

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630347

研究課題名(和文) マイクロバブル・ボディーフィード型新規濾過システムにおけるケーキ剥離特性の評価

研究課題名(英文) Quantitative Evaluations of the Effect of Microbubble-bodyfeeding on the Cake Detachability

研究代表者

岩田 政司 (IWATA, Masashi)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10151747

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：「マイクロバブル(MB)ボディーフィード型ケーキ濾過法」におけるケーキ剥離特性を調査した。考案した解析手法を用いてカオリン懸濁液の上向流濾過における剥離量を算出し、MBを混合するとケーキ剥離量が大きくなること、その効果は懸濁液濃度が高いほど顕著となることを明らかにした。また、下向流濾過における濾過ケーキを定速度で逆洗し、ケーキ強度がMBのボディーフィードにより低下することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It has been reported that microbubble(MB)-bodyfeeding into several kinds of suspensions enhanced detachability of their filter cakes. In this study, the effects of MB-bodyfeeding on cake detachment have been quantitatively investigated. Downward and upward filtrations under constant pressure have been conducted. From the modified Ruth plots of both operations, the detached cake weight from the surface of the cake during the upward filtration was evaluated. MB-bodyfeeding on kaolin clay suspension enhanced the cake detachability during the upward filtration. Cake detachability under downward filtration was also evaluated by measuring backwash pressure at a constant-rate backwash operation.

研究分野：工学

キーワード：沈降速度 濾過速度 ケーキ剥離

1. 研究当初の背景

難濾過性スラリーのケーキ濾過では、一般に濾過助剤を用いてケーキ構造を改質するが、固体側が有用成分である系ではこの方法を用いることはできない。ごく最近、マイクロバブル(MB)を混合(ボディーフィード)したケーキ濾過において、濾過ケーキが改質され、濾材からのケーキの剥離性が改善されることが見出された。50 μm 以下の気泡であるマイクロバブルは、液中で(i)徐々に縮小して消滅するか、(ii)100nm以下のナノバブルとして安定化する。この特異な挙動を示す気泡がケーキ構造に与える影響は不明であり、このマイクロ/ナノバブルが介在する固液系は界面科学の未踏領域でもある。

2. 研究の目的

本研究では、ケーキの剥離特性に優れた新規な「マイクロバブル・ボディーフィード型ケーキ濾過法」の諸特性を解明することを目標とする。以下の観点より本研究を実施する。

- (1) 気泡せん断型マイクロバブル(MB)発生機により発生させたマイクロバブルを混合したスラリーの凝集状態・荷電状態を測定し、この系における特異性の有無を明らかにする。
- (2) マイクロバブル・ボディーフィード濾過を実施し、下降流濾過と上向流濾過における濾過速度の違いを定量的に評価し、濾材からのケーキ剥離に対するマイクロバブルの役割を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) マイクロバブル(MB)含有水を混合した固液混合物の沈降特性、凝集特性の調査
カオリン粒子(ナカライテスク、体積基準メジアン径5.2 μm)を実験試料として用いた。分散媒として家庭用浄水器(東レ、トレビノー・スーパースリム702T)により水道水を濾

過したもの(以下、浄水と表記)を使用した。水槽に入れた浄水をポンプで輸送し、途中で空気を自吸させて気泡せん断式マイクロバブル発生機(帝国電気、ポンパレータ)に導く。22に保った水槽と発生機の間で浄水を循環させることによりマイクロバブル含有水を調製した。種々の濃度に調製したカオリン懸濁液にMB含有水を添加し、以下の実験に用いた。

種々の濃度のカオリン懸濁液を沈降管に注入して初期界面沈降速度を測定し、Michaelsらの方法を用いて、自然凝集フロックの大きさを求めた。希薄懸濁液では、分光光度計により、光学密度の経時変化を測定し、液の澄清化速度を評価した。さらに顕微鏡観察によりカオリンの自然凝集体の大きさを測定した。

回転カラム法による沈降電位測定装置を試作し、MB含有水の添加の有無によるカオリン粒子の帯電状態の変化を調査した。

(2) マイクロバブル・ボディーフィード濾過におけるケーキ剥離特性の評価

カオリン粒子懸濁液を内径50mmの濾過器で定圧濾過し、濾液量の経時変化を測定した。濾材にはセルロース濾紙(Advantec, No.5C)を用いた。濾液の流れ方向が重力と同じ下向流濾過、および濾液の流れ方向が重力と反対方向の上向流濾過を実施し、上向流濾過におけるケーキ剥離量を測定した。

下向流濾過により生成した濾過ケーキに対し、定速ポンプを用いて一定速度で逆洗を行い、ケーキの圧損の経時変化を測定した。

4. 研究成果

- (1) マイクロバブル(MB)含有水を混合した固液混合物の沈降特性、凝集特性
顕微鏡観察により希薄な懸濁液(粒子濃度0.05wt%)における粒子径を測定した。懸濁液にMB含有水を添加した系では、無添加の系

