

2023 年度（第 19 回）研究助成報告

研究題名	粒子形状が干渉沈降現象に及ぼす影響
研究期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日
研究機関・所属 研究者名	兵庫県立大学大学院工学研究科 佐藤根 大士

1. 研究成果の概要

水や空気などの流体中に存在する粒子の沈降現象は様々なプロセスで利用されている。高濃度スラリーでは他の粒子の移動に伴う排除媒液の影響による干渉沈降現象が発生し、沈降速度が遅くなることが知られている。干渉沈降現象は粒子が沈降する際に生じる粒子周囲の流体の乱れおよび、粒子が沈降することによる媒液の入れ替えに伴う上昇流により沈降速度が低下するとされている。特に粒子周辺の流体の乱れは粒子形状により大きく異なることが予測される。このような背景のもと、本研究では粒子形状が干渉沈降速度に及ぼす影響について主に調査を行った。その結果、球形粒子に比べて非球形粒子では、媒液の乱れがより大きくなることで、より強く干渉沈降現象が発生すること、鱗片状粒子は媒液の乱れの影響を大きく受け、沈降速度が大幅に低下することを明らかにした。これら結果は、重力沈降分離をはじめとする様々な分野への利用が期待できる。

2. 助成期間内での研究成果の概要

1. 緒言

水や空気などの流体中に存在する粒子の沈降現象は、分級、固液分離、粒子径分布測定、スラリーの分散状態評価といった様々なプロセスで利用されている。希薄濃度スラリーの場合、粒子の沈降速度は単一粒子と同様の扱いが可能であるが、高濃度の場合には他の粒子の移動に伴う排除媒液の影響による干渉沈降現象が発生し、沈降速度が遅くなることが知られている。干渉沈降現象については沈降速度減少の様々な補正式が提案されているが、単一粒子の沈降速度を空間率のべき乗則で補正する式がよく知られている。この式で使用されるべき数（補正係数） n は Richardson-Zaki 式の 4.65 が有名であり、多くの分野で使用されている。一方で、我々が過去に行った沈降静水圧法を用いたアルミナ研磨材の高濃度スラリーの粒子径分布直接測定では、 n を 7.16 とすることで実際の沈降現象を表せた。干渉沈降現象は粒子が沈降する際に粒子周囲の流体が乱れることおよび、粒子が沈降することによる媒液の入れ替えに伴う上昇流が発生することで、周辺の粒子の運動に影響を及ぼすとともに周辺の粒子の運動により影響を受けることで沈降速度が低下する現象である。特に粒子周辺の流体の乱れは粒子形状により大きく異なることが予測される。そこで本研究では、粒子形状と補正係数の関係について実験的検討を行った。

2. 実験方法

2.1 沈降静水压測定

実験には沈降静水压式スラリー評価装置（JHGS, HYSTAP-T）を使用した。Fig.1 に装置概略図を示す。この装置はスラリーを投入した任意の深さの静水压を測定するもので、測定点よりも上部に懸濁している粒子および媒液の静水压を測定することができる。測定されるスラリーの静水压は、スラリー中で全ての粒子が懸濁している状態では、媒液の静水压に加えて全粒子の自重から浮力を差し引いた圧力が検出される。その後、粒子が沈降し、測定点を通過した粒子の質量は検出されなくなるため徐々に静水压は低下し、全ての粒子が測定点を通過すると媒液の静水压のみが検出される。圧力の低下速度は粒子の沈降速度と対応していることから、粒子の密度があらかじめわかっている場合は、圧力の低下速度から粒子径分布を算出することが可能である。また、粒子の密度および粒子径が既知の場合は、粒子濃度から干渉沈降の強さを検出することが可能となる。

