粉粒体の凝集性 (第 2 報¹⁾) 粒径の影響²⁾

福沢 寿, 木村真太郎

東邦大学薬学部³⁾

Cohesion of Particulate Solids. II.¹⁾ Influence of Particle Size²⁾

HISASHI FUKUZAWA and SHINTARO KIMURA

Faculty of Pharmacy, Toho University³⁾

(Received June 2, 1972)

Influence of particle size on apparent cohesiveness (α_c) and cohesive force per particle (f_c) at the loosest packing state of the powder beds was investigated. Experiments utilizing the method reported in the previous paper were made under about 50% R.H. with five different samples. The values of α_c decrease with increase of particle size (D_p) and f_c increase with D_p . Unexpected large cohesive forces were observed in large particles. To elucidate these facts, simple model of leaning between particles at the surface of a powder bed were assumed, and unit leaning force Lu was derived as $Lu = w/2$, where w is the mean weight of a particle. If f_L is the cohesive force due to leaning between particles, the leaning efficiency (P) is defined as $f_L = k \cdot P \cdot Lu$, where k is the number of contact points. In large particles, the values of f_L is considered to be the same as f_c since the cohesive force due to adhesion between particles (f_A) will be negligible. From these relations, the value of about 0.11 for P was estimated experimentally. Leaning probability (p) is represented by $P = \sum_{r=1}^m p^r$, and from this equation, it becomes clear that p takes the value of from 0.11 to 0.10 when the values of P and m take the values of 0.11 and 1 to infinite.

The cohesive force of adhesive type (f_A) was calculated from $f_A = f_c - f_L$, and particle size dependency of f_A was discussed.

粉粒体の多くの特性が粒径によって変化することはよく知られている。⁴⁻⁸⁾ しかしながら、それらの特性の内の多くは粒径にともなって変化する付着・凝集性に起因する 2 次的なものと考えられる。

そこでまず粒径と付着・凝集性との関係を把握する必要が生じてくる。

神保^{9,10)} は粒径と付着・凝集性に関する多くの文献から得た測定方法および表現方法のそれぞれ異なるデータを整理して粒子 1 個当りの力として表現し直し、それらの値と粒径との関係をプロットして比較、検討した。

その結果、測定方法によっては粒径に伴って付着・凝集性が増大する場合と変化しないで表われる場合のあることおよび遠心法による付着力は破断試験法などによる凝集力に比較して数けた大きな値であることなど、きわめて興味ある結果を示している。

1) 第 1 報: 福沢 寿, 木村真太郎, 薬誌, 92, 42 (1972).

2) 日本薬学会第 90 年会で発表, 札幌, 1970 年 7 月.

3) Location: 542-Miyamacho, Funabashi-shi, Chiba.

4) N. Kaneniwa, A. Ikekawa, H. Aoki, *Chem. Pharm. Bull.* (Tokyo), 15, 1441 (1967); N. Kaneniwa, A. Ikekawa, *Chem. Pharm. Bull.* (Tokyo), 16, 1433 (1968); A. Ikekawa, H. Aoki, K. Masukawa, N. Kaneniwa, *Chem. Pharm. Bull.* (Tokyo), 15, 1626 (1967).

5) T.M. Jones, N. Pilpel, *J. Pharm. Pharmacol.*, 17, 440 (1965); *idem, ibid.*, 18, Suppl., 182S (1966); *idem, ibid.*, 18, 81 (1966).

6) 荒川正文, 材料, 16, 319 (1967).

7) 田中達夫, 川合清一, 化学工学, 20, 144 (1956).

8) J.A. Hersey, G. Bayraktar, E. Shotton, *J. Pharm. Pharmacol.*, 19, Suppl., 24S (1967).

9) 神保元二, 材料, 16, 291 (1967).

10) 神保元二, 浅川貞雄, 粉体工学研究会誌, 臨時号, 6 (1966).

