テーブルフィーダの粒子排出速度*

鞭

巖** 三輪輝之男**

Discharge Rate of Particles from Table Feeder

by

Iwao MUCHI and Kishio MIWA

(Faculty of Engineering, Nagoya University, Nagoya)

The purpose of this investigation is to determine the available equations for design of table feeder. Taking note of the piled-out length M , the discharge-rate equation has been derived theoretically as Eq. (11). The calculated results of the discharge rate are in good agreement with the observed data as illustrated in Figs. 9~11.

It has been observed that the value of M decreases as the insertion length of scraper increases, but finally M becomes constant value M_c at a critical distance between the scraper and the discharge pipe s_c . These values of M_c and s_c can be determined by Eqs. (9) and (6), respectively. Assuming $M \geq M_c$, the empirical equations on M have been obtained as Eqs. (2) and (3).

The equations reported here may be actually available when the discharge rate is predicted from the operating conditions.

(Received Jan. 11, 1967)

1 緒 言

テーブルフィーダは、粒子の連続式供給装置として広く実用されているが、テーブルフィーダからの粒子排出速度に関する研究はきわめて少なく、その装置設計については、かなり経験的な手法にたよっている。

桑井¹⁾らは、テーブルフィーダの上方のホップ下部の粒子排出管が、ガラス円筒の場合と、その内面にサンドペーパーを張った場合とについて、粒子排出速度の実験結果を報告している。外山²⁾は、テーブルが平板の場合と凹面の場合とについて、円筒内粒子の充てん高さ、円筒内径、円筒とテーブル間の距離、粒子径、スクレーパの食い込み深さなどを変化させて粒子排出速度の実験を発表している。これら研究者は、テーブルフィーダの操作中に、テーブル上に堆積する粒子層が、円筒の外径よりもさらに外方へ張り出てくる現象を観察している。しかし、その張り出し距離についての定量的な表式や、粒子排出速度式については報告していない。

堆積粒子層の張り出し現象は、テーブルフィーダからの粒子排出速度と密接な関係がある。本研究の目的は、粒子層の張り出し現象に着目して、テーブルフィーダの装置特性を解明し、テーブルフィーダの設計に有用な粒子排出速度式を求めることである。

2 理論と実験

ホップ下部の粒子排出管の下端とテーブルとの間に

堆積する粒子層は、通常、排出管より外方へ粒子が張り出すために、Fig. 1 に示したように縦断面が台形になる。この堆積粒子層の張り出し現象について、桑井¹⁾らは、円筒下部の粒子層内に回転放物面状のせん断層があり、このせん断層での粒子の膨張力の水平分力が、

Fig. 1. Elevation of solid particles heaped on the rotary table.

Fig. 2. Plan of the heap of solid particles.

* 昭和42年1月11日

** 名古屋大学工学部 名古屋市中千種区不老町

粉体を外周方向へ推進する力となるために、粒子層の張り出しが生ずると解釈している。

平面図の Fig. 2 に示すように、粒子層の張り出し距離はスクレーパの先端位置で最大になるが、この張り出し距離を M とすると、 M は、一般にスクレーパの先端と排出管との距離 s 、排出管下端とテーブル間の距離 H 、堆積粒子層の安息角 ϕ 、排出管の半径 r の関数となる。

H , r , ϕ を一定に保って実験すると、 M はスクレーパが堆積粒子層への食い込み距離 l によって変化し、食い込みが浅い (l : 小, s : 大) 場合には、 M が大きい、食い込みが深くなると M が減少する。しかし、 M が 0 になるまで減少するのではなく、 $s > M$ の範囲内では、スクレーパがある程度まで食い込むと、それ以後は M が変化しなくなることが認められた。

実験に使用した粒子試料の粒度分布を Table I に示す。試料 A は豊浦標準砂、B は白銀砂である。実験装置のテーブルの直径は 350ϕ 、ホップの主円筒部の内径は 500ϕ で、長さは 150mm であり、その下部円すいの頂角は 60° である。粒子排出管は硬質塩化ビニル製であり、Table II にその各部寸法を示す。スクレーパの長さは 170mm で高さは 65mm である。 H は $20 \sim 60\text{mm}$ にわたって変化させ、テーブルの角速度 ω

Table I. Size distribution of solid particles.