に比べ 1 μm 付近の粒子が減少し 4 μm 以上の粒子が増加していた。

粒子濃度 0.5, 1, 2wt% の懸濁液で光学密度の経時変化を調査した。粒子濃度 0.5, 1wt% の懸濁液では, MB 含有水添加の有無による懸濁液の清澄速度に差異は見られなかったが, 2wt% では MB 水を添加した系の方がより速く清澄化した。

粒子濃度 3 ~ 10wt% に調製した懸濁液において界面沈降挙動を調査した。MB 水を添加した系では添加しない系に比べ, 界面沈降速度が増加した。この濃度領域ではカオリンは自然凝集体を形成する。粒子が自然凝集をしている場合, その沈降初速度 v と懸濁液の空隙率 ε_0 との関係は, 以下の Michaels の式(1)で表すことができる。

$$v^{1/4.65} = \left[\frac{g(\rho_s - \rho)D_f^2}{18\mu(1 - \varepsilon_{if})^{3.65}} \right]^{1/4.65} (\varepsilon_0 - \varepsilon_{if}) \quad (1)$$

ここで, g は重力加速度, ρ_s は粒子の真密度, ρ は懸濁媒体の密度, D_f は凝集体径, μ は懸濁媒体の粘度, ε_{if} は凝集体の内部空隙率である。グラフの縦軸に $v^{1/4.65}$, 横軸に ε_0 をとり, 実測データをプロットすると, 干渉沈降領域では直線関係が得られ, 直線の勾配から凝集体の直径 D_f , 横軸の切片から内部空隙率 ε_{if} を求めることができる。MB 未添加のカオリン懸濁液における自然凝集体径は, 約 87 μm であったのに対し, MB 含有水を添加した懸濁液では 15% ほど大きくなった。一方, 自然凝集体の内部空隙率は, ほぼ一定値を示した。

懸濁系の動電学的特性を調査するため, 回転カラム法により沈降電位の測定系を構築した。沈降電位から求めたカオリン凝集体の

電位には, MB 含有水混合の有無による差はみられなかった。

(2) マイクロバブル (MB) ボディーフィード
濾過におけるケーキ剥離特性の評価

上向流濾過におけるケーキ剥離量の評価

上向流定圧濾過におけるケーキ剥離量を算出する手法を以下のように提示した。

濾過期間中の粒子沈降の影響が大きい懸濁液の下/上向流定圧濾過式として入谷らは濾過期間中の粒子沈降の影響を考慮した (2) 式を提案している。

$$\frac{d\theta}{dv} = \frac{2}{K} (v \pm u_{g,av} \theta) + \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_0 \quad (2)$$

(+: 下向流, -: 上向流)

ここで θ は濾過時間, v は単位濾過面積当たりの積算濾液量, K は Ruth の定圧濾過係数, $u_{g,av}$ は懸濁粒子の平均沈降速度である。下付き文字の “0” は濾過開始時の値を意味する。濾過と沈降のみが生じている系では, ($d\theta/dv$) を縦軸, ($v \pm u_{g,av} \theta$) を横軸にプロットすると直線関係が得られ, 上向流および下向流定圧濾過の濾過速度データは一致する。一方, 上向流濾過においてケーキ剥離が生じている系では, 上向流および下向流定圧濾過の濾過データは一致しない。まず, 下向流濾過データより Ruth プロットが直線となる沈降速度 $u_{g,av}$ をフィッティングで求め, 次いで Ruth の定圧濾過係数 K を算出する。上向流及び下向流定圧濾過の K が同じであると仮定すると, 懸濁粒子濃度が十分小さい場合, 上向流濾過期間中の単位濾過面積あたりのケーキ積算剥離量は(3)式から求められる。

$$w_d = \frac{\rho_s K}{2} \left\{ \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_{down} - \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_{up} \right\} \quad (3)$$

ここで s は懸濁液の固体質量分率である。下付き文字 “down” および “up” はそれぞれ下向流濾過と上向流濾過での値を意味している。また, $\{ \}$ 内は沈降の影響を考慮した同じ修正濾液量 ((2) 式第 1 項の括弧内) に対応する値である。

上向流濾過における単位濾過面積当たりの

ケーキ質量 w_c は(4)式から求められる。

$$w_c = \frac{p}{\mu\alpha_{av}} \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_{up} - w_m \quad (4)$$

ここで、 p は濾過圧力、 α_{av} はケーキの平均濾過比抵抗、 w_m は濾材抵抗と等しい抵抗を持つ仮想的な単位濾過面積当たりのケーキ質量である。

懸濁粒子濃度 $c = 0.25 \sim 1$ vol% のカオリン懸濁液に対して、MB ボディーフィードのケーキ剥離量 w_d への影響を調査した結果を図1に示した。図中、白抜き記号が MB 添加系である。MB ボディーフィードによりケーキ剥離量 w_d が増加した。また、その効果は懸濁液の固体濃度が高いほど顕著となった。