凝集力の測定方法はこれまでに2, 3考案¹¹⁻¹⁴⁾されているが, いずれも間接的な方法であり, 精度の点で多少疑問がある。

著者らはそ充てん状態の粉粒体の凝集性および凝集力を精度よく測定する目的で, ゆるく堆積した粉粒体層表面で行なう一種の破断試験を考案し, 先に報告¹⁾した。

本報においては, 著者らの方法を用いて測定したそ充てん状態の粉粒体の見掛凝集性および見掛凝集性から算出した凝集力と粒径との関係について報告する。

実 験 の 部

試 料 局方の乳糖, ホウ砂, 炭酸水素ナトリウム, 東芝製のガラスビーズ, 粉碎ガラス, メルク社(西独)製のシリカゲルおよび洗浄した天然の川砂を用いた。

JIS 規格標準ふるいを用いて分級した各試料の各フラクションの顕微鏡法による等方向径を Table I に, 最もそ充てん空隙率を Table II に, Howitt¹⁵⁾の方法を用いて測定した粒子1個の平均重量を Table III に示す。

体積形状係数は(1)式によって定義されるが, Table III に示した粒子1個の平均重量と比重とから平均体積を求め, (1)式によって算出した体積形状係数を Table IV に示す。

$$v = \phi_v \cdot D_v^3 \quad (1)$$

$$\text{ただし } D_v = (\sum f_n D^3 / \sum f_n)^{1/3}$$

ここで v は粒子1個の平均体積, ϕ_v は体積形状係数(球の場合 $\phi_v = \pi/6 \approx 0.52$ となる), D_v は体積平均径, f_n は個数頻度, D は平均粒子径であるが, この場合, Table I に示した等方向径を用いて算出した。

実験方法 先に報告¹⁾した方法に従って見掛凝集性(α_c)を求めた。すなわち, 粘着剤として局方白色ワセリンを塗布した 0.24 cm^2 の円板に 0.4 g/cm^2 の荷重を加えて, そ充てん試料層表面に水平に保ちつつ接触させる。円板の粘着剤に層表面の粒子を粘着させてから, 円板を引き上げるのに必要な力(F_t)をトーションバランスを用いて測定した。

円板に粘着した n 個の粒子の総重量を W とすれば, 見掛凝集性(α_c)は(2)式によって定義される。

$$\alpha_c = F/W \quad (2)$$

ただし, $F = F_t - W$, である。

粒子1個当りの平均重量を $\bar{w}$ とすれば, 粘着された粒子数(n)は, $W = n\bar{w}$, の関係から Table III に示した値を代入して求めることができ, したがって, $fc = F/n$, で定義されるところの粒子1個当りの凝集力(fc)を求めることができる。

TABLE I. Feret's Diameter (μ) of the Powder Particles

Mesh number of the classifying screens	G.P. ^{a)}	G.B. ^{b)}	Silica gel	Borax	Sodium bicarbonate	Lactose	Sand
20—28	—	—	—	—	—	—	911.9
28—36	697.1	—	—	674.7	—	—	680.9
36—48	565.5	—	—	473.3	—	—	482.3
48—70	434.7	—	—	348.7	—	328.9	343.2
70—100	254.7	—	195.5	187.7	213.7	219.9	237.5
100—145	159.6	—	135.3	135.9	163.3	144.9	148.4
145—170	127.6	—	107.1	100.4	119.6	111.9	—
170—200	112.4	—	88.0	—	94.9	93.7	—
200—250	92.5	68.2	75.5	—	91.5	76.6	—
250—270	—	58.8	68.2	—	86.1	—	—
270—325	75.5	51.6	55.1	—	67.4	57.5	—

a) glass powder

b) glass beads

11) M.D. Ashton, R. Farley, F.H.H. Valentin, *J. Sci. Instrum.*, **41**, 763 (1964).

12) T.M. Lowes, M.G. Perry, *Rheologica Acta*, **4**, 166 (1965).

13) 篠原邦夫, 粉体工学研究会誌, 臨時号, 42 (1966).

14) 中島裕夫, 後藤圭司, 田中達夫, 化学工学, **30**, 946 (1966).

15) D. Howitt, *Nature*, **187**, 401 (1960).

TABLE II. Porosity of the Powder Beds

Mesh number of the classifying screens	G.P. ^{a)}	G.B. ^{b)}	Silica gel	Borax	Sodium bicarbonate	Lactose	Sand
20—28	—	—	—	—	—	—	0.43
28—36	0.38	—	—	0.39	—	—	0.44
36—48	0.39	—	—	0.39	—	—	0.43
48—70	0.39	—	—	0.35	—	0.28	0.42
70—100	0.37	—	0.80	0.33	0.50	0.30	0.42
100—145	0.37	—	0.81	0.36	0.49	0.31	0.41
145—170	0.42	—	0.82	0.43	0.48	0.34	—
170—200	0.43	—	0.82	0.46	0.51	0.36	—
200—250	0.47	0.34	0.83	—	0.49	0.39	—
250—270	—	0.35	0.79	—	0.48	—	—
270—325	0.51	0.35	0.81	—	0.52	0.45	—

