ボール・ミル粉碎の速度定数* (生成速度定数に与える供給粒径の影響)

神 田 良 照** 阿 部 隆***

Rate Constant of Ball Mill Grinding

(Effect of Feed Size on Rate Constant of Under-Size Increase)

by

Yoshiteru KANDA and Takashi ABE

(Department of Chemical Engineering, Yamagata University, Yonezawa)

In the previous paper, the effects of hardness of samples and feed weight on the grinding rate constants were studied. In the present paper, the effect of feed size on the rate constant of under-size increase is examined.

The samples used were silica glass, borosilicate glass, soda glass, quartz, feldspar, limestone, marble, gypsum and talc. The pebble mill consisted of a 12.8 cm-diameter by 13.2 cm-long cylinder and 40 balls of 3 cm diameter having the total weight of 1180 g. The tests were done at the speed of 88.1% of critical one with several feed size ranges of 14~20, 20~28, 28~35, 35~48 and 48~65 mesh.

As the result, the following equation was obtained.

$$K_x = 0.024 H_V^{-0.47} \cdot (W_s/W_B)^{-1.5} \cdot (x/x_f) \cdot (x_f/x_0)^{0.7}$$

where K_x is the zero order increasing rate constant of weight fraction less than size x , H_V , the dimensionless Vickers hardness, W_s , the feed weight of sample, W_B , the ball weight, x_f , the feed size, and x_0 , the optimum feed size.

(Received Feb. 23, 1978)

キー・ワード：ボール・ミル粉碎，生成速度定数，供給粒度の影響

1 はじめに

著者らは，ボール・ミル粉碎の速度論的研究を目的として，速度定数の実験的検討を行い，現在までに，速度定数と試料の物性ならびに供給質量の影響について報告してきた。また，前報においては，供給粒度質量比の減少速度定数および粉碎産物の比表面積増加速度定数について，供給粒径の影響を検討した。

ここでは，さらに，粉碎の目的としてある粒径以下の粒子を産物とする場合が多いため，任意粒径以下の生成速度定数における供給粒径の影響について実験的検討を行ったので以下に報告する。なお，供給粒径は，前報と同様の理由により14メッシュ(0.119 cm)以下の粒径とした。

2 試料ならびに実験方法

使用した試料は，前報と同様に，セキエイガラス，ホウケイ酸ガラス，ソーダガラス，ケイ石，チョウ石，

石灰石，大理石，セッコウ，カッ石の9種類である。試料の供給質量は，100，200，300 gであり，各供給質量につき，14~20，20~28，28~35，35~48，48~65メッシュの5種類の粒度を実験に供した。

実験に用いた磁製ミルは，内径12.8 cm，長さ13.2 cmで，この中に平均直径3 cmのボール40個，全ボール質量1180 gを充てんし，臨界回転数の88.1%に当る119 r.p.m.で10分間粉碎を行った。粉碎産物は，1，2，4，6，8，10分間粉碎後取り出し，タイラー標準ふるい $\sqrt{2}$ 系列を用い，ロータップ式ふるい振とう機で約10分間ふるい分けを行い，粒度解析を行った。なお，ふるいの下限は200メッシュ(0.0074 cm)とした。

3 実験結果および考察

Fig. 1, 2に，代表例として，セキエイガラスについて，粉碎時間 t とふるい下質量比 y_x との関係を分級粒度をパラメータとして示した。他の試料も含めていずれも分級粒径が小さいところでは，(1)式で示した0次の増加速度式が適応できた。

* 原稿受理 昭和53年2月23日

** 正会員 山形大学工学部 米沢市城南

*** 山形大学工学部 米沢市城南

 Fig. 1. Relation between grinding time t and weight fraction less than size x , y_x .

 Fig. 2. Relation between grinding time t and weight fraction less than size x , y_x .

$$\frac{dy_x}{dt} = K_x \quad (1)$$

ここで、 K_x は生成速度定数である。

また、図からわかるように分級粒径が大きくなり、供給粒径に近づく、本実験における粉砕時間内では(1)式は成立せず、粉砕効率はわるくなる。このような傾向は、分級粒径が小さいところでも粉砕時間が長くなれば予想され、(1)式の成立する範囲は、試料の粉砕性、供給質量、粉砕時間、分級粒径等によって決まると考えられるが、粉砕時間については、連続ミルにおける試料のミル内滞留時間は本実験における粉砕時間程度であることを考慮して、ここでは(1)式の成立する範囲は、試料、粉砕条件により差があるので、 $x/x_f < 0.2 \sim 0.25$ の範囲とした。ここで x は分級粒径、 x_f は供給粒径である。前報²⁾では、本実験条件における最適供給粒径14~20メッシュを供給した場合について、試料の物性、供給質量の影響について検討を行い、次の(2)式を得、報告した。

$$K_x = C_1 \cdot H\bar{P}^{-0.47} \cdot (W_s/W_B)^{-1.5} \quad (2)$$

ここで、 C_1 は比例定数、 $H\bar{P}$ はカッ石を基準にして無次元化した比ピッカース硬度、 W_s は試料の供給質量、 W_B はボールの質量である。本報告においては、14~20メッシュ以下の粒子を供給し、(2)式の検討に加えて、

 Fig. 3. Relation between size ratio x/x_f and rate constant K_x .

 Fig. 4. Relation between size ratio x/x_f and rate constant K_x .

 Fig. 5. Relation between size ratio x/x_f and rate constant K_x .