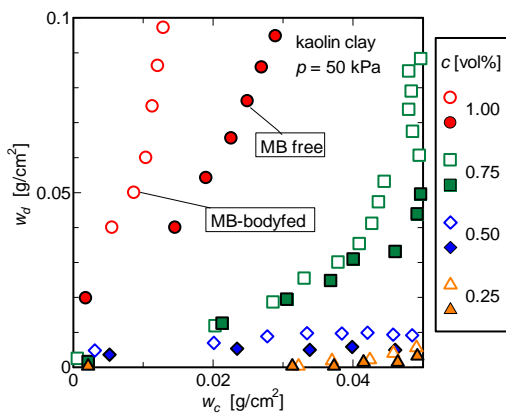


図1 上向流濾過ケーキの剥離量への MB ボディーフィードの影響

下向流濾過ケーキの逆洗によるケーキ強度の測定

下向流濾過で生成した濾過ケーキに対し、濾材側から定速 (100cm³/min) で逆洗水を流した場合のケーキと濾材の圧損 p_b の経時変化の一例を図2に示した。圧損が最大となる時点でケーキの破壊が生じているものと思われる。MB ボディーフィード懸濁液と MB 未添加の系における圧損の最大値 $p_{b,max}$ を比較した結果を図3に示した。図は、MB ボディーフィードにより、濾過圧力 $p = 50, 100$ kPa の

下で形成されたケーキの強度が弱まり、濾材面からのケーキ剥離性が向上したことを表している。

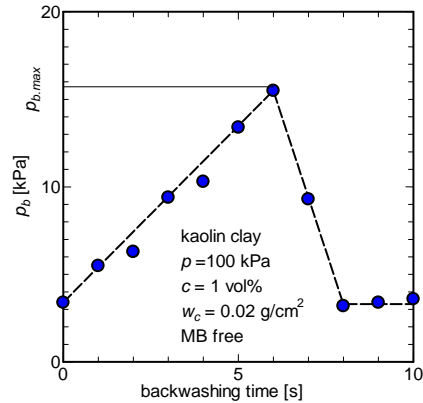


図2 逆洗期間中の逆洗圧 p_b の経時変化

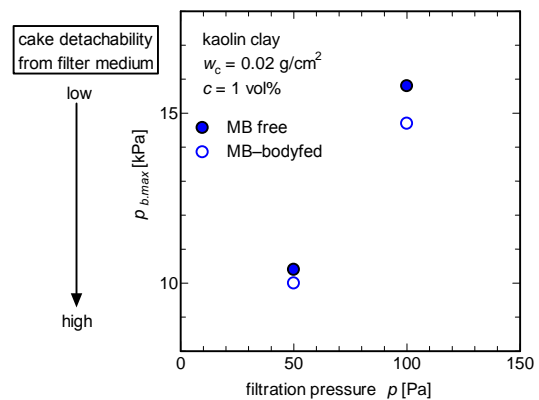


図3 MB ボディーフィードが濾材面からの下向流濾過ケーキの剥離に与える影響

< 引用文献 >

Michaels, A.S. and Bolger, J.C., Settling Rates and Sediment Volumes of Flocculated Kaolin Suspensions, Ind. Eng. Chem. Fund., Vol. 1, 1962, 24-33

入谷英司, 向井康人, 寄田浩, 上向流および下向流ケーキ濾過特性に及ぼす沈降の影響, 化学工学論文集, 25 巻, 1999, 742-746

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計4件)

生方 輝, 義本 明彦, 田中孝徳, 福山亮, 岩田政司, 濾過ケーキ構造に与えるマイクロバブルの添加効果, 化学工学会第80年会, 2015年3月21日, 芝浦工業大学(東京都)
Akihiko Yoshimoto, Hikaru Ubukata, Takanori Tanaka, Mohammed Saedi Jami and Masashi Iwata; Effects of Micro-bubble-Bodyfeeding on Filtration Properties of Clay Suspension, 10th International Conference on Separation Science and Technology (ICSST14), 2014年10月31日, 奈良県公会堂(奈良県, 奈良市)
生方輝, 柳下幸一, 田中孝徳, 岩田政司, マイクロ・ナノバブルの添加による粒子懸濁液の挙動の変化, 分離技術年会2014, 2014年5月30日, 名古屋大学(愛知県, 名古屋市)
生方 輝, 義本 明彦, 田中 孝徳, 岩田 政司, マイクロバブルを含む固液系の特性, 化学工学会第16回学生発表会(堺大会), 2014年3月1日, 大阪府立大学(大阪府, 堺市)

[図書] (計 1 件)

田中孝徳, 岩田政司, 技術情報協会, 濾過スケールアップの正しい進め方と成功事例集, 2014年, 531 (pp.93-99)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 政司 (IWATA, Masashi)
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 1 0 1 5 1 7 4 7

(2) 研究分担者

田中 孝徳 (TANAKA, Takanori)
大阪府立大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 3 0 5 8 1 8 8 9