a) glass powder

b) glass beads

TABLE III. Mean Weight (mg) of One Particle Obtained by Howitt's¹⁵⁾ Method

Mesh number of the classifying screens	G.P. ^{a)}	G.B. ^{b)}	Silica gel	Borax	Sodium bicarbonate	Lactose	Sand
20—28	—	—	—	—	—	—	4.94×10^{-1}
28—36	1.08×10^{-1}	—	—	1.11×10^{-1}	—	—	2.04×10^{-1}
36—48	5.26×10^{-2}	—	—	3.71×10^{-2}	—	—	9.01×10^{-2}
48—70	2.51×10^{-2}	—	—	1.63×10^{-3}	—	1.20×10^{-2}	2.43×10^{-2}
70—100	7.93×10^{-3}	—	2.66×10^{-3}	5.25×10^{-3}	4.33×10^{-3}	4.37×10^{-3}	1.37×10^{-2}
100—145	2.53×10^{-3}	—	9.31×10^{-4}	1.85×10^{-3}	1.84×10^{-3}	1.61×10^{-3}	3.48×10^{-3}
145—170	1.10×10^{-3}	—	4.52×10^{-4}	8.09×10^{-4}	1.09×10^{-3}	7.53×10^{-4}	—
170—200	6.06×10^{-4}	—	2.42×10^{-4}	—	6.19×10^{-4}	5.02×10^{-4}	—
200—250	3.20×10^{-4}	4.27×10^{-4}	1.52×10^{-4}	—	4.37×10^{-4}	2.57×10^{-4}	—
250—270	—	2.69×10^{-4}	1.39×10^{-4}	—	2.96×10^{-4}	—	—
270—325	1.49×10^{-4}	1.82×10^{-4}	6.35×10^{-5}	—	1.69×10^{-4}	1.09×10^{-4}	—

a) glass powder

b) glass beads

TABLE IV. Volume Shape Factor of the Powder Particles

Mesh number of the classifying screens	G.P. ^{a)}	G.B. ^{b)}	Silica gel	Borax	Sodium bicarbonate	Lactose	Sand
20—28	—	—	—	—	—	—	0.23
28—36	0.11	—	—	0.18	—	—	0.13
36—48	0.10	—	—	0.18	—	—	0.23
48—70	0.10	—	—	0.19	—	0.20	0.19
70—100	0.18	—	0.08	0.47	0.14	0.22	0.33
100—145	0.20	—	0.08	0.32	0.14	0.29	0.41
145—170	0.19	—	0.08	0.38	0.22	0.28	—
170—200	0.15	—	0.08	—	0.25	0.28	—
200—250	0.10	0.52	0.08	—	0.20	0.31	—
250—270	—	0.51	0.10	—	0.15	—	—
270—325	0.10	0.52	0.08	—	0.17	0.26	—

a) glass powder

b) glass beads

試料はあらかじめ良く乾燥し、相対湿度 50% に保った電気恒温恒湿室に 24 時間放置後、相対湿度 47—55% に保った環境に取り出し、1 つの試料について 50 回の測定を行なって F , α_c および f_c の平均値を求めた。

結 果

見掛凝集性 (α_c) と粒径 (D_p) との関係を Fig. 1 に示す。

図のように見掛凝集性 (α_c) は、炭酸水素ナトリウムが最大で、ホウ砂、粉碎ガラス、乳糖、砂、シリカゲルの順に小さくなっている。またいずれも粒子径が小さくなると α_c が急激に大きくなることは明らかである。

一般に、自由流動性粒子でも粒径が小さくなると非流動性となり、凝集性あるいは粘着性を無視し得なくなってくる。

植松¹⁶⁾ は、粘着性を無視し得る粒子集合体を粒体、無視し得ない粒子集合体を粉体と呼んで区別した。

粒径を小さくして行くと、ある粒径にいたって物性値が急激に変化するが、その臨界の粒径は植松¹⁶⁾ らの区別による粉体と粒体との境界を示すと思われるので、金庭¹⁷⁾ らはこれを臨界粒径と名づけ、多くの文献を整理した結果から推論し、臨界粒径値はほぼ 100—200 μ と数 μ の二カ所にあると述べている。

一方神保⁹⁾ は、自重 (w) と付着力 (f) との比 (α) によって見掛付着性を定義し、 $\alpha=1$ のときの粒径を付着限界粒径と名づけ、付着力の大きさの表現方法として提案している。

