

粉体技術者のための粉体入門講座 44

スラリー徒然草-9

An Essay about Slurry-9

JHGS 株式会社こな椿ラボ、名古屋大学名誉教授 椿 淳一郎

JunIchiro TSUBAKI

6. 粒子の沈降挙動 (続き)

前回、スラリーの凝集・分散性評価に沈降試験は、安価で情報量も多く大変有効な方法であるが、結果が出るのに月単位の時間を要する場合もあることを述べた。

さらに、測定時間を短縮する方法として、沈降管の底部で静水圧を測定する沈降静水圧法の原理を紹介したので、今回は実験データでその有効性を検証してみたい。

試料スラリーには、いつものアルミナ粉体(住化製、AES11-E、 $0.48\mu\text{m}$)を、蒸留水に20vol%になるように調製したスラリーを用いた。

粒子間力は pH によって調整した。粒子のゼータ電位を実測し、DLVO 理論により計算した粒子間ポテンシャルを図-9.1 に示した。

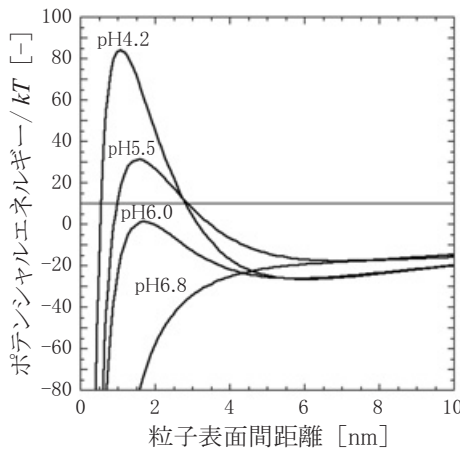


図-9.1 アルミナ粒子 ($0.48\mu\text{m}$) のポテンシャルカーブ

図-9.1 から明らかな通り、pH4.2のスラリーでは粒子が他の粒子に近づいていくと、粒子の前に大きな障壁が現れそれ以上の接近を妨げるので、粒子は凝集することなく分散した状態でいられる。

それに対して、pH6.8のスラリーでは、粒子が他の粒子に近づくと、障壁とは逆に下り坂が続くため、粒子は急接近し一気に凝集してしまう。

これらのスラリーを沈降管に入れ、スラリー界面の位置を観察すると、図-9.2¹⁾に示す結果となる。

本講座の7回目 (Vol. 5, No. 4) で述べたように、20vol%という濃度は、粒子間に引力が働けば全ての粒子がつながり得る濃度であるため、pH6.8のスラリーを静置すると間もなくゲル化してしまう。

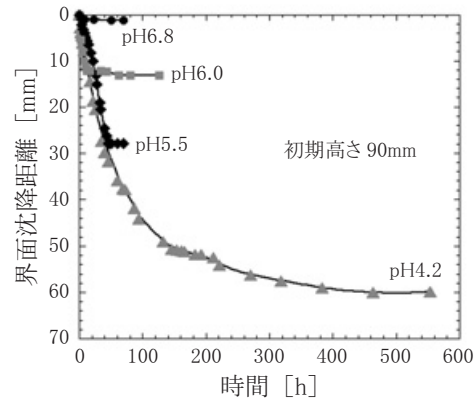


図-9.2 20 vol%アルミナスラリーの沈降曲線

反発力が働く pH4.2では、粒子同士が接近しても凝集することなく、幾何学的に安定する粒子配列まで移動して、密な堆積層を形成する。

粒子間に働く力が異なっても、界面の降下速度は余り変わらず、pH4.2と pH5.5のスラリーを識別するためには、丸2日以上時間を要する。

では、沈降管底部の静水圧はどうだろうか。図-9.3が界面位置の観察と同時に測定した沈降静水圧の経時変化である。

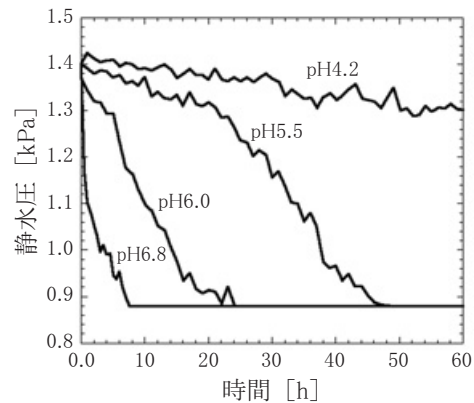


図-9.3 20 vol%アルミナスラリーの静水圧変化

図-9.3¹⁾を見ると、静水圧降下速度はスラリー pH ごとに沈降開始時から違っており、2日も待つことなく、数時間で両者を識別できる。

粒子間に引力が働く pH6.8では、沈降開始と同時に静水圧が一気に低下し、瞬時にゲル化していることがわかる。

一方、反発力が働く pH4.2では、変動はあるものの平均的には一定速度で静水圧は低下してい

るので、粒子は分散状態で途中凝集することなく沈降していると思われる。

pH6.0でも静水圧は平均的には一定速度で低下しているが、その低下速度はpH4.2よりかなり大きいので、沈降開始直後に粒子はある程度凝集し、その後はその凝集粒子が沈降していると思われる。

pH5.5の静水圧も一定速度で低下するが、沈降開始約21hで折れ曲がり低下速度を増しているのので、最初分散していた粒子は、粒子間引力に抗しきれず途中で凝集してしまったものと思われる。

