

## 粉体技術者のための粉体入門講座 43

### スラリー徒然草-8

#### An Essay about Slurry-8

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)

今回は、粒子の沈降挙動には人の世に負けないようなドラマが隠されていることを紹介して、紙数が尽きた。

今回は、沈降試験でスラリーの充填特性を評価する方法を紹介してみたい。

できるだけ緻密な成形体を得るためには、スラリーに分散剤をどれだけ添加すればよいか。これは現場的に大変重要な課題である。

それで前回<sup>1)</sup>紹介したアルミナスラリーの沈降試験結果を、スラリー濃度を一定とし、PCA (ポリカルボン酸アンモニウム) 添加量をパラメータとしてまとめ直してみる。

スラリー濃度が低い干渉沈降や成相沈降ではスラリー層界面がわかりにくいので、界面が明瞭に観察できるスラリー濃度が35vol%の集合沈降の様子を図-8.1 に示した。

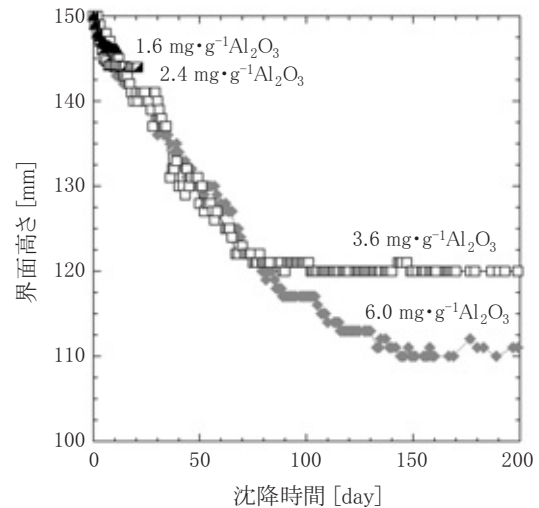


図-8.2 35vol%アルミナスラリーの沈降挙動 (数値はPCA 添加量)

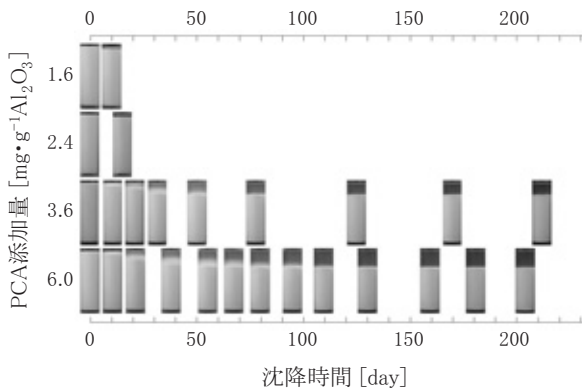


図-8.1 アルミナ粒子の沈降挙動 (35vol%スラリー)

図-8.1 から界面の位置を読み取り、その推移をプロットすると図-8.2 に示す回分沈降曲線が得られる。

図から、界面はPCA 添加量によらず同じ速度で降下するが、堆積層の厚さ (充填率) はPCA 添加量によって大きく変化していることがわかる。

スラリーの充填特性を表す堆積層の充填率は、スラリーを十分な時間静置するだけで求められるので、界面が不明瞭なスラリーにも適用できる。

図-8.3<sup>2)</sup>に堆積層の充填率をまとめて示したが、PCA の添加量は1.6mg·g<sup>-1</sup>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>から1.5倍ずつ増やしているが、沈降の様子は2.4と3.6mg·g<sup>-1</sup>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加の間で激変している。

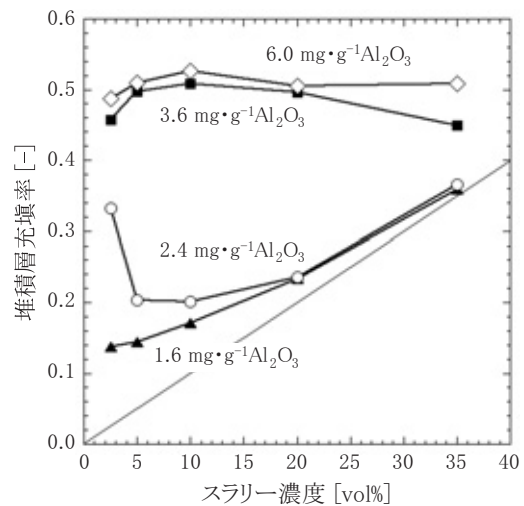


図-8.3 アルミナスラリー沈降堆積層の充填率 (数値はPCA 添加量)

この激変はどこから来るのか。お手数でもPCA 添加量と吸着量の関係を示した図-4.2<sup>3)</sup>をご覧ください。

図から判断するに、添加量が3.6mg·g<sup>-1</sup>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を超えるとアルミナ粒子は、PCA によって覆い尽くされている (飽和吸着)。そして粒子を覆っているPCA が粒子の接触を妨げ凝集を防いでいる。

それに対して、1.6, 2.4mg·g<sup>-1</sup>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加の場合は、飽和吸着に達していないので、粒子表面に

は吸着サイトがまだ残っている。

また、粒子濃度が35vol%と高いため、前回<sup>1)</sup>も述べたように、どの粒子にも他の粒子が2個以上の接触している状態にある。

したがって、1個のPCA分子が2個の粒子を架橋することも可能なので、スラリーは容易にゲル化する。

このように分散剤は飽和吸着量を境にして、その効き方が激変することがあるので、注意を要する。

沈降試験に必要な器具は、透明な沈降管とサンプルスラリーからの蒸発を防ぐためのラップフィルムだけなので、安価で手頃にできて、得られる情報量も多い優れた評価方法である。

