

氏名(本籍)	こばやし もと よし 小林 幹 佳(広島県)
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	博甲第2262号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	農学研究科
学位論文題目	乱流中におけるモデルフロクの形成・破壊過程に関する研究
主査	筑波大学教授 農学博士 多田 敦
副査	筑波大学教授 農学博士 佐藤 政良
副査	筑波大学助教授 農学博士 塩沢 昌
副査	筑波大学助教授 工学博士 京藤 敏達

### 論文の内容の要旨

水処理などの固液分離操作における凝集操作の高度な制御や河川感潮域における粘土や有機物などの浮遊懸濁物の輸送過程の予測には、コロイド粒子そのものよりも、それらが凝集して形成するフロクの動的挙動を把握することが重要である。しかし、フロクを構成する粒子のコロイド化学的条件の多様性とフロクの形成と破壊が関与する乱流場の評価が困難であることなどのために、まだ十分には理解されていない。

そこで本論文では、(i) 解析の基準となる標準的なフロクの形成・破壊に係わる諸条件を整理し、(ii) 現象を記述するモデルを構築して、(iii) その妥当性を実験によって検証することにより、フロクの形成・破壊過程の基本的考え方を明らかにした。

実験には球形度・単分散性に優れたポリスチレンラテックス粒子をKCl溶液中で凝集させるとともに、4枚邪魔板付円筒容器とラシュトン型攪拌翼で構成される攪拌槽で等方性乱流を発生させた。まず、KCl溶液中におけるモデル粒子の凝集実験を行い、この系での臨界凝集値を得た。また攪拌槽内の乱流の評価は、乱流エネルギー消散率を測定することにより行った。

乱流中におけるモデルコロイド粒子の凝集速度の理論的な取扱いについて整理した。凝集速度は凝集による総粒子数濃度の減少速度として表わされる。総粒子濃度の経時変化は凝集開始からの経過時間、ブラウン凝集の補正係数(0.5)、ボルツマン定数、絶対温度、粘性係数、動粘性係数、コロイド粒子の半径、ハマカー定数で表現できた。この式は凝集速度に対するブラウン運動の寄与と乱流の寄与の両方を含んでいる。また、層流中での流体力学的相互作用による補正係数を乱流に対して近似的に導入した。式の妥当性を検討するため、急速凝集系でのコロイド粒子の凝集速度を乱流のエネルギー消散率で代表される攪拌強度を変数として測定した。測定結果は理論値と極めて良い一致を示し、凝集速度は理論的に定量的な予測が可能であることが明らかとなった。このことは、コロイド粒子の凝集に直接関わる流れ場が等方的であり、実質的に粘性の効果が卓越する剪断流場で近似できること、また、Brown凝集と乱流凝集の足し合わせが有効であることを示している。

従来のフロク破壊についての実験結果を踏まえ、かつ、フロクの幾何学的構造に基づいて、粒子間引力 $f$ とフラクタル次元 $D$ により決定されるフロク形成時のクラスター間接点数 $N_c$ との積で表されるフロク強度 $F_{floc}$ のモデルを新たに提案した。フロクの破壊はフロク強度を越える流体力がフロクに作用したときに起こると考えて、ある流れ場において破壊を受けることなく存在し得る最大フロク径 $d_{f,max}$ を導いた。

$$d_{f,max} \sim \left( \frac{\mu G}{f \cdot N_c} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ここで、Gは局所的な剪断速度である。(1)式の妥当性を検討するために、予め形成しておいたフロックを攪拌により破壊し、破壊後のフロック径とフロック次数(フロックを構成する粒子の数)をGの関数として測定した。その際、f、N<sub>c</sub>を変えるためにコロイド粒子の直径、フラクタル次元Dとを変化させた。実験によって得られたd<sub>f,max</sub>とμG、フロック次数とμGの関係は、それぞれ(1)式、あるいは(1)式を変形して得られる式に従うことが明らかとなった。このことは本研究で提案したフロック強度のモデル

$$F_{floc} = f \cdot N_c \quad (2)$$

が妥当であることを示している。

## 審査の結果の要旨

本論文は、水処理における固液分離操作や土壌浸食時の浮遊懸濁物の輸送予測などの基礎として、乱流中のモデルコロイド粒子の凝集とできたフロックの乱流中での破壊を実験的に検証したものである。土壌など自然界の複雑系の現象は、その材質が多岐にわたり、その物質・化学性も様々であるだけでなく、実地でおこる凝集は乱流中でおこる場合が大部分であるが、等方性の乱流場を作り出すことが難しいために、基礎的実験が必要である。

そこで本論文では、球形度と単分散性に優れたポリスチレンラテックス粒子を用いて、KCl溶液中で凝集させ、これを4枚邪魔板付円筒容器とラシュトン型攪拌翼を用いた攪拌槽内で基準となる等方性乱流を発生させ、実験による理論の検証を行い、上記諸困難を克服しようと工夫した。

従来の研究から単純な標準的な塩の添加によって誘発されるコロイド粒子の凝集原理、フロックの形成、破壊の行われる流れ場である乱流理論、乱流中でのコロイド粒子の凝集速度理論など、原理的・理論的側面をとり纏めると同時に、上述手法によりフロックの形成・破壊の現象を上記理論に対して実験的に検証を行った。

丁寧な実験による理論の検証は本論文の特徴の一つである。

フロック破壊の実験結果から、フロックの幾何学的構造に基づいたフロック強度のモデルの提案を行った。強度がクラスター間接点数と粒子間引力との積で表されるとした提案は、新しく、1999年のUnited Engineering Foundation 国際シンポジウムでも評価を得た。

これらの研究は、より複雑な材料の混在する自然界や農業への適用には、まだ多くの追加的なステップを必要とするもので、直ぐに実際上の問題の解決を可能にするわけにはいかないが、基本的現象の解明にとって地道な積み上げの一研究として高く評価される。

よって、著者は博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。