 本研究では検証実験として装置の作製が容易で, かつ可視化が行いやすい2次元流れを仮定した. また2次元流れを再現するような障害物および細孔の形状を決定した. 管路内の障害物および細孔の概略図を Fig. 4 に示す.

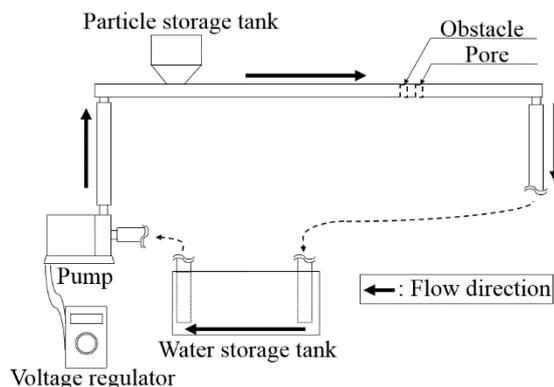


Fig. 3 System diagram of the apparatus

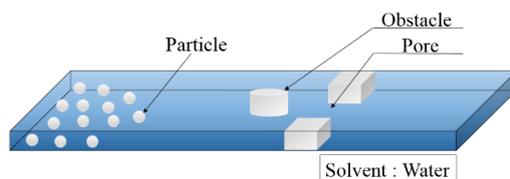


Fig. 4 Schematic of the rectangular pipe flow

3.2 実験方法

障害物, 細孔がある管路内を溶媒で満たし, 管路に一定流速を発生させた後に溶媒中に粒子を細孔前方から一定間隔で一定量投入する. この後観察部である膜面手前に堆積する粒子の量を実験条件ごとに比較検討する.

3.3 実験条件

この混相液の粒子および溶媒の物性値を Table 1 に示す. またシミュレーションの結果に沿い, 障害物の有無に加えて障害物径, 細孔径および細孔からの障害物の距離を変化させた実験を行う.

Table 1 Physical conditions

	Particle	Solvent
Materials	Acrylic resins	Water
Density [g/cm ³]	1.18	9.96

4. 今後の展望

検証実験において渋滞緩和・目詰まり抑制の可視化を行い, シミュレーション結果と比較検討したものを講演会で報告する.

5. [参考文献]

- 1) 西成活裕, 渋滞学, 新潮社, (2006) 108.
- 2) J. Johanson, W. Kleysteuber, Flow corrective inserts in bins, Chem. Eng. Prog. 62 (1966) 79.
- 3) 藤森貴紘, 固液混相液流れにおける細孔前障害物による流れの促進効果, 日本大学生産工学部平成 26 年度卒業研究概要集, (2014) 211-212.
- 4) Masahiro Fujita, Yukio Yamaguchi, Simulation model of concentrated colloidal nanoparticulate flows, Phys. Rev. E, 77 (2008) 026706.