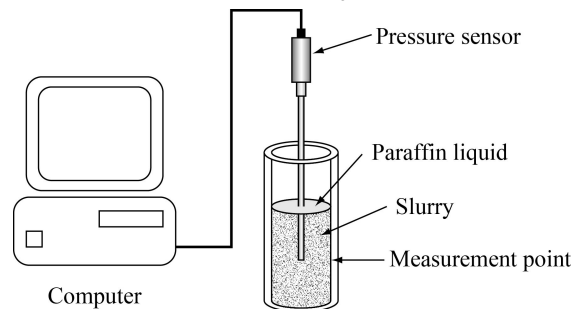


Fig.1 Experimental apparatus for hydrostatic pressure measurement

2.2 試料

試料粉体には、50%粒子径 $3.0\ \mu\text{m}$ の非球形アルミナ、 $6.4\ \mu\text{m}$ の球形アルミナ、 $4.0\ \mu\text{m}$ の鱗片形状のマイカおよび $9.9\ \mu\text{m}$ の球形シリカを、分散媒にはイオン交換水を、pH 調整剤には HCl をそれぞれ用いた。なお、試料粉体の 50%粒子径はあらかじめ Andreasen pipette を用いて測定した値である。試料粉体とイオン交換水を粒子濃度 20 vol% となるように混合し、高ゼータ電位となる pH に調整後、超音波バスで 5 min 攪拌してサンプルスラリーを調製した。その後、調製したスラリーを高さ 200 mm となるように沈降管に投入後、静水压の経時変化を測定した。なお、測定中に媒液の蒸発を防ぐため、スラリー表面に厚さ 1 mm となるように流動パラフィンを通し込んだ。また、測定中の外乱の影響を排除するため、実験装置は防振台上に設置した。

3. 結果と考察

粒子径分布が完全に単分散の場合は、全ての粒子が測定点を通過するまでの時間から n を算出できるが、実際は粒子径に分布が存在するためこの方法では正しく算出ができない。このため本研究では、Fig.2 のように全ての粒子が沈降している沈降開始直後の傾きを外挿し、媒液のみの静水压と交差する時間から算出することとした。Fig.3 に得られた静水压の経時変化を示す。

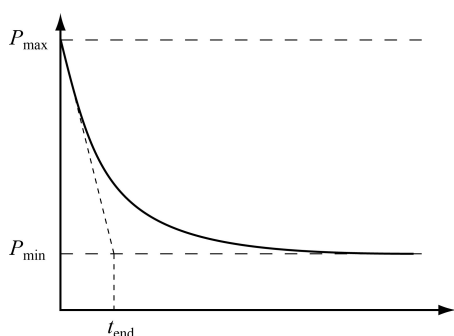


Fig.2 Schematic illustration of time change of the hydrostatic pressure

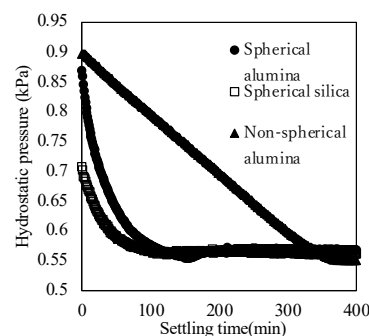


Fig.3 Time change of hydrostatic pressure

非球形の研磨材粒子は粒子径が単分散に近く静水圧も直線的に変化しているのに対して、球形粒子2種は研磨材と比較すると粒子径の分布が広く直線的ではないため、Fig.2の算出法が適切であるといえる。測定結果から算出した補正係数 n について、球形シリカは4.8、球形アルミナは4.3となり、いずれも Richardson-Zaki 式に近い結果となった。これに対して非球形アルミナは7.2となり、より強く干渉沈降現象が発生していることがわかる。鱗片状マイカは22となりさらに強い干渉沈降現象が発生しているという結果となった。鱗片状粒子は流れ場の影響を強く受けるためこのような結果になったと考えられる。以上の結果より、粒子形状が干渉沈降現象に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

4. おわりに

粒子形状と補正係数の関係について、沈降静水圧法を用いて実験的に検討を行った。その結果、球形粒子に比べて非球形粒子ではより強く干渉沈降現象が発生し、特に鱗片状粒子はその影響が大きい事がわかった。今後、各種粒子形状を表すパラメータおよび、スラリー特性との関係について検討することで、粒子形状が干渉沈降現象に及ぼす影響について明らかにでき、重力沈降分離をはじめとする幅広い分野への展開が期待できる。

最後に、本研究に対し助成を頂きました、粉体工学情報センターの関係各位に心より感謝申し上げます。

3. 研究発表

佐藤根大士，飯村健次，田口翔悟，山本拓司：粒子形状が干渉沈降現象に及ぼす影響，第60回粉体に関する討論会，2023/11/8-10，東京

佐藤根大士，飯村健次，田口翔悟，山本拓司：粒子形状が干渉沈降現象に及ぼす影響，化学工学会福井大会，2023/12/7-8，福井

佐藤根大士：濃厚スラリー中の粒子沈降現象，第14回機能性粉体プロセス研究会，2024/1/25，仙台