このような変節(?)は、スラリーの世界でも人の世と同じで、あとで紹介するように、ものごとを複雑怪奇にする原因となっている。

静水圧の低下速度は、すなわち堆積層形成東度($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)である。一方スラリー界面から沈降東度は図-9.2の沈降曲線から計算できるので、その比を取ってやれば、堆積層形成過程をもう少し詳しく知ることができる²⁾。

その流東比を計算してみると²⁾、粒子がよく分散している場合は、その比は1に近く、堆積層は沈降してくる粒子によって形成されることが分かる。

それに対して、粒子間に引力が働いていると、沈降してくる粒子の何倍もの粒子で堆積層は形成されている。堆積層はまるで筍が生えるように成長する。

変節スラリーが引き起こす複雑怪奇な挙動については、本誌で既に紹介³⁾したことがあるが、重要なので簡単に触れておきたい。

乾式粉体層で層高を増せば、自重のために充填率は普通高くなる。高くならなくとも下がることはない。

ところが液中では、スラリーの初期高さを増すほど堆積層の充填率が下がる場合がある。

図-9.2、9.3と同様に調製したスラリーを、初期高さを変えて静置したときの、堆積層の充填率が図-9.4¹⁾である。

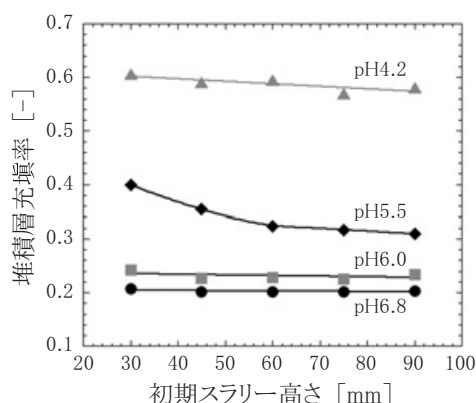


図-9.4 堆積層充填率の初期スラリー高さ依存性

図から明らかなおとおり、pH5.5の場合のみ明らかに堆積層の充填率は、初期スラリー高さと共に低下している。これはとりもなおさず変節のなせる技である。

図-9.3から明らかなおとおり、pH5.5のスラリーは調製後20hまではそれなりに良く分散している。この分散された粒子はそれなりに高い充填率の堆

積層を形成する。

しかし20h後、分散していた粒子は凝集状態に変節するため、20h後に形成される堆積層の充填率は低くなる。

初期高さ30mmのスラリーでは、約30hで粒子の沈降は完了しているのので、いずれの初期高さにおいても、堆積層は下部の密な層と上部の疎な層の二重構造になっていると予想される。

密な層は沈降開始から20h以内に形成されるので、その厚みは初期高さによらず一定である。

それに対して上部の疎な層は、20h後から沈降終了までの間に形成されるので、初期高さが高くなるほど厚みを増すことになる。

したがって、全体としての堆積層充填率は初期高さと共に低下することになる。

γ 線密度計で堆積層の高さ方向充填率分布を実測したところ、上の予測を裏付ける結果となっている。

pH5.5スラリーの変節振りは、図-9.2でも見て取れる。pH5.5以外の沈降曲線は“し”の字を描いているが、pH5.5では逆“く”の字を描いている。これは、粒子の凝集によりスラリー界面の降下速度が増したことを表している。

図-9.4で、pH4.2の堆積層充填率が微妙に初期高さに対して低下しているのは、沈降の完了まで数百時間も要するため、粒子の凝集が少しずつ進行しているためと思われる。

このような堆積層充填率の初期高さ依存性は、pH調整によって調製されたスラリーだけでなく、高分子分散剤添加によって調製されたスラリーでも同じように観察される。

引用文献

- 1) 森 隆昌、伊藤 誠、杉本 理充、森 英利、椿 淳一郎：“液圧測定によるスラリー評価－沈降挙動に及ぼすスラリー初期高さの影響－”、粉体工学会誌、41、p. 522－528 (2004)
- 2) Mori T., K. Kuno, M. Ito, J. Tsubaki, T. Sakurai：“Slurry characterization by hydrostatic pressure measurement – analysis based on apparent weight flux ratio”, *Advanced Powder Technology*, 17, p. 319－332 (2006)
- 3) 椿 淳一郎：“「神話」は本当か？－スラリーは千変万化－”、粉体技術、3、p. 25－29 (2011)
- 4) Tsubaki J., M. Kato, M. Miyazawa, T. Kuma and H. Mori：“The effects of the concentration of a polymer dispersant on apparent viscosity and sedimentation behavior of dense slurries”, *Chemical Engineering Science*, 56, p.3021－3026 (2001)



つばき じゅんいちろう

椿 淳一郎

JHGS (株) かな椿ラボ 主宰

名古屋大学名誉教授

〒509-0135 各務原市鵜沼羽場町5-72

TEL : 058-370-4538 FAX : 058-370-4538

E-mail : tsubaki@jhgs.jp

HP : <http://konatsubaki.jhgs.jp/>