前報¹⁾ において著者らの定義した見掛凝集性 (α_c) は自重と凝集力との比である。したがって、 $\alpha_c=1$ のときの粒径を凝集限界粒径と名づけることができ、やはり凝集力の大きさの表現方法として提案することができる。

Fig. 1 において、 $\alpha_c=1$ であるところの粒径はこのような定義による凝集限界粒径であり、最少のシリカゲルは約 50 μ 、最大の粉碎ガラスは約 300 μ であるなど粒子の種類によってかなりの差が見られる。

凝集限界粒径が、ある種の物性値の著しく変化する点、すなわち臨界粒径と一致するかどうか疑問であるが、相当密接な関係にあるものと考えられる。

次に粒子 1 個当りの平均凝集力 (f_c) と粒径との関係を Fig. 2 に示す。

Fig. 1. Effect of Particle Size (D_p) on Apparent Cohesiveness (α_c)

△: G.P. ×: silica gel
□: borax ▼: sod. bicarb.
●: lactose ●: sand

Fig. 2. Effect of Particle Size (D_p) on Cohesive Force (f_c)

△: G.P. ×: silica gel
□: borax ▼: sod. bicarb.
●: lactose ●: sand

16) 植松時雄, 機械学会誌, 56, 53 (1953).

17) 金庭延慶, 粉体工学研究会誌, 7, 187 (1970); 池川昭子, 金庭延慶, 材料, 16, 314 (1967).

両対数プロットで両者間に図のような曲線関係が認められるが、見掛凝集性 (α_0) の場合と異なり、粒径が大きくなるにしたがって凝集力が増大することを示している。また粒径が大きくなるにつれ試料の種類による差は小さく、粒径が小さくなるにしたがい差が顕著になる傾向を示している。

ガラスビーズの凝集力はきわめて小さく、著者らの方法では凝集力を確認できなかった。

Fig. 2 に示した値は粒子 1 個当りの平均凝集力であるから、神保⁹⁾ の整理した値と比較ができる。Fig. 3 は著者らの測定値をそれらの値と比較した図である。

著者らの凝集力は遠心法による付着力と比較して約 2 けた小さく、神保⁹⁾ の整理した野上¹⁸⁾ の流動層法による凝集力に近いことを示している。

流動層法と著者らの方法とは全く測定方法を異とするが、ともに最そ充てん状態の粒子間凝集力であることがよく近似した原因と思われる。

遠心法による付着力と凝集力との差は、主として引張応力の方向の違いおよび接触面の粗度の違いによると考えられる。すなわち、遠心法の場合、引張応力の方向は接触面に対し垂直であり、また比較的なめらかな面に対する付着であるのに対し、凝集力の場合はそうではない。Cremer¹⁹⁾ らの傾斜板法との一致については、測定方法が原理的に異なるために明らかではない。

考 察

著者らの方法によって測定される凝集力は先に報告⁹⁾ したように 4 種の力すなわち、付着タイプ (adhesive type, f_A)、寄り掛けタイプ (leaning type, f_L)、からみ合いタイプ (entanglemental type, f_E)、および磨損力タイプ (defacing type, f_D) の力の合計であると考え、 $f_c = f_A + f_L + f_E + f_D$ で表わした。しかしながら f_D は密充てんの場合に顕著に現われ、また f_E は繊維などのように著しく細長く、柔軟な物質の場合に顕著であると思われるが、本報に用いられたような粒子および充てん状態では f_D , f_E ともに無視できると考え、 f_c は (3) 式のごとく表わせるものとする。

$$f_c = f_A + f_L \quad (3)$$

Fig. 4 に f_L の大きさを推定するために、寄り掛け力の生ずる機構を模型的に示した。

図中、粒子 I は粒子 II に寄り掛けており、I, II 粒子の接触点を A とする。粒子 I と他の粒子 IV との接触点を B、粒子 I の重心を C とし、粒子の向きを変化しないで粒子 II を垂直に持ち上げるならば、点 A, B, C 間にてこの原理が成立し、BC 間の距離を a 、AB 間の距離を b 、点 C に加わる力を P とすれば、点 A を持ち上げるのに必要な力 L は、粒子 II の自重を考えなければ、 $L = aP/b$ で示される。

粉粒体において、距離 a , b は粒子径、粒子形態、粒子の方向、接触点の位置によってすべて異なるが、多くの粒子の場合を平均すれば、 b は等方向径によって、また a は等方向径の $1/2$ によってそれぞれ代表されると思われる。そこで、 $b = D_p$, $a = D_p/2$ とおき、さらに C 点に加わる力として粒子 1 個の平均重量 $\bar{w}$ を適用して L を計算すると (4) 式が得られる。

$$L = \bar{w}/2 \quad (4)$$

Fig. 4 において、粒子 II の方向が変化せず、粒子 I の方向が変化して引張り上げられる場合の抵抗力も同じく (4) 式で示される。

Fig. 3. Comparison of Cohesive Force per One-Particle Measured by Various Methods additionally Plotted on Jimbo's Figure⁹⁾

●: author's method □: centrifugal method
▽: inclined plate method △: fluidized bed method

18) 野上 寿, 仲井由宣, 杉原正泰, 薬剤学, 24, 103 (1964).

