

上水汚泥の流動特性について

東北大学工学部 正 ○ 石橋良信
 学 鈴木正明
 陳 鴻霞

1 はじめに

管路輸送に結びつけて、下水汚泥の流動特性を考察した研究は多いが、上水汚泥では処理の歴史も浅い故に、その流動特性を扱った報告は少ない。今回は上水汚泥の把握を目的に層流状態における流動特性を粘度と降伏値の2つの観点から考察する。

2 実験装置、試料および操作方法

実験装置は図-1に示す毛細管型粘度計を用いた。試料は上水汚泥(WS)、カオリン懸濁液(K) およびカオリンフロック(KF)の3種類である。濃度指標は乾燥重量濃度の他に体積分率 ϕ で表わした。体積分率は沈降試験から24時間後の粒子が占める体積が等径粒子の最疎充填構造になっていると仮定して、このときの沈降体積分率(全体積に対する沈降体積の比)に0.524を乗ずることによって求めた。表-1に両指標をまとめて示す。

実験は試料をタンクに入れ、ヒーターで所要の温度に調節した後、水位を数段階に変化させ、各水位毎にガラス管を通して試料を引抜き、そのときの流出量と要した時間を測定する方法で行なった。表-2に実験条件を示す。なお、流動基礎式は
$$\frac{8V}{\phi} = \frac{1}{\eta} \tau_w - \frac{4}{3} \frac{\tau_0}{\eta}$$
といた。ここにD:ガラス管内径(cm), η :ビンガム流体の粘度(Poise), τ_w :壁面せん断応力(dyn/cm²), τ_0 :降伏値(dyn/cm²), ρ_s :試料真密度(g/cm³), g_0 :重力換算係数(980 cm/s²), H:圧力損失水頭(cm), V:流速(cm/s)である。

3. 実験結果および考察

以上の操作より3試料とも典型的なビンガム流体としての挙動を示した。

3-1 粘度について 温度と相対粘度 η_r (ビンガム流体としての粘度を水の粘度でわった値で粘度の表現法としてよく用いられる。)の関係は図-2に示すごとく濃度の増加にともなって大きくなる。また、濃度の希薄な、いいかえれば、体積分率の小さい部分では温度変化にかかわらず一定とみなされる。これ

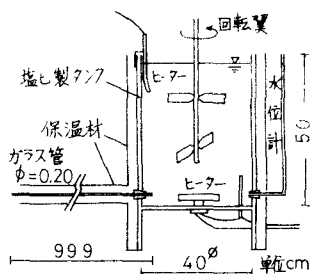


図-1 毛細管型粘度計

表-1 実験試料

上水汚泥 WS							
No	1	2	3	4	5	6	
重量濃度 ϕ	416	3.74	2.81	2.03	1.30	0.76	
体積分率 ϕ	0.427	0.386	0.297	0.221	0.147	0.097	
カオリン懸濁液 K				カオリンフロック KF			
No	1	2	3	No	1	2	3
Wd	11.05	9.80	7.37	Wd	9.24	7.45	5.83
ϕ	0.232	0.204	0.135	ϕ	0.292	0.207	0.156

表-2 実験条件

温度	20, 30, 40, 60°C
測定時間	20秒~180秒
水位変化	40cm~12cm
流出量	10cm ³ ~50cm ³

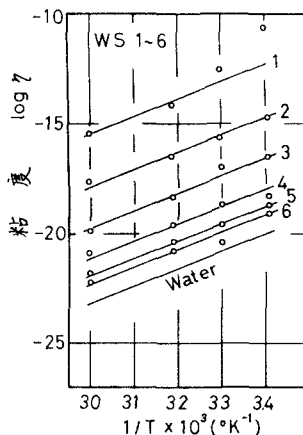


図-3 粘度の温度による影響

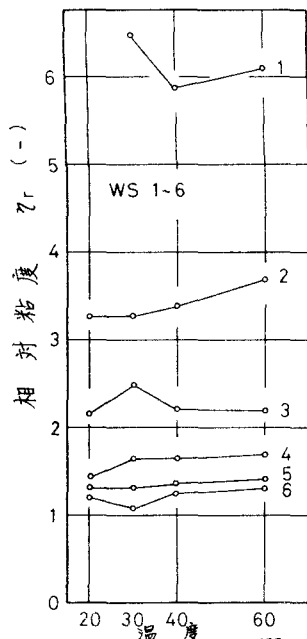


図-2 粘度の温度による影響

懸濁液の温度による粘度変化は溶媒(水)の温度による粘度変化と同比率であることを示し、粘度に対する温度の影響が溶媒の温度の影響に強く支配されることを意味する。

この事実を示すため Andrade の式 $\log \eta = \log A + 0.4343 B/T$ (A, B: 定数, T: 絶対温度 °K) で整理したのが図-3 であり、水の粘度の勾配とはほぼ一致している。

