

土砂を多量に含む流体の粘度と降伏値

京都大学工業教育養成所 大同淳之

1. はしがき

土砂を多量に含む流体の粘度および降伏値は、流体中の土砂濃度、粒径、粒径分布および水が媒介して生ずる吸着力に關係する。とくに吸着力の影響が大きく、流体を化学的に處理すると粘度は増減する。そのために従来から粘度と、懸濁液のPH、あるいは置換塩基量等をパラメーターにして表わすことが種々試みられているが、統一的な表現法は見出されていない。Michaels¹⁾は、懸濁液中の固体の基本の大きさはフロックであることを指摘して、Einsteinの式²⁾によって粘度の説明を試みたが、Einsteinの式自体が濃度の大きいときは適用できないため、濃度の大きいところでは全く説明できなかった。この報告は、粘土の懸濁液のフロックを用いて、吸着性のある粒子を含む高濃度流体の粘性を求めるとともに、フロックの有無性を検討した。

2. 固体容積濃度とフロック容積濃度の關係

微粒子を流体中に拡散したとき、適当な分散廢置もしない限り、粒子は結合してフロックを作る。このフロックは、攪拌または開水路内での流動程度のせん断を受けても破壊しない。重力による沈降時のようなゆるいせん断のもとでは逆にフロックの集団を作る。容器内の懸濁液を攪拌後、静置すると、フロックが結合するため上端では明瞭な平面を形成して沈降する。この平面の沈降は大別して図2に示す3つの型をとる。(a)は容積濃度 χ_s が比較的小さい($N_0.1$ スラリーで $\chi_s < 0.022$) 場合で、フロックの集団は生じているが個々に沈降する。(b)は濃度が(a)より増すと生じ沈降速度は静置後次第に早くなり、図2の t_1 で最高となり、あと次第に速度を減ずる。最高速度は最初の液の高さで変る。(c)は殆んど沈降しない($\chi_s > 0.25$) 図3に(b)の場合の1例を示す。

容器内に最初フロックを拡散した液柱の高さを Z_0 、最終的にフロックが堆積した高さ z_f 、フロックの容積濃度 χ_f 、その最高充填濃度と χ_{fc} とすると、つぎのようになる

$$AZ_f = A Z_0 \chi_f / \chi_{fc} + A \cdot b \quad (1)$$

ここにAは容器の断面積、bは堆積の上面で十分に

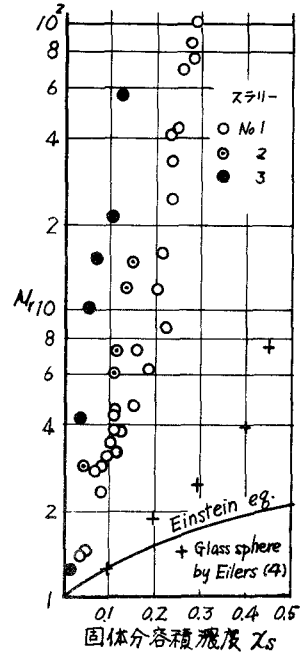


図1 固体容積濃度と表わした粘度

スラリー-No	d50	(d ₉₀ /d ₅₀) ²	χs
1	3.4 μ	2.92	2.703
2	6.2 μ	4.70	2.810
3	0.55 μ	—	2.673

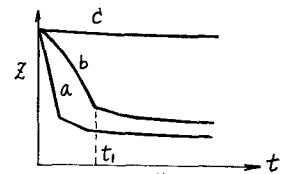


図2 沈降の様式図

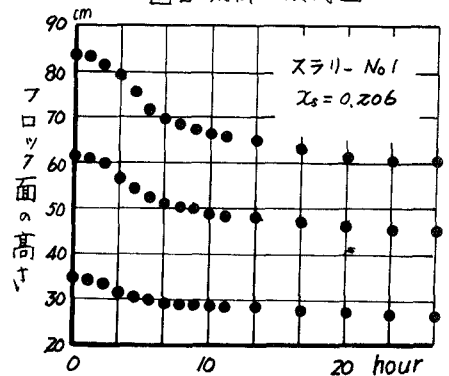


図3 沈降の時間的变化

圧縮されないフロックの高さである。フロックが球形で正方系に粗充填されるとすると $\chi_{FC} = 0.52$, で, $\chi_F = C_F \cdot \chi_S$ とすると (1)式はつぎようになる。

