



粘性流体中の非等方性粒子の沈降断面積

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2012-11-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 徳永, 好治, 清水, 清 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00001376

粘性流体中の非等方性粒子の沈降断面積

徳 永 好 治 ・ 清 水 清

北海道教育大学函館分校物理学教室

On the Cross Sectional Area of Irregularly Shaped Particles
Falling in a Viscous Medium

Yoshiharu TOKUNAGA and Kiyoshi SHIMIDZU

Department of Physics, Hokkaido University of Education, Hakodate

Abstract

In order to estimate the possible errors of sizes caused by deviations of nonspherical particle shapes from the spherical particle shape according to Stokes' law, a model study was made using crushed glass particles. The diameter d_n of the circle that has the same projected area as the particle falling in a viscous medium was determined microscopically by means of the most commonly used sedimentation technique for determining particle size distribution.

It was found that the nonspherical shapes fell more slowly than the sphere of the same projected area. The mean surface diameter \bar{d}_n was larger than that estimated from their rate of fall by means of Stokes' law, and also the standard deviation for the diameter \bar{d}_n was less than that for the Heywood's diameter \bar{d}_h . Most of the errors thus found in this study exceeded 30 percent.

§ 1. 序

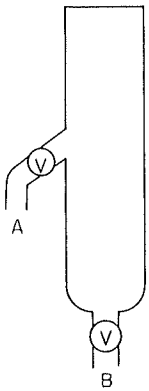
粉体の諸性質の基本となるのは、その大きさと形状である。測定しうる粒子径の範囲によって種々の測定法があり、また、粒子径の物理的意味が、その測定法によって異なるばかりでなく、測定条件によっても粒子径は異なって現われる。したがって、取り扱う現象を解析する目的に応じて、測定法、測定範囲および測定条件等を明確にしなければならない。

さきに、筆者ら¹⁾は微粉体の粒子径を沈降分析法によって測定するとき、試料の分散濃度の増加に伴い、ストークス径が減少することを報告した。また同じ分散濃度であっても試料の種類、形状の相違によって、同じストークス径に対する試料の実体積や比表面積が著しく異なるが、その間には一定の関係があることを指摘した²⁾。

本報では、一斉沈降法で沈降させた場合の沈降終端速度領域における粒子の沈降断面積の円相当径とストークス径の関係について考察する。

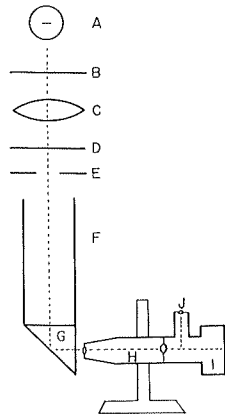
§ 2. 実験法および粒径の定義

2・1 試料の調整 標準試料として硝子球を、比較試料として粉碎硝子を用いた。



A. Suspension outlet.
B. Sample inlet.
V. Valve.

Fig. 1. Schematic diagram of the elutriation tube for fractionating particles.



A. Line source of light.
B. Heat filter.
C. Condensing lens.
D. Filter.
E. Fixed slit.
F. Sedimentation vessel.
G. Rectangular prism.
H. Optical system of a microscope.
I. Camera box.
J. Ocular lens.

Fig. 2. Schematic diagram of the apparatus for observing the cross sectional area of particles settling under gravity.

試料の調整には、内径が約5種、高さ約30種の
 窺別管⁸⁾を用いた。粒子径が同じ程度の標準硝子
 球と粉碎硝子を混合して窺別管に装入してから、
 グリセリン水溶液を一定速度で流通した。排液中
 に試料が含まれていなくなった後、流通液の速度
 を僅かに増加させると、そのときの流出液中に含
 まれる粒子は同じストークス平均径を有すること
 になる。流出液中で沈積した粒子の粒度分布の範
 囲をさらに小さくするために、Fig. 1 の沈降管
 の上端からグリセリン水溶液中を一斉沈降させ、
 一定時間後に沈降管の側枝流出口 (A) を開くと、
 側枝流出口から上方に含まれる粒子が分散媒と共
 に流出する。このときの分散媒に含まれる粒子を
 試料として用いた。したがって、試料は硝子球と
 粉碎硝子の混合されたものであり、これらの粒子
 は同じストークス平均径 (\bar{d}_{st}) を有することにな
 る。試料の一部を Photo 1 に示した。

2・2 沈降断面積の測定 Fig. 2 に沈降断面積
 の測定装置を示した。沈降管 (F) は3種平方の
 断面を有する高さ約15種の硝子槽である。この中
 にグリセリン水溶液を満たし、上端から試料を一
 斉沈降させる。粒子が沈降している状態のまま、

