種々の粉体のタッピング定数および流動度に関する実験*

An Experiment Relating to the Tapping Constants and the Fluidity Using Various Powders

湯 浅 泰 伸**
Yasunobu YUASA山 城 光 雄**
Mitsuo YAMASHIRO

1. 緒 言

粉体の圧縮度は流動性に密接な関連を有し、圧縮度が大きいと流動性も悪くなり、30~50%¹⁾になると、容器から流出し難くなる。一方粉体の付着に関する研究はまだ十分でなく、供給装置においてはしばしば付着のために閉塞が起こり、装置を円滑に操作することができない

場合に遭遇する。

著者らは以前²⁾、川北の式が1種類の粉体、混合粉体および湿潤粉体に対しても適用できることを確かめると共に、タッピング定数 a と $1/b$ との関連性について考察した。

本報では流動性改善剤³⁾ ステアリン酸の各塩類やタルクを含め、種々の粉体を試料に用いて、基礎物性として

Table 1 試 料

Kind	Mass Median Diameter d (mm)
Skim milk	1.015, 0.505, 0.359, 0.254, 0.180, 0.127, 0.090, 0.069
Flour	2.605, 2.030, 1.435, 1.015, 0.715, 0.505, 0.359
Sugar (sanonto)	***
Granulated sugar (for coffee)	0.505
Starch	...
Feed (for bird)	2.030, 1.435
Bait	0.505, 0.359, 0.254
Vynychlon*	0.254, 0.180, 0.127
Toporex**	0.254, 0.180
Carborundum	0.127
Stearate magnesium	
Stearate aluminum	
Stearate calcium	
Talc	
Kanuma soil	2.030, 1.435, 1.015, 0.715, 0.505, 0.359, 0.254, 0.180, 0.090, 0.069

*Vinyl chloride.

**Trade name of styrol resin. } Mitsui Toatsu Chemicals, Inc..

***Impossible to classify.

昭和57年2月8日受付

*粉体工学会昭和56年度秋期研究発表会にて発表 (1981.11東京)

**足利工業大学(〒326 足利市大前町268-1)

TEL 0284-62-0605

重要視されている付着力⁴⁾と流動性との関係について明らかにする目的で実験的考察を行なった。

2. 実験装置および試料

前回の実験装置タップデンサ KYT-1000²⁾ (セイソク企業 KK 製) を用いた。試料として、分級可能なものは振動型ふるい振とう機で分級して粒径を決定し、分級不可能なものはそのまま、シリカゲルの入ったデンセータに入れて 24 hr 乾燥したものをそれぞれ用いた。それらを Table 1 に示す。

3. 実験方法

目盛のついている容積 200 cc のメスシリンダの上方から使用する粉体よりもやや目の粗い ‘ふるい’ を通して粗充てんし、上面を水平にすりきる。次に所定のタッピング回数 N (1~20 回) に相当する粉体の容積 (2ヶ所の平均値) を読み取り、これよりカサベリ度 $C=(V_0-V)/V_0$ を求める。 V_0 : 200 cc

流動度測定法の一つとして金属粉の流動度に関する試験方法が JIS Z 2502⁵⁾ に規定されていて、この方法では試料 50 ± 0.1 gr 全量がロートのオリフィス径 2.63 ± 0.02 mm より流出する時間を測定して流動度を決定する。本研究では、試量の量を多くしてより精密な流動度の値を得るためと、JIS Z 2502 に用いられているオリフィス径は非常に小さいので、粒径の大きな粉体も流出し得るようにオリフィス径を 13.5 mm とした。さらに、金属粉以外の粉体も使用したので、JIS Z 2502 の方法には従わず、オリフィス径 $\phi 13.5$ mm、高さ 86 mm、頂角 60° を用いた。この中に 200 cc に相当する粉体の重量を計測して入れ、全量が流出する時間を各試料について 3 回づつ測定し、それらの平均値と粉体の重量とから流動度 ϕ (gr/sec) を算出した。カサベリ度と流動度の再現性については、上述の実験方法からもわかるように、前者の再現性の方が後者よりもすぐれているのは明らかである。流動度の測定における時間のばらつきは 0.1 sec の範囲内にある。

4. 実験結果および考察

Fig. 1 (a), (b) は代表的 2 例 (パン粉・鹿沼土) について N/C と N との関係をプロットしたものである。この図より

$$\frac{N}{C} = \frac{1}{a}N + \frac{1}{ab} \quad \dots\dots(1)$$

のような直線関係が得られ、これより勾配 $1/a$ と切片 $1/ab$ を求め、 a (圧縮度に関係する定数) と $1/b$ (付着力⁶⁾に関係する定数) と全試料 (総数 $n=43$) の a お

