

京大工業教員養成所 正員 大同淳之

神戸市立六甲工高専 正員 〇日下部重幸

1, はしがき, 粘度は, 非ニュートン流体の流動を支配する最も大きな要素である。しかしながら, 従来提案されている種々の粘度式は, その殆んどが稀薄懸濁液を対象としたもので, 粘土あるいはセメントのような粒子の高濃度の流れの粘度を表わすには十分であるとはいえない。ここでは, 高濃度の場合を対象として, その粘度を Rate process の理論を用いて表現するために, 式中の二三の特性値を決定し, その妥当性について考察した。特性値の解釈およびその決定にかかりの問題も含んでいるが今後さらにこの考えによって解析を進めていく足掛りとして, いままでに得られた結果について報告する。

2, 実験方法, 実験に用いた粘度計は同心円筒回転粘度計で, 測定値の検定をトリコンオイルで行った結果, 落球法で決定した粘度と, 本装置で求めたものとは 5% の範囲で一致した。試料作製に用いた粘土は, $d_{50} = 0.0034 \text{ mm}$, $\sigma_p = 2.96$, $\beta = 2.703$ である。

3, 従来の粘度式における問題点

従来多くの粘度式がとられていたが, 一例として, 容積濃度と比表面積を整理した森, 石竹の式を示すと, 懸濁液の相対粘度 μ_s/μ_0 は

$$\frac{\mu_s}{\mu_0} = 1 + \frac{\bar{a}}{2} \cdot S_r \cdot \frac{1}{1/\lambda_v - 1/\lambda_{vc}} \quad \text{--- (1)}$$

ここに, μ_s は懸濁液の見かけ粘度, μ_0 は溶媒の粘度, S_r は粒子の比表面積, λ_v は容積濃度, λ_{vc} は連続的かつ安定なせん断変形を与える限度の最高容積濃度, $\bar{a}$ は粒子の平均粒径である。

(1) 式は球形粒子の場合, $\bar{a}/2 \cdot S_r = 3$, $\lambda_{vc} = 0.52$ となり図1の破線と示される。ここで用いた粘土粒子に対しては, 実験値より, $\bar{a}/2 \cdot S_r$, λ_{vc} を求め図1に示したが, $\bar{a}/2 \cdot S_r$, λ_{vc} の値は粘土が変わると変化する。これは粒子間の引力の影響と考えられるが, この式の形は, この影響を表現するのに適当でない。また高濃度では外力とひずみ速度の比が一定でなく, このような領域の粘性には適用できない。さらに, (1) 式では濃度が λ_{vc} に近づくとき $\mu \rightarrow \infty$ となっており必ずしも実験と一致せず, ここで定義される λ_{vc} 以上でも実際には流動を生じている。

4, Rate process を用いた粘度式

アイリソフの理論によって, セン断力 f が働いた場合, λ を障壁の間隔とすると, 図2のごとく流動方向に斜めは, ポテンシャル障壁が $f\lambda/2$ だけ低くなり, 逆方向には $f\lambda/2$ だけ高くなる。

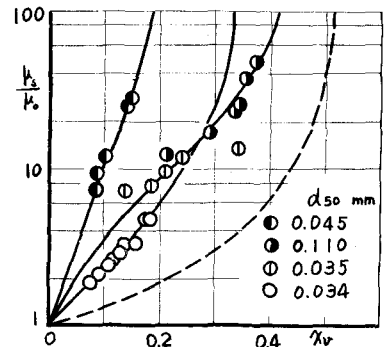


図1 相対粘度と容積濃度の関係

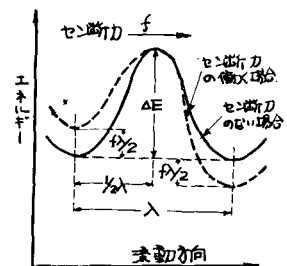


図2 粘性流動のポテンシャル障壁

したが、 τ 、流動速度 ΔU は、

$$\Delta U = 2 \frac{\lambda K T}{R} \exp\left(\frac{-\Delta E}{K T}\right) \sinh\left(\frac{f \lambda}{2 K T}\right) \quad \text{------(2)}$$