19) E. Cremer, F. Conrad, *Th. Kraus. Angew. Chem.*, 64, 10 (1962).

Fig. 4. Schematic Representation for Occurrence of the Leaning Force between Particles on the Surface of the Powder Bed

The particle I and III lean to particle II. The force (f_L) need to pull out the particle II is given as $f_L = kL$, where k is the number of contact points and L is the force need to lift the contact point such as point A, and given as $L = ap/b$. Assuming that $a = D_p/2$, $b = D_p$ and $p = w$, the value L is obtained as $L = w/2$, where D_p is mean Feret's diameter of particles and w is mean weight of one particle. This value is named unit leaning force (L_u).

Fig. 5. Relation between Unit Leaning Force (L_u) and Particle Size (D_p)

△: G.P. ×: silica gel
□: Borax ▼: sod. bicarb.
●: lactose ○: sand

このような平均的な寄り掛り関係 1 つによって生ずる抵抗力を単位寄り掛り力 (L_u) と呼び、以後実際の寄り掛りタイプの力の大きさの基準とする。

Table III に示した $\bar{w}$ の値から計算された L_u と粒子径との関係を Fig. 5 に示す。

単位寄り掛り力 (L_u) は自重のみがファクターであるから図のように直線的で、しかも粒子の種類による差は少ない。

粉粒体層において、粒子を層表面から分離する場合の抵抗力が寄り掛りタイプの力のみによると考えるならば、粒子 1 個当りの受ける抵抗力 (f_L) は、すべての接触点で単位寄り掛り力が働いているならば、 $f_L = kL_u$ で表わされる。ただし k は 1 粒子当りの接触点数である。

TABLE V. Number of Contact Points

Mesh number of the classifying screen	G.P. ^{a)}	G.B. ^{b)}	Silica gel	Borax	Sodium bicarbonate	Lactose	Sand
20—28	—	—	—	—	—	—	7.3
28—36	8.2	—	—	8.2	—	—	7.2
36—48	8.2	—	—	8.2	—	—	7.2
48—70	8.0	—	—	9.1	—	11.3	7.5
70—100	8.4	—	2.5	9.4	6.2	10.5	7.6
100—145	8.4	—	2.4	8.6	6.3	9.9	7.6
145—170	7.6	—	2.2	7.3	6.4	9.1	—
170—200	7.2	—	2.2	6.9	6.1	8.6	—
200—250	6.7	9.1	2.2	—	6.3	8.0	—
250—270	—	9.0	2.6	—	6.4	—	—
270—325	6.1	9.0	2.4	—	5.8	7.0	—

a) glass powder

b) glass beads

しかしながら、全接点の内実際に寄り掛りを生ずる確率はわずかであろう。そこでこの確率を寄り掛り確率と呼び p と置けば、1 個の粒子に対して確率 p で他の粒子が寄り掛っている場合の f_L は、 $f_L = kpL_u$ で表わされる。

前報¹⁾において指摘したように、寄り掛った粒子がさらに他の粒子によって同じく確率 p で寄り掛られているならば、 $f = kpL_u + kp^2L_u$ となり、このような関係が m 回続くならば、 f_L は (5) 式のごとく表わされる。

$$f_L = kPL_u \quad (5)$$

$$\text{ただし、} P = \sum_{r=1}^m p^r$$

ここで m は、 $m \geq 1$, なる整数である。

Ridgway ら²⁰⁾ は粒子が球の場合について、空隙率 (ε) と接点数 (k) との関係を表わす (6) 式を実験的に導いた。

$$\varepsilon = 1.072 - 0.1193k + 0.00431k^2 \quad (6)$$

一般の粒子に対して適用できる式が他に見当たらないのでやむをえず (6) 式を用い、Table II に示した ε の値より計算した最そ充てん状態の接点数 (k) の値を Table V に示す。