(a) Flour

(b) Kanuma soil

Fig. 1 Relationship between N/C and N

よび $1/b$ の平均値 $\bar{a}$, $\bar{1/b}$ および変動係数 v_a , $v_{1/b}$ を計算し、これらと流動度 ϕ との関係を各種粉体毎に Table 2 : 総括して示す。以下 a の値の範囲を 3 段階に区分して平均値 $\bar{a}=0.20$, $\bar{1/b}=3.63$ と比較しながら考察を進める。

Table 2 Relationship between tapping constants of powder solids a and $1/b$ and fluidity ϕ

Kind	Mass Median Diameter $d(\text{mm})$	a	$1/b$	Fluidity $\phi(\text{g/s})$
Skim milk	1.015	0.03	4.11	8
	0.505	0.12	1.49	10
	0.359	0.16	2.44	13
	0.254	0.26	5.22	0
	0.180	0.25	7.25	0
	0.127	0.25	7.25	0
	0.090	0.29	6.29	0
	0.069	0.34	8.12	0
Flour	2.605	0.06	1.13	0
	2.030	0.16	2.22	0
	1.435	0.12	2.45	0
	1.015	0.14	2.11	0
	0.715	0.05	1.68	4
	0.505	0.09	1.48	7
	0.359	0.15	0.88	11
Sugar (Sanonto)	...	0.40	2.80	0
Granulated sugar (for coffee)	0.505	0.06	3.61	31
Starch	...	0.29	5.22	0
Feed (for bird)	2.030	0.05	1.65	21
	1.435	0.02	1.22	24
Bait	0.505	0.45	5.61	0
	0.359	0.45	4.50	0
	0.254	0.46	4.61	0
Vinychlon	0.254	0.11	2.35	19
	0.180	0.10	1.53	18
	0.127	0.16	2.03	17
Toporex	0.254	0.05	2.60	29
	0.180	0.06	1.67	25
Carborundum	0.127	0.13	2.30	39
Stearate magnesium	...	0.24	6.59	0
Stearate aluminum	...	0.35	6.90	0
Stearate calcium	...	0.37	6.30	0

Table 2 つづき

talc	...	0.39	6.08	0
Kanuma soil	2.030	0.10	1.96	7
	1.435	0.12	1.98	11
	1.015	0.06	2.39	16
	0.715	0.07	4.39	13
	0.505	0.09	2.15	11
	0.359	0.17	1.38	12
	0.254	0.15	1.79	12
	0.180	0.31	4.60	6*
	0.090	0.39	6.15	0
	0.069	0.32	7.42	0
$n=43$ $\bar{a}=0.20$ $v_a=0.68$ $(1/\bar{b})=3.63$ $v_{1/b}=0.60$				

*Irregular flow

4.1 $0.30 \leq a < 0.50$ (すなわち a が大きい) の場合

① 脱脂粉乳 (0.069 mm)・スリエ (各種 粒径をもち、魚の餌に利用される)・ステアリン酸のアルミニウムおよびカルシウム塩・タルク・鹿沼土 (0.090, 0.069 mm) などは、 a も $1/b$ も共に大きいため、ロート出口にブリッジを形成し流動しない。

② 三温糖 $1/b$ はやや小さいが、 a がかなり大きいので流動しない。

③ 鹿沼土 (0.180 mm) は $1/b$ が大きく不規則流動する。この場合にはオリフィスより定常流出せず、オリフィス上方で粒子同士が押合ってアーチ構造を形成し、これが排出を妨げる静的アーチとなるために、粒子の円滑な流出が困難となり、流動度 ϕ の値はばらつき、再現性は得難い。

4.2 $0.10 \leq a < 0.30$ (a が中間の値) の場合

① 脱脂粉乳 (0.254, 0.180, 0.090 mm)・殿粉・ステアリン酸マグネシウムは $1/b$ も大きいため流動しない。

② パン粉 (2.030, 1.435, 1.015 mm) は a も $1/b$ も小さいが、粒子同士がからみ合うため流動しない。

③ 脱脂粉乳 (0.505, 0.359 mm)・パン粉 (0.359 mm)・ビニクロン (0.254, 0.180, 0.127 mm) はいずれも a も $1/b$ も小さいので流動度が大きい。

