微量供給用テーブルフィーダの改良

Improvement of Micro Table Feeder

増田 弘 昭*
Hiroaki MASUDA

生 三 俊 哉*
Shunya IKUMI

図1 微量供給用テーブルフィーダの概略

粉体の微量定量供給は各種の粉体プロセスにおいて必要とされる重要な操作である。実験室規模でのフィルタの試験では数 mg/s 程度の微量供給が必要とされる場合もあり、しかも供給すべき粉体は炭酸カルシュウム微粉、関東ローム超微粒 (JIS 11種)、フライアッシュ超微粒 (JIS 10種) など一般に取扱いの困難な粉体であることが多い。筆者らは、このような目的に対してテーブルフィーダを用いることを検討し、スクレーパを複数個用いること、特に流動性の悪い粉体には3個用いること、テーブル面と粉体間のまさつ係数を粉体の内部まさつ係数と同程度にすること、などを提案した。ここでは

図2 スクレーパ前後の粉体層モデル図

スクレーパの一つにローラを用いることを試みた結果について若干の考察を行なう。

本実験で使用したテーブルフィーダのテーブル部分の概略を図1に示す。テーブルの回転によってホップから流出してくる粉体をスクレーパ No. 1 でかき取り、テーブル上に適当な厚さの粉体層を残す。このとき、残すべき粉体層の厚さが薄いと粉体によってはテーブル面上にのらず、テーブル面上で粉体がまだらになるという問題が生じた。ただし、テーブル面は前報の通り CC-600 のエメリペーパーを貼っている。スクレーパ No. 1 で十分な厚さの粉体層を作り、図1のローラの位置に通常のスクレーパをつけて粉体層の厚さをさらに薄くすることを試みたが、結果は悪く定量的供給はできなかった。

これに対し、外径12φ(mm)の黄銅パイプの外部にゴム製チューブをはめたローラを用いると、テーブル面上に粉体の薄い層を作ることができた。黄銅パイプの内径は10φで、中央部に芯棒とし径8φのガラス棒を用いてローラが粉体層とのまさつにより自然に回転できるようにした。テーブル径は100φである。スクレーパ No. 1, ローラ, およびスクレーパ No. 2 のところでの余剰の粉体はテーブル端から、スクレーパ No. 3 の排出部とは別

昭和56年3月23日受付

*広島大学工学部化学工学科 〒730 広島市中区千田町3丁目8-2

の所に排出される。なお、スクレーパ No.1 は多少の圧縮が起こるように下面をわん曲させてある。

スクレーパとテーブル間の間隙が小さいと、テーブル面に一様な粉体層を形成できない。この点について考察する。図2において、スクレーパ前方での粉体層厚さを h_0 、スクレーパとテーブル間の間隙を h_1 とする。テーブルが回転し、図の右方へ向って移動するとき、スクレーパ下端で粉体層のせん断が起るか、テーブル面でせん断が起るかによって粉体層の限界厚さ h_1 ($=h_c$ とする) が決まると考える。解折を簡単にするために限界応力状態はクーロンの式で表わされるとすると、

スクレーパ下端での限界せん断応力：

$$\tau_{c1} = \mu_i \sigma_1 + c \quad \cdots \cdots (1)$$

テーブル面での限界せん断応力：

$$\tau_{c2} = \mu_w \sigma_2 + c_w \quad \cdots \cdots (2)$$

テーブル面上では粉体をささえる側壁はないので、垂直応力 σ_1 、 σ_2 は

$$\sigma_1 = \rho_B g (h_0 - h_1) = \rho_B g \Delta h \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\sigma_2 = \rho_B g h_0 = \rho_B g (h_1 + \Delta h) \quad \cdots \cdots (4)$$

スクレーパ下端でせん断が生じるためには

$$\tau_{c1} \leq \tau_{c2} \quad \cdots \cdots (5)$$

でなければならない。(1)式～(5)式より

$$h_1 + \Delta h \geq \frac{\mu_i}{\mu_w} \Delta h + \frac{c - c_w}{\mu_w \rho_B g} \quad \cdots \cdots (6)$$

故に、

$$h_1 \geq \left(\frac{\mu_i}{\mu_w} - 1 \right) \Delta h + \frac{c - c_w}{\mu_w \rho_B g} \equiv h_c \quad \cdots \cdots (7)$$

不等式(7)の右辺で与えられる厚さ h_c が限界となる。

計算例 文献1のTable 1に示されている数値を使って、炭酸カルシウムの h_c を計算する。内部まさつ係数 $\mu_i = 0.57$ 、テーブル面のまさつ係数 $\mu_w = 0.38$ 、粉体付着力 $c = 5 \text{ g/cm} \cdot \text{s}^2$ 、テーブル面付着力 $c_w = 3 \text{ g/cm} \cdot \text{s}^2$ 、 $\Delta h = 1 \text{ cm}$ 、 $\rho_B = 0.3 \text{ g/cm}^3$ に対し、(7)式より、

$$h_c = \left(\frac{0.57}{0.38} - 1 \right) \times 1 + \frac{5 - 3}{0.38 \times 0.3 \times 980} = 0.518 [\text{cm}]$$

テーブル面にエメリーペーパーを貼った場合は $\mu_w = 0.56$ 、 $c_w = 1.4 \text{ g/cm}^2$ より、 $h_c = 0.04 [\text{cm}]$ となる。

