



Title	フラクタル理論に基づく濃厚系凝集サスペンションのレオロジーモデルの構築とその応用 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	後藤, 卓
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第11466号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/55541
Rights(URL)	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	SUGURU_GOTOH_abstract.pdf (論文内容の要旨)



[Instructions for use](#)

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 後藤 卓

学 位 論 文 題 名

フラクタル理論に基づく濃厚系凝集サスペンションのレオロジーモデルの構築とその応用
(Development and application of a rheological model for concentrated flocculated suspensions based on fractal concept)

濃厚系の凝集サスペンションは、コンクリートやセラミックス、塗料といった工業素材から、先端材料の製造プロセスにおけるスペーサー、研磨スラリーなどの中間材に至るまで幅広く利用されている。これらの材料は、混合、移送、成型の様々なプロセスにおいて高精度の流動性の制御が必要となり、そのためそのレオロジー特性の理解や予測が重要となる。一般に、サスペンションの流動性は、電解質、界面活性剤、高分子の添加による粒子間力の変化に基づき、制御される。なお、濃厚系サスペンションでは、粒子間力による粒子の凝集構造形成に起因する粘性の増加の他に、せん断力による凝集体の解砕に基づく粘度の低下が生じ、これらの効果について、各々の作用および両者を考慮した場合の流動性の予測モデルが提案されてきた。しかし、濃厚系サスペンションでは凝集構造を直接観察することはできず、各種の凝集構造に基づくレオロジーモデルの検証は不十分であり、統一したモデルは構築されていない。

本研究では、希薄系凝集サスペンションで有効性が確認されている凝集体のフラクタル性が濃厚系凝集サスペンションにおいても成立すると考え、粒子間力とせん断力が凝集構造に及ぼす効果を平均場理論に立脚して解析し、濃厚系凝集サスペンションの降伏値および粘性を予測できる数理モデルを構築することを目的とした。そこでは、粒子間力やせん断力の他に、体積濃度や粒度分布といった流動性の影響要因が、どのように予測モデルに反映されるかについても解析した。さらに、粘度予測モデルから得られた高分子の吸着状態が原子間力顕微鏡 (AFM) での結果と良く整合することを示し、本研究で提案した予測モデルの妥当性を明らかにした。

本論文は、全6章から構成されており、以下に各章の要旨を述べる。

第1章では、濃厚系サスペンションの工業的利用とその粘性予測のモデル化について、現在までの研究を概観し、その中で本論文が占める位置と役割、および本研究の目的を述べた。

第2章では、フラクタル凝集体のせん断場での解砕に基づく既存の粘性予測モデルについて考察し、平均場理論に基づく Mills の粘度モデルにおける凝集体スケールをフラクタル凝集体の粒子間力による凝集と流体抗力による解砕から予測した統一モデルの妥当性を示した。また、既存モデルの問題点として、せん断力による凝集体の解砕進行度を示すべき乗変数を決定する方法がないことを明らかにするとともに、その変数が凝集体自体のフラクタル次元の関数として関連づけることを理論的に示し、既往の研究の実験データからその妥当性を示した。

第3章では、高せん断時の体積濃度の変化がフラクタル凝集体の構造をどのように変化させるか前章で提案した粘性予測モデルから検討した。その結果、体積濃度とともに凝集体のフラクタル次元が希薄系での 2.2 前後から 3.0 に急増することが明らかとなった。この理由として、粒子濃度の増加に伴って凝集体同士が接触し、凝集体の成長が空間的に制限され、凝集体内部の粒子密度が増加することが推察された。また、粒子が粒度分布を有する際の影響についても検討し、ランダム充

填で最大体積濃度に及ぼす粒度分布の影響を考慮することにより、濃厚凝集サスペンションの流動曲線を再現できることを示した。さらに、非定常状態での粘性変化にも適用し、フラクタル凝集体の粒度分布について、凝集が開始する前の粒度を想定することによって、粒子間力による凝集体の形成とせん断力による解砕を表現でき、その結果、非定常状態の凝集体の有効体積の時間的变化すなわち粘性の変化を予測できることを明らかにした。

第4章では、低せん断時におけるフラクタルな凝集構造と降伏値の関係を検討した。第2章で提案されたレオロジーモデルでは流動場において独立した凝集体間に生じる速度勾配と逸散エネルギーより粘性が求められるが、低せん断時には粒子がパーコレーションを生じ、三次元的に連結した鎖状のネットワーク構造が形成されるため、高せん断時とは異なる弾性的挙動を示す。この結果に基づき、フラクタルな凝集構造を仮定した降伏応力の予測モデルより、低せん断時の濃厚サスペンションの凝集構造の推定を行なった。低せん断時に形成される凝集構造のフラクタル次元は、高せん断時のフラクタル次元 $D=2.88 \sim 2.99$ に比べて低い値をとり、体積濃度 0.40 前後を境として急激に増加することが示された。

第5章では、実用的には凝集・分散剤が使用されている系がほとんどであることから、ポリカルボン酸系分散剤 (PC) を添加した濃厚サスペンションにレオロジーモデルを応用し、PC の吸着性状を評価した。流動性の実測値とモデル値が一致するように、PC 吸着層厚さを変数として立体反発力を含めた粒子間力の総和を計算し、PC 吸着時の吸着層厚を推定した。その結果、吸着量が高い領域では、今まで定説とされてきた櫛形の単分子層の吸着形態よりも厚い十数 nm の吸着層厚が形成されていることが予測され、同様の液相条件において、AFM により測定を行なった結果と合致した。これにより、吸着量が高い領域では、PC 同士が疎水的に凝集したものと推測され、従来のくし型とは全く異なる吸着形態をとることを明らかにした。この結果は、本レオロジーモデルの妥当性を示すとともに、PC の流動性改善メカニズムに新たな知見をもたらし、今後の新規分散剤の開発に大きく貢献するものと考えられる。

第6章は、本論文の総括であり、本研究で得られた成果をまとめている。