④ カーボランダム (0.127 mm) は比重が大きく、かつ a も $1/b$ も小さいので流動度が大きい。

4.3 $0 \leq a < 0.10$ (a が小さい) 場合

① パン粉 (2.605 mm) は $1/b$ は小さいが、粒径が大きい上粒子同士がからみ合い流動しない。

② ムキ餌 (小鳥用, 2.030, 1.435 mm) は a も $1/b$ も非常に小さいので、流動度も非常に大きい。

③ トーポレックス (ϕ 0.254, ϕ 0.180 mm) は a も $1/b$ も共に非常に小さく、かつ球形粒子なので滑りやすく、またグラニュー糖 (0.505 mm) は $1/b$ がやや小さいが、見掛上さらさらしているので流動度が大きい。

④ 脱脂粉乳 (1.015 mm)・鹿沼土 (0.715 mm) は $1/b$ は大きい、 a が非常に小さいため流動度大であり、鹿沼土 (0.505 mm) は a も $1/b$ も小さいので、流動度は大きい、パン粉 (0.715 mm) は $1/b$ が小さいが、粒子がからみ合うため流動度が小さい。

4.4 a が同種で ϕ が異なる場合① $a=0.16$ のとき

脱脂粉乳 (0.359 mm)・パン粉 (2.030 mm)・ビニクロン (0.127 mm) の中、パン粉が流動しないのは粒子比重が小さく、形状が不規則でギザギザがあるため、粒子が互いにからみ合い、オリフィス上に静的アーチを形成するためである。

② $a=0.12$ のとき

脱脂粉乳 (0.505 mm)・パン粉 (1.435 mm)・鹿沼土 (1.435 mm) の中、パン粉が流動しないのも同様の理由による。

③ $a=0.06$ のとき

パン粉 (2.605 mm)・グラニュー糖 (0.505 mm)・トーポレックス ($\phi 0.180$ mm)・鹿沼土 (1.015 mm) の中、パン粉のみ流動しないのは、①と同様な理由によるほかに粒径が大きいことも影響している。また、鹿沼土の ϕ がグラニュー糖やトーポレックスに比べてかなり小さいのは、粒子表面の性質が滑らかでないことによる。

④ $a=0.05$ のとき

パン粉 (0.715 mm) がムキ餌 (2.030 mm) およびトーポレックス ($\phi 0.254$ mm) と比較して ϕ がかなり小さいのは①に述べたのと同じ理由である。

なお上記のほかに a が同値で ϕ が類似した傾向を示

す場合もある。

5. 結 言

上記のように各種粉体を用いて川北の式のタッピング定数および流動度に関する実験を行なった結果より、タッピング定数 a を3段階の範囲に分けて考察を展開した。今後さらにせん断試験測定により得られる付着力の値も調べて、本報のデータとの比較を行なう予定である。

(謝辞)

本研究において有益な御助言を戴いた川北技研会長川北公夫博士に厚く感謝する。

引 用 文 献

- 1) 川北公夫: '粉粒体のトラブル対策', 日刊工業, 64(1980)
- 2) 山城光雄, 湯浅泰伸: 第18回粉体に関する討論会講演要旨集, 131 (1980—11—29)
- 3) 三輪茂雄: '粉粒体工学', 朝倉書店, p. 273 (1972)
- 4) 寺下敬次郎: 粉体工学会誌, 19, 6, 429 (1981)
- 5) 日本規格協会: JIS Z 2502 (1966)
- 6) 荒川正文: 材料, 30, 336, 28 (1981)

科学と実用の間の技術 (工学)

Technik Zwischen Wissenschaft und Praxis

カールスルーエ大学の故ルンプ教授は西ドイツのみならずヨーロッパさらには世界における粉体工学の偉大なパイオニアとして、世界最大の研究室を指導して、まさに君臨しておられたが、1976年心臓の手術後急逝された。同教授は単なる研究者としてのみならず学長として、また西ドイツ学長会議議長等として教育研究行政面にも腕を振るわれた。そして折にふれて講演された内容は工学の哲学的考察に及び、その深い洞察は聞く者に感銘を与えたようである。標題の本は教授の死後、同僚の H.Lenk, S.Moser 両教授と愛弟子の K.Schönert 教授

によって編集され、VDI 社から1982年に出版された研究報告以外の故教授の随筆集ともいふべき遺稿である。原文は独語であるため気神によむわけにはいかないが、全510頁、若干の図表は含むが、数式はなく、発表論文リスト、略歴を入れて21章から成立っている。全体として技術を中心として科学あるいは文化そして大学との関係について論じている論説が多いが、システム技術あるいは機械的単位操作そして技術的發展についての数編も含まれている。(K.I.)