Mesh	+50	-50 +60	-60 +65	-65 +80	-80 +100	-100 +115	-115 +300
Sand A	1 5	25	28 7	27 1	8 2	6 2	3 3
Sand B	0 5	2 0	13 5	55 2	21 1	4 2	3 5

Table II. Discharge pipe of hopper.

Radius r (mm)	14	24.5	39
Thickness (mm)	3	5	5
Length (mm)	400	400	370

Fig. 3. Relations between M and $(H \cot \phi - s)$, when $H > r$.

Fig. 4. Relations between M and $(H \cot \phi - s)$, when $H < r$.

は $10 \sim 60 \text{ rad/min}$ の範囲で実験した。砂粒子の場合でも、排出速度は空気湿度の影響を多少受けるが、本実験では、雨天の日を避けて実験した。

Fig. 1 から明らかなように、

$$M = l - (H \cot \phi - s) \quad (1)$$

の関係があり、 $M = 0$ で $l = H \cot \phi - s$ となるが、実験データに基づいて、 M 対 $(H \cot \phi - s)$ をプロットすると、 $H > r$ の場合と $H < r$ の場合とについて、それぞれ、Fig. 3 と 4 のような結果が得られた。実験によって、 H が r 程度になると、 M 対 $(H \cot \phi - s)$ の直線の傾きが変化することが認められた。これら直線群に基づいて、実験式を求めると、 $H > r$ の場合には、

$$M = -0.426(H \cot \phi - s) + 0.69r - 0.14H + 1.2 \quad (2)$$

が得られ、 $H < r$ の場合には、

$$M = -0.57(H \cot \phi - s) + 0.43r - 0.17H + 6.7 \quad (3)$$

が得られた。これら実験式の適用性を検討したのが、Fig. 5 と 6 である。これらの図から、(2)、(3)式がよく実験結果を表わしていることがわかり、操作条件 H , r , ϕ からこのようにして M を決定することができる。

$s > M$ の範囲内で、スクレーパの食い込みを深くし

Fig. 5. Comparison between the values of M observed and those calculated, when $H > r$.

Fig. 6. Comparison between the values of M observed and those calculated, when $H < r$.

ていくと、遂には M が一定になりはじめるが、このときの M を M_e とし、 s を s_e とする。さて、Fig. 1 に示すように、スクレep堆積粒子層に食い込んだ部分の直角三角形の面積を S_3 とし、張り出し部分の平行四辺形の面積を S_4 とする。ここで、簡単に、 $S_3 \geq S_4$ の場合に M が一定になると考えると、

$$(1/2)l^2 \tan \phi \geq MH \quad (4)$$

とかける。等号の場合に、 $M = M_e$, $s = s_e$ とすると、(1), (4)式から、

$$s_e^2 - 2(M_e + H \cot \phi) s_e + M_e^2 + H^2 \cot^2 \phi = 0 \quad (5)$$

$$\therefore s_e = (M_e + H \cot \phi) - \sqrt{2M_e H \cot \phi} \quad (6)$$

が得られる。あるいは、次式が書ける。

$$M_e = s_e - \sqrt{H \cot \phi (2s_e - H \cot \phi)} \quad (7)$$

ここで、(6)式と(7)式は、 M_e と s_e との関係を示す式である。

さて、 M が一定になる限界点では、(2)式あるいは(3)式も成立するので、 $H > r$ の場合、(6)式の s_e に(2)式の s を代入して整理すると、

$$0.574M_e + (0.426)\sqrt{2M_e H \cot \phi} - (0.69r - 0.14H + 1.2) = 0 \quad (8)$$

$$\therefore M_e = (B - \sqrt{B^2 - 1.32A^2})/0.66 \quad (9)$$

ここで、 $A = 0.69r - 0.14H + 1.2$, $B = 1.148A + 0.364H \cot \phi$

(9)式は、 H , r , ϕ を与えて M_e を求める式であり、 M_e がわかれば(6)式から s_e が得られる。このようにして求めた M_e や s_e の計算結果と実測値は Fig. 7 と 8 に示したように、かなり満足な一致が得られる。 $H < r$ の場合には、 $s \rightarrow$ 大とともに $M \rightarrow$ 大となり、 M が一定となる場合が生じない。

次に、粒子排出速度 $V(\text{cm}^3/\text{min})$ を求める。Fig. 1 で、ハッチングを施した直角三角形が中心軸の回りで1回転した場合の粒子層容積を $v(\text{cm}^3)$ とする。テーブル面から高さ y の位置に、直角三角形の内部で、微小厚さ dy なる部分の考えると、 $y = h - x \tan \phi$ であ

Fig. 7. Comparison between the values of M_e observed and those calculated.