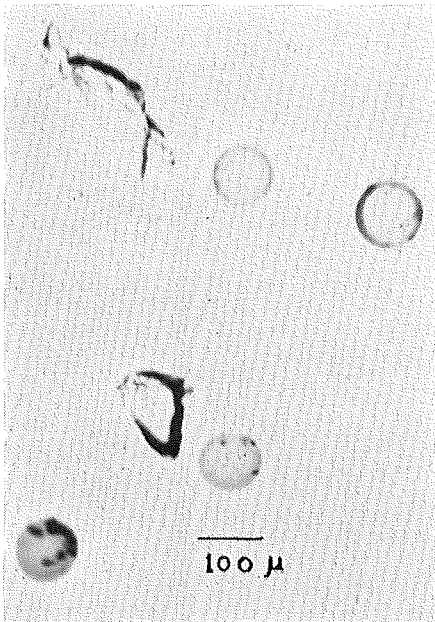


Photo 1. Particles on the bottom of a sedimentation vessel (the rectangular prism in Fig. 2).

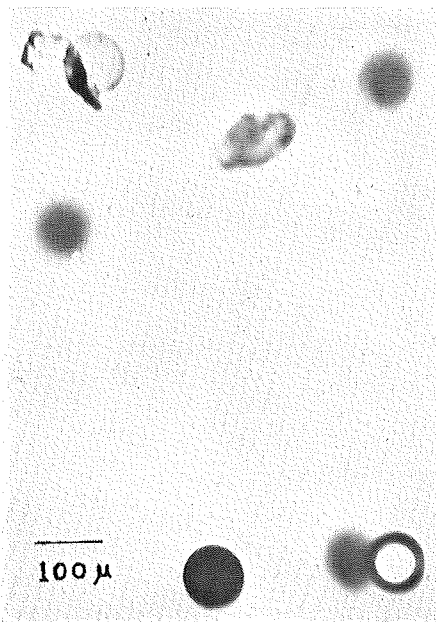


Photo 2. Particles falling in a viscous medium.

沈降粒子の沈降方向への断面を直角プリズム (G) を経て接眼鏡 (J) により観察することができる。顕微鏡は直交三軸方向に移動できるので、そのときの沈降方向への粒子の断面 (沈降断面積) をカメラ (I) によって撮影した。その一例を Photo 2 に示した。

このときの硝子球の沈降断面の直径がストークス法則によって決定される有効径 (d_{st}) を表わすことになる。また、2・1 の試料調整操作により生ずる粒度分布があるので、 d_{st} の個数基準頻度分布 (f) による面積平均径

$$\bar{d}_{st} = (\sum f d_{st}^2 / \sum f)^{1/2} \quad (1)$$

を求め、 \bar{d}_{st} を平均ストークス径とした。したがって、粉碎硝子の平均ストークス径は、一緒に沈降してきた硝子球の平均ストークス径によって表示されることになる。

また、粉碎硝子の沈降断面積に等しい面積を有する円の直径を、粉碎硝子の沈降断面積の円相当径 d_n 、その面積平均径を \bar{d}_n とする。

2・3 沈積粒子の円相当径 前述の沈降粒子が沈降槽の底のプリズムで静止したときの投影断面を撮影した。その投影面積に等しい円の直径を円相当径 d'_n 、その面積平均径を \bar{d}'_n とする。 d'_n および \bar{d}'_n は、いわゆる Heywood 径と見做してよい。

§ 3. 実験結果とその考察

Fig. 3 に標準硝子球の沈降断面積 d_{st} の個数分布を平均径 \bar{d}_{st} に対する比で示した。計測された粒子の総数は $N=330$ である。 $\bar{d}_{st}=95.8\mu$ で、その標準偏差は $\sigma=0.063$ である。標準偏差は非常に小さい。

Fig. 4 に粉碎硝子の沈降断面積 d_n の個数分布を標準硝子球の平均径 \bar{d}_{st} に対する比で示した。計測された粒子の総数は $N=300$ である。ここで $\bar{d}_n=145\mu$ である。したがって $\bar{d}_n/\bar{d}_{st}=1.52$ であって、粉碎硝子の沈降方向への断面積は、同じストークス径を有する硝子球の断面積に比べて非常に大きい。すなわち、非等方性粒子が粘性流体中を沈降するときは、沈降方向に対し大きい断面積をむけることがわかる。また、 d_n/\bar{d}_{st} の標準偏差は $\sigma=0.154$ であって、標準硝子球の標準偏差の約3倍に近い。したがって、同じストークス径を有していても、粉碎硝子の場合には、粒子の実体積および表面積等には非常に大きな分布が存在するものと思われる。

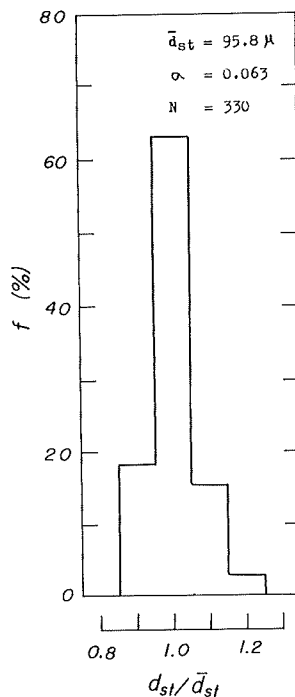


Fig. 3. Histogram showing variation of Stokes' diameter of the glass particles for the mean surface diameter.