ここに、 K はボルツマン定数、 R はアラン定数、 T は絶対温度、 ΔE は障壁の高さである。
ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は、次式で表わされる。

$$\dot{\epsilon} = \frac{\Delta U}{\lambda} = 2 \frac{K T}{R} \exp\left(\frac{-\Delta E}{K T}\right) \sinh\left(\frac{f \lambda}{2 K T}\right) \quad \text{------(3)}$$

一つの障壁に働くせん断力 f は、単位面積当りのせん断応力 τ をとすると、 $f = \tau / \lambda^2$ であるから、粘度 μ は、

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\epsilon}} = \frac{\tau}{2 \frac{K T}{R} \exp\left(\frac{-\Delta E}{K T}\right) \sinh\left(\frac{\tau \lambda^3}{2 K T}\right)} \quad \text{------(4)}$$

である。

後述するよう K 、 $f \lambda / 2 K T$ の値はかなり大きいので、

$$\sinh\left(\frac{f \lambda}{2 K T}\right) \div \frac{1}{2} \exp\left(\frac{f \lambda}{2 K T}\right) \quad \text{------(5)}$$

とおいて、(3)式に(6)式を代入し、両辺の対数をと、 τ で求めると、

$$\tau = \frac{2 K T}{\lambda^3} \ln \dot{\epsilon} - \frac{2 K T}{\lambda^3} \ln \frac{K T}{R} + \frac{2 \Delta E}{\lambda^3} \quad \text{---(6)}$$

とな、 τ 、 $\dot{\epsilon}$ と $\ln \dot{\epsilon}$ とが直線関係で示される。

5. 実験結果とその考察

粘度計による実験値をも $-\ln \dot{\epsilon}$ を整理したのが図3である。グラフの勾配より $2 K T / \lambda^3$ を求め、絶対温度 T と $K = 1.38 \times 10^{-16} \text{ dyne-cm/}^\circ\text{K}$ を与えて λ を求めると、 $\lambda \div 6 \sim 8 \times 10^{-4} \text{ cm}$ であつた。これは粘土粒子が均一に分散したときの粒子間隔の約1/10にあたり、J. K. Mitchell²⁾ が三軸圧縮試験による粘土の変形解析において、 λ として用いた結晶原子の直径の10⁴倍に相当している。

得られた λ を(6)式に代入し未知数 ΔE を求めると、

$\Delta E = 0.3 \sim 1 \times 10^{-12} \text{ dyne-cm}$ であつた。ここに得られた ΔE は、物理化学的結合力、メソツ、ゲイラタンツー効果その他も含むと考えられるが、現在までにコンフリート、マスファルト、粘土等に対して求められている値のオーダー 10^{-12} dyne-cm とほぼ一致している。

(6)式に以上の λ 、 ΔE を与えて μ を求めたが必ずしも満足する結果は得られなかつた。これは諸定数の求め方に問題があるものと考えられ、今後さらに検討を加えたい。

参考文献

- 1) 森芳郎, 乙竹直 懸濁液の粘度について 化学工学, 20, NO.9, (1956), P.488.
- 2) J. K. Mitchell Shearing resistance of soils as a rate process. Proc. ASCE. Vol. 90, NASHI, (1964), P.29

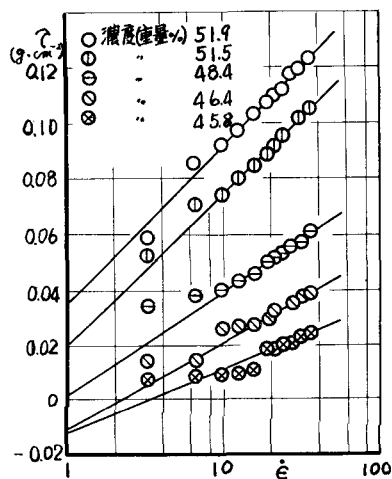


図3 セン断応力とひずみ速度の関係