Fig. 8. Comparison between the values of s_e observed and those calculated.

り、したがって、 $x = (h - y) \cot \phi$ となるから

$$v = \pi \int_0^d \{ (h - y) \cot \phi \}^2 - (r + s)^2 dy \\ = \pi l^2 (r + s + l/3) \tan \phi$$

ここで、 $h = (r + s + l) \tan \phi$ であり、また、 $l = \alpha - s$ だから

$$v = \pi (\alpha - s)^2 \{ r + s + (\alpha - s)/3 \} \tan \phi \quad (10)$$

$$\therefore V = (\omega/2) l^2 (r + s + l/3) \tan \phi$$

Fig. 9. Relations between discharge rate and revolution speed of the table ($r=14\text{mm}$, sand B).

Fig. 10. Relations between discharge rate and revolution speed of the table ($r=39\text{mm}$, sand A).

Fig. 11. Relations between discharge rate and revolution speed of the table ($r=39\text{mm}$, sand B).

$$= (\omega/2) (\alpha - s)^2 \{r + s + (\alpha - s)/3\} \tan \phi \quad (11)$$

が得られる。ただし、 $\alpha \equiv M + H \cot \phi$ である。(11)式で、 α の中に含まれる M は、(2)あるいは(3)の実験式から求めることができる。

粒子排出速度 V と ω との関係を Fig. 9~11 に示す。これらの図で、実線および点線で示した直線は(11)式であり、実測値とよく一致していることがわかる。なお、 ω が一定の場合、深く食い込むほど、すなわち、 s が小なるほど V は大となることが推察される。

テーブルフィーダの粒子排出速度については、

$$Q = 60\pi d' V \gamma N \{ (D/2) - (2l/3) \} \quad (12)$$

という式が発表されているが、(12)式はテーブル面上の堆積粒子層の直径 $D(\text{m})$ に着目した式であり、 $l' = 100l$, $d' = 100l \tan \phi$, $E = 200(l + r + s)$, $Q/r = 60 \times 10^6 V$ とおくと、結局、(11)式と一致する。しかし、(12)式では H や M が具体的に示されていないし、 D をどのようにして決定するかが問題である。(12)式で、 Q : 排出速度 (t/hr), d' : 食い込み高さ (m), l' : 食い込み深さ (m), γ : 見掛け密度 (t/m³), N : 回転数 (rpm) である。

3 結果と考察

粒子層の張り出し現象に着目して、テーブルフィーダからの粒子排出速度を張り出し距離 M を含んだ形の式(11)で表わした。 M について、スクレーパの食い込みを増加しても、それ以上 M が変化しなくなる限界の M_e を調べて、(9)式から M_e の値の推算を可能にした。なお、 $M > M_e$ の範囲の M についても、 s , H , r , ϕ が M に及ぼす影響を調べ、これら操作条件の関数として(2)および(3)式により M を定量的に表わした。

H , r , ϕ , ω , s を変化させて、排出速度 V に関する実験を行ない、(11)式による計算値と実測値とを比較検討した結果、満足な一致が得られた。排出速度に関連したこれら関係式は、テーブルフィーダの設計に充分活用できるものと考えられる。

なお、本研究では、湿度の影響については未解決であり、使用粒子の種類も少ないので、さらに今後、広範囲な検討をする必要があることが推察される。

(昭和41年10月19日 第4回粉体に関する討論会にて講演)

参考文献

- 1) 桑井源徳, 井出哲夫, 北条護二, 化学機械, **16**, 313 (1952).
- 2) 外山茂樹, 化学工学, **30**, 170 (1966).
- 3) 小野拓章, “粉体の貯槽と供給装置”, p. 207 (1964) 日刊工業新聞社