供給粒径と K_x との関係を実験的に検討した。代表例として、Fig. 3 にソーダガラス 200 g、Fig. 4 にケイ石 100 g、Fig. 5 にカッ石 100 g を供給した場合の K_x と x/x_f との関係を、供給粒度をパラメータとして示した。他の試料、供給質量も含めて、いずれも直線関係が成立し、その勾配は 1 に近いことがわかった。そこで、全試料について、(2)式を適用して、供給粒度が、14~20メッシュの場合について、 $K_x \cdot H\bar{P}^{-0.47} \cdot (W_s/W_B)^{-1.5}$ と x/x_f との関係を Fig. 6 に示した。ここでは省略したが、20~28、28~35、35~48、48~65メッシュについても同様の関係を求めたが、いずれも直線関係が成立するとみなせるため、全試料についてその関係を求めると(3)式の成立が認められた。

$$K_x = C_2 \cdot H\bar{P}^{-0.47} \cdot (W_s/W_B)^{-1.5} (x/x_f) \quad (3)$$

Fig. 3~5 より明らかなように、供給粒径 x_f が小

Fig. 6. Relation between size ratio x/x_f and rate constant K_x .

Fig. 7. Relation between size ratio x_f/x_0 and rate constant K_x .

Fig. 8. Correlation of dimensionless Vickers hardness $H\bar{V}$, weight ratio W_S/W_B , size ratio x/x_f , size ratio x_f/x_0 and rate constant K_x .

Fig. 9. Correlation of dimensionless Vickers hardness $H\bar{V}$, weight ratio W_S/W_B , size ratio x/x_f , size ratio x_f/x_0 and rate constant K_x .

Fig. 10. Correlation of dimensionless Vickers hardness $H\bar{V}$, weight ratio W_S/W_B , size ratio x/x_f , size ratio x_f/x_0 and rate constant K_x .

Fig. 11. Estimation of rate constant K_x from K_1 .

さくになると K_x も全体的に減少している。そこで K_x に対する最適供給粒径 x_0 (ここでは 14 メッシュの目開き 0.119 cm である) と供給粒径 x_f との比, x_f/x_0 の影響をみるために全実験値について, $K_x \cdot H\bar{V}^{-0.47} (W_S/W_B)^{-1.5} (x/x_f)^{-1}$ と x_f/x_0 との関係を Fig. 7 に示した。直線関係が成立し, その傾配はほぼ 0.7 となった。代表例として Fig. 8 にセキエイガラス, Fig. 9 に大理石について示した。全試料について整理すると(4)式が導かれ, その関係を Fig. 10 に示した。

$$K_x = 0.024 H\bar{V}^{-0.47} (W_S/W_B)^{-1.5} (x/x_f) \cdot (x_f/x_0)^{0.7} \quad (4)$$

また, 前報⁴⁾において, 供給粒度質量比の一次減少速度定数 K_1 について(5)式を得たが²⁾, (4), (5)式から(6)式が導かれ, K_1 から K_x を推定することも可能であり, その結果を Fig. 11 に示した。

$$K_1 = 0.02 H\bar{V}^{-0.23} (W_S/W_B)^{-1.5} (x_f/x_0) \quad (5)$$

$$K_x = 1.2 H\bar{V}^{-0.24} (x/x_f) (x_f/x_0)^{-0.3} K_1 \quad (6)$$

4 おわりに

粉碎操作においては, 粉碎産物の中で, 任意粒径以下の粒子を目的物として取り出す場合が多いため, 本

報告においては、分級粒径以下の 0 次生成速度定数 K_x について、供給粒径の影響を実験的に検討を行い、これまでの結果と合わせて次の実験式を得た。

$$K_x = 0.024 H \bar{V}^{-0.47} (W_s/W_B)^{-1.5} (x_f/x) (x_f/x_0)^{0.7}$$

(昭和52年11月29日 第15回粉体に関する討論会にて講演)

Nomenclature

C_1, C_2 : proportionality coefficient	[min ⁻¹]
$H \bar{V}$: dimensionless Vickers hardness	[—]
K_1 : first order decreasing rate constant of weight fraction of feed size	[min ⁻¹]
K_x : zero order increasing rate constant of weight fraction less than size x	[min ⁻¹]
t : grinding time	[min]
W_B : ball weight	[g]
W_s : feed weight of sample	[g]
x_f : feed size	[cm]
x_0 : optimum feed size	[cm]
y_x : weight fraction less than size x	[—]

参 考 文 献

- 1) 神田良照, 鈴木道隆, 粉体工学研究会誌, **12**, 625(1975).
- 2) 神田良照, 鈴木道隆, 安斎 登, 児玉敏彦, 材料, **25**, 675 (1961).
- 3) 神田良照, 鈴木道隆, 安斎 登, 児玉敏彦, 材料, **26**, 197 (1977).
- 4) 神田良照, 安部保志, 鈴木道隆, 阿部 隆, 材料, **27**, 667 (1978).
- 5) 和田正美, 水曜会誌, **10**, 507 (1941).
- 6) 森 芳郎, 神保元二, 化学工学, **23**, 138 (1959).
- 7) Arbyter, N., and V. H. Bhrany, Trans. A. I. M. E., **217**, 245 (1960).
- 8) Arbyter, N., and C. C. Harris, British. Chem. Eng., **10**, 240 (1965).
- 9) 神田良照, 下飯坂潤三, 日本鉱業会誌, **84**, 1077(1968).
- 10) 杉本益規, 化学工学, **32**, 196 (1968).
- 11) 杉本益規, 化学工学, **32**, 290 (1968).