しかし、問題は評価に要する時間である。例えば図-8.2で、添加量3.6と6.0mg・g<sup>-1</sup>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の違いを識別するためには、70日を要している。いくら簡便で優れた試験法でも、これでは生産現場で使うのは無理である。

沈降試験で観察しているのはスラリー層の最上部である。最上部には上から降りてくる粒子はないので、濃度が下がることはあっても上がることは絶対ない。

スラリー濃度が上がらなければ、粒子同士のさらなる接近はないので、スラリー調製時の状態が維持されるか分散状態に移行する。

それに対し沈降管底面では、粒子が降ってくるので粒子濃度は上がり、粒子集合状態は初期の状態から凝集状態に移行する。また、沈降途中で粒子が凝集すれば沈降速度は大きくなるので、堆積層の形成速度も速くなる。

したがって、スラリー層上部ではなく沈降管底部の情報を使えば、何十日も待たなくとも粒子集合状態を評価できるはずである。

そこで、我々は沈降管底部の静水圧に着目した。まずスラリーの静水圧はどのように決まるか考えてみる。

水の入った沈降管に粒子を入れると、粒子の体積分だけ水面が上昇するので、その分静水圧は高くなる。

だが、静水圧の上昇原因はそれだけではない。粒子が沈降している間は、粒子の「自重-浮力」分だけ静水圧は上昇する。

つまり沈降中は粒子の「自重-浮力」を流体抗力で支えている。言い換えれば粒子が水を押ししていることになる。

しかし、粒子が堆積し沈降を止めてしまうと、粒子の「自重-浮力」は沈降管底部が支えるので、静水圧は水深に相当する圧力まで低下する。

以上のことを数式で表すと、次のようになる。

密度 $\rho$  [kg・m<sup>-3</sup>] の液に密度 $\rho_p$  [kg・m<sup>-3</sup>] の粒子が濃度(体積分率)  $\phi$  [-] で懸濁しているスラリーを想定すると、深さ $H$  [m] における静水圧 $P$  [Pa] は、スラリーの密度は $\rho + (\rho_p - \rho)\phi$  となるので次の式で表される。

$$\rho = \{ \rho + (\rho_p - \rho)\phi \} gH \quad (8.1)$$

スラリーを濃度 $\phi_0$  [-] に調製すると、静水圧は全ての粒子が懸濁している ( $\phi = \phi_0$ )  $P_{\max}$  から、全ての粒子が堆積し終えた ( $\phi = 0$ )  $P_{\min}$  まで変化

する。

$P_{\max} - P_{\min}$  は全粒子量、 $P_{\max} - P$  は堆積してしまった量、 $P - P_{\min}$  はまだ懸濁している粒子量を表すので、沈降管底部で静水圧を測れば、目視では判断できない粒子の沈降・堆積状態を知ることができる。

粒子濃度が同じスラリーで、pHなり分散剤で粒子間力を変えたとき、静水圧の時間推移をパターン化して図-8.4に示した。

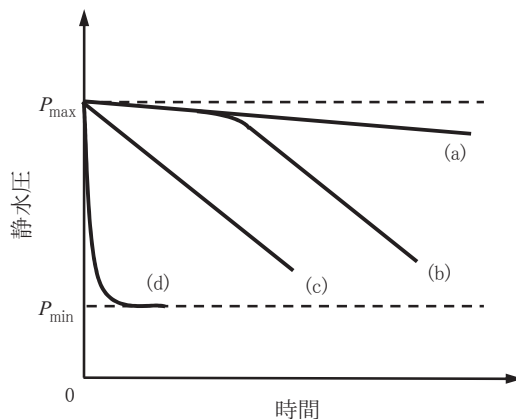


図-8.4 静水圧の変化パターン

粒子間に反発力が働き、粒子がよく分散して一次粒子単位で沈降している場合は、粒子の沈降速度は遅いので、静水圧は図-8.4(a)のようにゆっくりと一定速度で降下する。

逆に粒子間に強い引力が働く場合はどうか。スラリー濃度が集合沈降できる程度に高ければ、粒子は瞬間にゲル化するので、静水圧は図-8.4(d)のように一気に降下する。

粒子が凝集すれば、図-8.4(c)のように、分散していた粒子が途中で凝集すると(b)のように静水圧は降下する

我々はこのスラリー評価法を「沈降静水圧法」と名付けているが、今回は沈降静水圧法の威力の一端を紹介してみたい。

## 引用文献

- 1) 椿 淳一郎：“粉体技術者のための粉体入門講座42 スラリー 徒然草-7”、粉体技術、5、p.82-83 (2013)
- 2) 木口 崇彦、稲嶺 育恵、佐藤根 大士、森 隆昌、椿 淳一郎：“分散剤の添加量が粒子沈降挙動に及ぼす影響”、粉体工学会誌、47、p.616-622 (2010)
- 3) 椿 淳一郎：“粉体技術者のための粉体入門講座36 スラリー 徒然草-4”、粉体技術、5、p.62-63 (2013)



つばき じゅんいちろう

椿 淳一郎

JHGS(株)こな椿ラボ 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://www.jhgs.jp/lab/