付着タイプの力の無視できるような粒子すなわち粒体の凝集力は、 $f_A = 0$ と置いて (4) 式より、 $f_c = f_L$ と表わされる。

本実験に用いられた最大の粒子 (912 μ の砂) に付き、 f_c は 0.25 dyne, 一方 L_u は約 0.3 dyne であり、 $f_A = 0$ と見なして Table V に示した k とともに (5) 式に代入し、 $P = 0.11$ を得た。

この P は (5) 式に示されるように単位寄り掛り力 (L_u) を基準とした実際の寄り掛りタイプの力の強さを示す係数であるから、これを寄り掛り係数 (leaning efficiency) と呼ぶことにする。

(5) 式において m の値は不明であるが、 $P = 0.11$ を代入し、 $m = 1$ および $m = \infty$ のときの p の値を求めると $p = 0.11$ および 0.10 が得られる。このことから p は 0.11—0.10 の範囲の値であるといえる。

この値は 1 粒子の全接点の内、平均約 10—11% が寄り掛りを生じていることを示している。ただしこの値は粒子の形態および充てん状態により変化し、その結果寄り掛り係数もまた変化すると思われる。

本実験に用いられた粒子につき、形態および充てん状態に大きな差がないものと見なし、一律に $P = 0.11$ を適用し、(5) 式より得られた f_L と粒子径との関係を実測の f_c とともに 1 接点当りの力として Fig. 6 に示した。

すべての試料について f_L は f_c の漸近線のようになっており、常に $f_c \geq f_L$ となっている。 f_L, f_c はともにゼロまたは正の値であるから、当然、 $f_A + f_L \geq f_L$ であり、(3) 式で示される f_c に、 $f_c \geq f_L$ なる関係が成立することは明らかであり、Fig. 6 はこれと矛盾しない。

$P = 0.11$ が全粒子に適用できるならば、付着力に起因する凝集力 (f_A) は (3) 式より明らかなように f_c と f_L との差として示される。

Fig. 7 に以上のような仮定に基づいて計算された f_A/k と粒径との関係を示す。

粒径が大きくなるとともに凝集力が増大することは f_L の場合 (Fig. 6) と同様で、この傾向はスプリング・バランス法を用いて付着力を測定した Corn²¹⁾ の結果と一致する。しかしながら f_L の場合とは異なり、粒子の種類による差は大きい。

次に全凝集力に対する f_A の割合を知る目的で、 f_c に対する f_A の百分率を粒径に対してプロットして Fig. 8

Fig. 6. Comparison between Calculated Leaning Force per One Contact Point (f_L/k) and Experimental Cohesive Force Per One Contact Point (f_c/k)

—○—: f_L/k , —●—: f_c/k

20) K. Ridgway, K.J. Tarbuck, *Brit. Chem. Eng.*, **12**, 384 (1967).

21) M. Corn, *J. Air. Poll. Cont. Assoc.*, **11**, 528 (1961).

Fig. 7. Effect of Particle Size (D_P) on Calculated Cohesion of Adhesive Type Per One Contact Point (f_A/k)

△: G.P. ×: silica gel
□: Borax ▼: sod. bicarb.
●: lactose ●: sand

Fig. 8. Influence of Particle Size (D_P) on Rate of Calculated Cohesion of Adhesive Type (f_A) to Total Experimental Cohesion (f_c)

△: G.P. ×: silica gel
□: Borax ▼: sod. bicarb.
●: lactose ●: sand

を得た、

粒径が小さくなるほど f_c に対する f_A の割合は大きくなり、付着タイプの凝集力が支配的であることを示す。特に 50μ 以下の粒子の凝集力は、ほぼ 100% 付着タイプの力によるものであり、逆に 1000μ 以上の粒子の凝集力はほとんど寄り掛けタイプの力によるものであるといえる。

ところで寄り掛けタイプの力は (4) 式で示したように単位寄り掛け力 (L_u) の関数として表わされ、前述のように粒子の種類による差は少なかった。Fig. 2 において、粒径が大きくなるにしたがって粒子の種類による f_c の差が少なくなることを指摘したが、このような傾向は上述の理由により説明される。

寄り掛けタイプの力はこれまで凝集力の一部として全く考慮されていなかったが、前報¹⁾ においてその存在が示唆され、本報においてその大きさが示された。

このタイプの凝集力は存外大きく、特に粒体の特性を論ずる場合にその影響力は無視し得ないと思われる。

謝辞 本研究にあたり御指導賜りました千葉大学教授 仲井由宣博士に厚く感謝致します。