粘度に対する濃度の影響を図-4 に示した。体積分率の小さい段階では、Brinkman 式 $\eta_r = (1-\phi)^{-2.5}$ あるいは森・乙竹式 $\eta_r = 1 + 3/(1/\phi - 0.52)$ に適合すると思われる。しかし体積分率の高い WS-1, KF-1 は両式からはずれてくる。これは、容積の大きなこの段階では粒子どうしの接近接触または衝突などが起こり相互に干渉するようになり、懸濁液のみかけの粘度低下が溶媒の粘度低下に追いつかなくなる結果と思われる。

また表-1 から WS, KF のように凝集性の物質は乾燥濃度 Wd のわずかな増加に対して体積分率は

著るしく増加する。一方 K では Wd の増加に対する ϕ の変化は少なく $\phi = 0.3$ に外挿すれば WS で Wd $\approx 28\%$, KF で Wd $\approx 9.5\%$, K で Wd $\approx 14\%$ となる。したがって、K では広範囲の中において Brinkman 式等が適用しうるが WS, KF では $\phi = 0.3$ 以下の希薄な状態でのみ可能であろう。 $\phi > 0.3$ では上記の粒子間の干渉が生じ、WS-1, KF-1 のように値が大きくなる。

3-2 降伏値について

図-5 に示すごとく降伏値について温度変化に対して独立であった。

降伏値の濃度の影響について大垣

は¹⁾、降伏値は乾燥濃度の関数でその増加とともに大きくなり、試料の違い、凝集-解膠の状態変化は直接降伏値には関与しないと述べている。本実験でも、乾燥濃度の増加とともに大きくなる傾向にはあったが、全試料について、降伏値を乾燥濃度で統一的に表現することは困難であった。(図略) ただし体積分率を指標にした場合、体積分率が 0.3 より低い濃度域にあっては WS, KF は K に比して相対的な密度が小さいこともあって、降伏値は

WS < KF < K の順になっている。(図-6) これより、 $\phi < 0.3$ の範囲にあってはむしろ凝集されている方が流動しやすいと思われる。しかし高濃度域(SW-2)では粒子の相互作用の結果、降伏値は粘度と同様に大きくなっている。

4 おわりに 粘度と降伏値は温度には影響されないことが知れた。また濃度による影響は低濃度域において粘度は各試料とも統一的に扱われる、しかし高濃度域では粒子間の相互作用の結果、粘度、降伏値ともに統一された扱いができなくなる。参考文献) 大垣, 土木学会論文集, 210, (1973. 2)

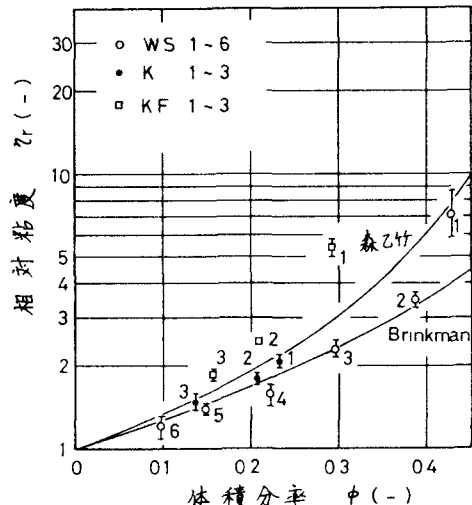


図-4 粘度の濃度(体積分率)による影響

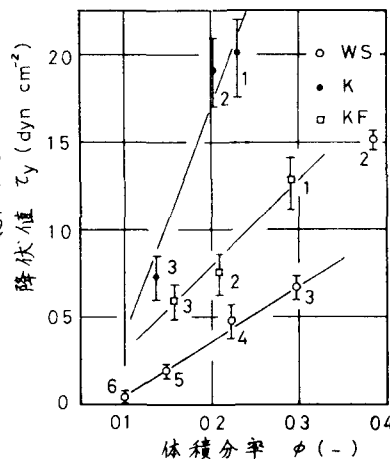


図-6 降伏値の濃度(体積分率)による影響

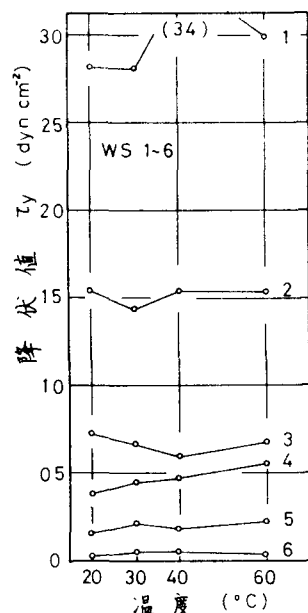


図-5 降伏値の温度による影響