粉体の化学(2)粉体圧縮をモデル化して導いた理論

KAWAKITA, Kimio / 川北, 公夫

(出版者 / Publisher)
法政大学工学部
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部研究集報
(巻 / Volume)
1
(開始ページ / Start Page)
33
(終了ページ / End Page)
35
(発行年 / Year)
1964-05
(URL)
https://doi.org/10.15002/00004291

粉 体 の 化 学

第2報　粉体圧縮をモデル化して導いた理論

教授　川 北 公 夫（基礎学科）

Chemistry of Powders

[II] Theory of Powder Compression Derived from its Model

Kimio Kawakita, *Professor*

I. 緒　　言

粉体のレオロジーはレオロジーの中でも実用価値の多い部門であるから，今まで多くの研究がなされている．しかしこれらの多くはおのおのの実用目的に応じた経験的なものであって，統一ある理論はない．それ程粉体のレオロジーは複雑な内容を含んでいるのであって，たとえば圧縮の問題を考えても，その過程は摩擦，変形，破壊などのきわめて解析の困難な要素を含んでいる．

著者はさきに粉体を圧縮した場合，見掛け容積の荷重による変化について，きわめて簡単な実験式を示して，これが多くの粉体に対してよく適用されることを報告した[1)~14)]．

$$C=(V_0-V)/V_0=abP/(1+bP) \qquad (1)$$

ここに，C はかさべり度，P は荷重，V_0 および V は加圧しないときおよび加圧したときの見掛け容積で，a および b は粉体特有の定数である．

この実験式は粉体の性質を知る上にあたかも気体における状態方程式に似た意味をもっていると思われる．したがってこの式の意味をもう少し詳細に検討することによって粉体のレオロジーに関する基礎的な知見が得られる望みがあるように思われる．

II. 粉体の圧縮過程の模型

粉体が外圧によって圧縮される過程をつぎのようにモデル化して考える．

1.　粉体層内の各点の圧力はすべて等しい．これは実際の粉体層ではしばしば問題になるところであるが，層の厚みが小さい場合や加圧にある程度時間をかけている場合などは，近似的に成立していると考えられる．

2.　粉体層内の各点の圧力は，外力と粉体に固有な内部圧の和である．この内部圧の原因は明確ではないが，たとえば粉体の凝集力或は付着力に基く場合も考えられる．また後述するように

粉体粒子の降伏値と密接な関係がある．

3. 粉体層の各断面積にかかる外圧は，各面に存在する粉体粒子の実断面積の総和によってささえられて平衡を保っている．外圧が増加すると粉体層は圧縮され，粉体層の各断面に存在する粒子数，したがって，粒子の実断面積の総和が増加し，これによってふたたび平衡が達せられる．

4. 1個の粉体粒子はその粉体に固有の降伏値だけの荷重をささえる能力がある．

5. 粉体の圧縮に際して各粒子が位置を移動し得る確率 (w) は隣接する空隙の大きさに比例する．空隙がなければ外圧がいかに大きくかかっても圧縮は起らないと考える．したがって粉体層はきわめて大きな荷重をささえ得る．粉体層がささえ得る荷重の大きさはこの w に逆比例すると考える．

III. 圧縮過程の理論的考察

上述の5つの仮定にしたがって圧縮過程を考察してみる．圧力のない場合および外圧 P がかかった場合の粉体の容積を V_0, V とする．上述1および2により粉体層各部にかかる圧力は粉体固有の内部圧を P_0 とすると，$P+P_0$ である．したがって粉体層の断面積（圧縮ピストンの底面積）を S_0 とすると各層にかかる全荷重は $(P+P_0)S_0$ となる．

各層に存在する粒子数を n，各粒子の平均断面積を s_0，粒子固有の降伏値を π とする．粉体が完全に充てんしたときの n の値すなわち n_∞ は

$$n_\infty = S_0/s_0 \tag{2}$$

となり，1個の粒子に隣接する空隙の確率 $w=\dfrac{n_\infty - n}{n_\infty}$ であるから，粉体層の各部がささえ得る荷重は II の 3, 4, 5 によって $\pi S_0 n/w$ である．

平衡状態ではこれは $(P+P_0)S_0$ に等しいから

$$(P+P_0)S_0 = \pi S_0 n \cdot n_\infty/(n_\infty - n) \tag{3}$$

となる．全粒子のそれ自体の実容積を V_∞ とすると幾何学的条件から

$$ns_0/S_0 = V_\infty/V \tag{4}$$

となる．(2), (3), (4) 式よりただちに

$$(P+P_0)(V-V_\infty) = \pi V_\infty = \text{const.} \tag{5}$$

なる関係が得られる．$P=0$ のとき $V=V_0$ であるから (5) 式は，前報においてもすでに述べたが実在粉体の状態方程式に相当する．(5) 式より

$$P_0 = \pi V_\infty/(V_0 - V_\infty) \tag{6}$$

となり，(6) 式は粉体固有の内部圧 P_0 と粉体粒子の降伏値 π との関係を示している．さらに (5) 式を変形し，(6) 式の関係を代入すると，

$$(V_0-V)/V_0=(V_0-V_\infty)/V_0\cdot\frac{\frac{1}{P_0}P}{1+\frac{1}{P_0}P} \tag{7}$$

となり，これは著者が示した実験式 (1) とまったく同じ形で，両者を比較すると

$$a=(V_0-V_\infty)/V_0 \tag{8}$$

$$b=1/P_0=(V_0-V_\infty)/\pi V_\infty \tag{9}$$

が得られる．(8), (9) 式からさらに

$$\pi=\frac{a}{b(1-a)} \tag{10}$$

なる関係が得られる．π が粉体の性質と直接どのような関係をもつかは今のところ明確でないが今後これを明らかにしたいと思う．

IV. 結　論

著者はさきに粉体圧縮した場合の見掛け容積の荷重による変化に関し，きわめて簡単な実験式を示し，これが多くの粉体に対してよく適用されることを報告した．

$$C=(V_0-V)/V_0=abP/(1+bP)$$

上式は粉体の圧縮過程の模型を考えることにより容易に理論的に導かれることを証明した．

文　献

1) 川北公夫，科学，26, No. 3 (1956), 149.
2) 川北公夫，高峰研究所年報 8 (1956), 83.
3) 川北公夫，高峰研究所年報 8 (1956), 87.
4) 川北公夫，高峰研究所年報 8 (1956), 92.
5) 川北公夫，高峰研究所年報 10 (1958), 93.
6) 川北公夫，コロイドと界面活性剤 2, No. 7 (1961) 29.
7) 川北公夫，コロイドと界面活性剤 2, No. 10 (1961) 31.
8) 後藤廉平，平井西夫，花井哲也，"レオロジーとその応用" 共立出版社刊 (1962) 256.
9) 川北公夫，粉体および粉末冶金 10, No. 2 (1963) 71.
10) 若林隆夫，粉体および粉末冶金 10, No. 3 (1963) 252.
11) 平井西夫，粉体および粉末冶金 10, No. 5 (1963) 184.
12) 川北公夫，粉体工学 (プラント工学社) 1, No. 1 (1964) 2.
13) 川北公夫，粉体および粉末冶金 10, No. 6 (1964) 236.
14) R. E. Collins, Trans. Am. Geophysical Union, 45, No. 1 (1964) 151.
15) 川北公夫，材料 13, No. 129 (1964) 421.