$$Z_f = (C_F / 0.52) \cdot \chi_S Z_0 + b \quad (3)$$

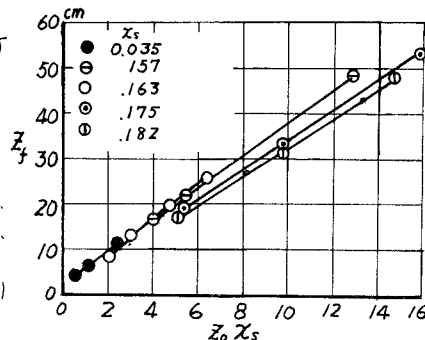
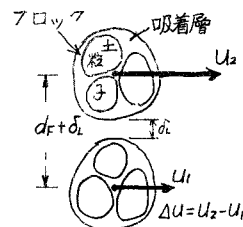


図4は No1 のスラリーについて (3) 式の関係と調べたもので直線の勾配から C_F の値を求めると、濃度が増すほど小さくなる傾向を示すが、平均値 2.08 を得る。他のスラリーについても No2 は 3.25, No3 は 8.5 を得た

3 フロック容積濃度を用いた粘度式。

図4

粒子間に吸着力のない懸濁液の粘度は 固体分容積濃度 χ_S に比例し、自由液容積 J_f に逆比例すると考えられている。自由液容積は、懸濁液の全容積 V から、固体分容積とこの固体を完全に充填したとき固体中にとどめられる水の容積 J_c と差引いたものである。フロックのまわりの吸着層は固体と同様に振舞うので、フロックを対象とする場合の自由液容積は 全容積からフロックの容積とフロックと最高濃度に充填したときその中にとどめられる液容量と引いたものである。この自由液容積が均一に分散していると考えると、フロックのまわりの自由液の膜の厚さ d_f はつぎのようになる。³⁾ $d_f / 2 = J_f / S_0$ (4)



ここに S_0 は系中に存在するフロックの総表面積である。そこで図5にしたがって、近似的につぎの関係が成立するものとする。

$$\tau = \mu_0 \frac{\Delta u}{\delta} = \mu_s \frac{\Delta u}{d_f + d_c} \quad (5)$$

ここに μ_0 はフロックを分散している液の粘度である。

$V = J_f + J_c + W_F / \rho_F$, $\chi_F = (W_F / \rho_F) / V$, $\chi_{FC} = (W_F / \rho_F) / V_{FC}$ の関係を用いて、 d_c を表わし、(5)式に代入すると

$$\mu_s = \mu_0 \left(1 + \frac{d_f}{2} \frac{S_0}{W_F / \rho_F} \frac{1}{1/\chi_F - 1/\chi_{FC}} \right) \quad (6)$$

となる。 $d_f S_0 / (2 W_F / \rho_F)$ はフロックの形を球とみなすと、粒径にかかわらず³⁾ χ_{FC} は 0.52 である。以上の関係は、森、乙竹の粘度式を固体容積濃度をフロック容積濃度におきかえたものである。さきに求めた C_F を用いて χ_F を求め、図1の測定値を再整理すると、図6のように全ての測定値が(6)式のまわりに集まる。これはフロックの濃度が十分有意性をもつことを示すと同時に、粘度が(6)式で十分表わせるとみてよい。降伏値については講演時にのべる。

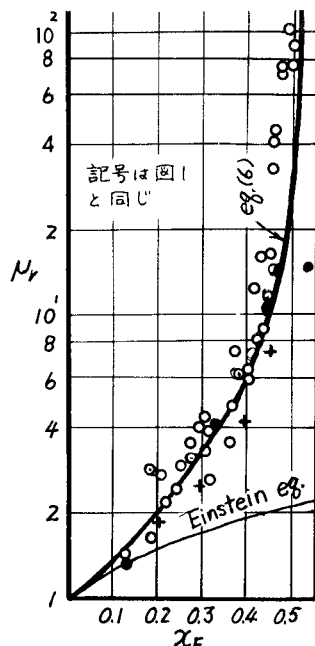


図6. フロック濃度で表わした粘度

- 参考文献 1) A.S. Michaels and J.C. Bolger; The plastic flow behavior of flocculate kaolin suspensions, IND. ENG. CHEM. FUNDAMENTAL Vol. 1, No. 2 (62)
2) A. Einstein; Kolloid Z., 27, 137 (1920)
3) 森、乙竹直; 懸濁液の粘度について 化学工学 20 No. 9, P. 488 (1955)
4) H. Eilers; Kolloid Z., 97, 313 (1941)