上記のように、単純な計算ではあるがテーブル面にエメリーペーパーを貼る事の効果がよく表わされている。

いま、テーブル面と粉体層の間に τ_c のせん断応力が加えられてもせん断が生じないためには、

$$\mu_w \rho_B g h_1 + c_w \geq \tau_c \quad \cdots \cdots (8)$$

故に、

$$h_1 \geq \frac{\tau_c - c_w}{\mu_w \rho_B g} \quad \cdots \cdots (9)$$

が必要である。これに対し、ローラを用いて粉体をローラとテーブルの間にかみ込むことにより、 σ_0 なる垂直応力が自然に加わったとすると、(8)式の条件は次のように変わる。

$$\mu_w (\rho_B g h_1 + \sigma_0) + c_w \geq \tau_c \quad \cdots \cdots (10)$$

したがって、

$$h_1 \geq \frac{\tau_c - c_w}{\mu_w \rho_B g} - h' \quad \cdots \cdots (11)$$

ここで、

$$h' = \frac{\sigma_0}{\rho_B g} \quad \cdots \cdots (12)$$

すなわち、テーブル上の粉体層の厚さ h_1 は h' 分だけ薄くできることになる。(12)式によると、かさ密度が小さいほど、圧縮応力 σ_0 が大きいほど、薄い粉体層が作れる。ただし、 h_1 が負になる時は物理的意味をもたない。なお、圧縮によってかさ密度 ρ_B が変化するであろうし、 h' の値がどの程度になるかは単純には推定できない。しかし、このような簡単な式によって実際の経験がある程度表わせることがわかる。

ローラはできればスプリングなどを用いて圧縮応力を調整できる構造となっているのが望ましい。また圧縮応力が小さいとローラに粉体が付着することもあるので、粉体層厚さを薄くしたい場合にのみ用いるべきであろう。表1に改良したテーブルフィーダを用いてフライアッシュ超微粒(JIS 10種)を供給した場合の性能例を示す。ローラを用いない場合は、この程度の微量供給でもテーブル面上に粉体が乗らず、供給不能となるのに対し、実用上十分な精度の供給が可能となっている。

表1 供給精度の一例
(フライアッシュ超微粒, JIS 10種)

テーブル回転数 $N(\text{r. p. m.})$	平均供給流量 $W(\text{mg/s})$	標準偏差 $s(\text{mg/s})$	変動係数* $F(\%)$
4.0	32.3	0.936	3.05
5.5	38.5	0.565	1.55
10.1	66.0	0.779	1.24

* サンプル数10, サンプルング時間1分, 不偏分散を使用

使 用 記 号

c : 粉体付着力	[g/cm $\cdot$ s 2]	μ_w : テーブル面まさつ係数	[-]
c_w : テーブル面付着力	[g/cm $\cdot$ s 2]	ρ_B : かさ密度	[g/cm 3]
g : 重力加速度	[cm/s 2]	σ_o : ローラによる圧縮応力	[g/cm $\cdot$ s 2]
h_0 : スクレーパー前方での粉体層厚さ	[cm]	σ_1 : 垂直応力, (3)式	[g/cm $\cdot$ s 2]
h_1 : スクレーパーとテーブル間の間隙	[cm]	σ_2 : 垂直応力, (4)式	[g/cm $\cdot$ s 2]
h_c : 粉体層の限界厚さ	[cm]	τ_o : テーブル面と粉体層の間のせん断応力	[g/cm $\cdot$ s 2]
h' : (2)式で与えられる量	[cm]	τ_{c1} : スクレーパー下端での限界せん断応力	[g/cm $\cdot$ s 2]
Δh : $=h_0-h_1$	[cm]	τ_{c2} : テーブル面での限界せん断応力	[g/cm $\cdot$ s 2]
μ_i : 内部まさつ係数	[-]		

引 用 文 献

- 1) 増田弘昭, 倉橋泰, 広田満昭, 井伊谷鋼一; 化学工学論文集, 2, 286(1976)

書 評

粉体摩耗の対策

(日刊工業新聞社刊)

橋本建次 著

摩擦には法則があつても摩耗には法則がないという。それ故難かしく、しかも実際の材料の使用にあたってこんなに頭を悩ます現象はないといつてもよい。著者はこの面に対して早くより研究と経験を積まれ、とくに粉体の関与する摩耗すなわちアブレーションやエロージョンについては我が国の第一人者といつてよい。

今回発行されたものは1974年に産業技術センターから発行されたものに引継いで刊行になるが、8年間の進歩をも含め、さらに著者独自の粉体摩耗についての考え方の精髓が盛り込まれているように思う。すなわち、まず粉体によ

る摩耗のメカニズムについて詳しく分類して述べられ、さらに耐摩耗材料の特徴を要領よく概説されたのち、何よりも本書の特徴といえるのは“耐摩耗材料の選び方”, “摩耗を減らすいろいろな手段”の章で、ここに著者の研究、体験の全てが提示されているといつてよい。このようにいわゆるノウハウに属する情報が要領よく200頁にまとめられていることは、極めて実用的で、各方面の粉体工業に携わる技術者に対して、厄介な摩耗現象の解析や対策に貴重な示唆を与えるものであると考える。好著として江湖の皆様にお薦めする次第である。(奥田 聰)