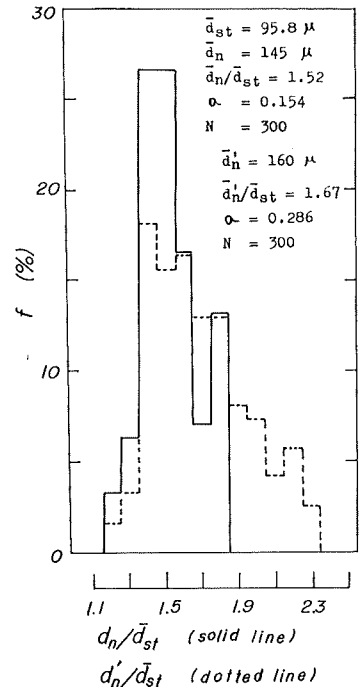


Fig. 4. Histogram showing variation of the diameters \bar{d}_n and \bar{d}'_n of the crushed glass particles for the mean Stokes' diameter.

また、Fig. 4 には沈降粒子の円相当径 d'_n の個数分布を標準硝子球の平均径 \bar{d}_{st} に対する比で示した。ここで、 $N=300$ 、 $\bar{d}'_n=160\mu$ である。したがって、 $\bar{d}'_n/\bar{d}_{st}=1.67$ となり、沈積粒子の投影面積は沈降断面積よりも更に大きい。このことから、沈降しつつある粉碎硝子は沈降方向に対して大きな断面積を向けているとしても、最大の断面積を向けていないことがわかる。

\bar{d}'_n/\bar{d}_{st} の標準偏差は $\sigma=0.286$ であって、 \bar{d}_{st} および \bar{d}'_n/\bar{d}_{st} の標準偏差に比べて著しく大きい。粉碎硝子は劈開性を有する粒子であるから、扁平に近い形状であると思われる。このような場合には、ストークス径が同じであっても、いわゆる *Heywood* 径は著しく広い粒度分布を有し、またストークス径に比べてはるかに大きい。

非等方性粒子の形状と沈降断面の関係は沈降初期の粒子の位置によるという説もある⁴⁾。たとえば、円筒形の粒子が長軸方向で落下させられると、そのままの方向で沈降し、短軸方向で落下させられると、やはりそのままの方向で沈降すると言われる。しかし本報におけるように、最初でたために沈降しはじめた場合には、その粒子の最小断面積よりは大きい沈降断面積で沈降するものと思われる。

粒径の異なる試料について得られた沈降断面積径、および沈積粒子の円相当径とストークス径の比を測定し、Table 1 に示した。同種の粉碎硝子について、これらの値は粒径による違いは無視できるものと思われる。また、沈降断面積は沈積粒子の円相当径に比べて何れも小さい。

Table 1. Change in \bar{d}_n/\bar{d}_{st} and \bar{d}'_n/\bar{d}_{st} with mean Stokes' diameter \bar{d}_{st} .

$\bar{d}_{st} \mu$	147	137	105	95.8	81.0
\bar{d}_n/\bar{d}_{st}	1.31	1.38	1.47	1.52	1.27
\bar{d}'_n/\bar{d}_{st}	1.53	1.57	1.73	1.67	1.42

§ 4. 結 語

粉碎硝子の沈降断面積径および *Heywood* 径を測定し、ストークス径と比較した。ストークス径に比べて沈降断面積は大きく、*Heywood* 径はさらに大きい。また、沈降断面積径、および *Heywood* 径は、同じストークス径を有するにもかかわらず著しく広い粒度分布を示す。同種の粉碎硝子ではストークス径が異なっても同様の傾向を示す。

文 献

- 1) Shimidzu, K., J. Hokkaido Gakugei Univ., Sect. II B, 9, 2, 8 (1958).
- 2) 清水 清, 第20回応用物理学会講演会予稿集, p. 17 (1959).
- 3) Orr, C. J. and J. M. Dallavalle, Fine particle measurement, Macmillan, p. 77 (1959).
- 4) Heiss, J. F. and J. Coul, Chemical Engineering Progress, 48, 133 (1952).