

東京大学工学部 学生員 ○ 大垣真一郎

東京大学工学部 正会員 松尾友矩

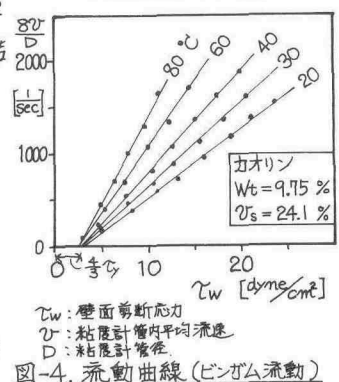
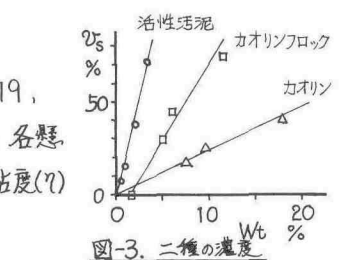
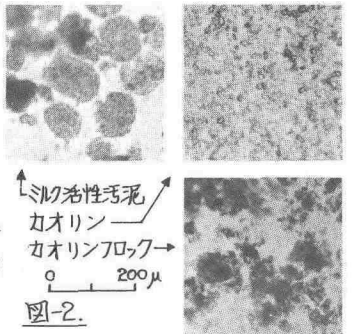
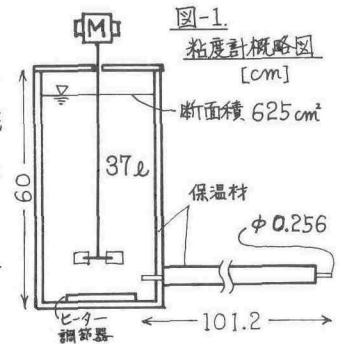
1. はしがき 従来、衛生工学では、汚泥流体の物性の整理に当って含水率のみをその因子としてきているが、各種汚泥の諸物性を統一的には説明し切れていないようである。汚泥の管路流動の主に乱流域については、前の年次講演会で報告を行なったが、本報告では、汚泥状流体を固体粒子の高濃度懸濁液とみなし、その流動特性を粘性および降伏応力という物性の側から解析してみた。実験手法としては、温度および濃度を変化させて、その物性への影響の現われ方を調べた。

2. 実験方法および装置 粘度計は、図-1.に示す様な加温および保温装置付の大型の水平細管型粘度計を作成し用いた。吐出流量から管内平均流速を、貯留槽水位から圧力損失を求めた。供試材料は、ミルク活性汚泥、カオリン懸濁液、カオリンフロック懸濁液（硫酸バンド、活性ケイ酸、 NaOH により凝集フロックを形成させたもの）の3種類である。各懸濁液は、図-2.の顕微鏡写真に示すような粒子性状である。濃度指標は、乾燥重量濃度（ Wt ）と最終沈降体積率（ v_s ）（500mlメスシリンダーで20時間以上静置した時の値）を用いた。この2種の濃度は、図3.に示すような関係にある。温度は、 20°C から 80°C まで変化した。

3. 実験結果 測定は、濃度および温度を変化させて、活性汚泥は19、カオリンは15、カオリンフロックは12.の組合せについて行なった。各懸濁液の各濃度について図-4.の様なビンガム流動曲線を得て、これから粘度（ η ）および降伏値（ τ_0 ）を求めた。

【粘度の温度依存性】 各種液体の粘性の温度依存性に対する Andrade の式、 $\eta = A e^{\frac{B}{T}}$ （ A, B は定数、 T は絶対温度 $^\circ\text{K}$ ）の形で本結果を整理すると、図-5.のようになる。分散系である懸濁液についても、一般液体と同型の温度依存性があり、指数部の定数 B は、懸濁液の種類に依らず一定で、水の B 値とはほぼ同じである。

【粘度の濃度依存性】 粘度 η_0 をもった Newton 流体の溶媒に固体粒子を分散させた懸濁液の粘度を η とすれば、相対粘度 $\eta_r (= \eta/\eta_0, \text{無次元})$ は、懸濁液中の固体粒子の占める体積分率 ϕ の函数として表わすことができる。高濃度の場合については、Brinkmanの理論式 $\eta_r = (1-\phi)^{-2.5}$ がよく適合することが知られている²⁾。ここでは、懸濁液の最終沈降



填状態を立方相充填（充填率 0.524）とみなし³⁾、実験に使用した試料の有効体積分率 ϕ_c と、 $\phi_c = (\text{最終沈降体積率}) \times 0.524$ と定義する。この ϕ_c と、 η として水の粘度を用いて^{注1)}、図-6 の様に整理すると、カオリンフロックの1データ ($\phi_c = 0.396$, 平均 $\eta_r = 31.57$) を除いて、Brinkman 式がほぼ適合する。又、温度変化はこの函数形自体には影響を及ぼしていない。

【降伏値の温度依存性】 図-4 の流動図にも現われている様に、降伏値は温度変化に対して独立である。これは、懸濁液の種類および濃度に依らず成り立つ。1例を図-7 に示す。

【降伏値の濃度依存性】 図-8 に示す様に、降伏値は粘度と要なり、体積分率の函数とはならず乾燥重量濃度に比例する。これも、懸濁液の種類および温度変化の影響を受けない。

以上の結果は、粘度と降伏値は相互に独立であり、さらにそれぞれの濃度および温度に対する依存性も個別に独立であることと示している。まとめると次表の様な函数関係となる。特に、粘度に関しては、溶媒を水とみなすと実験的に次式を得る。

$$\eta = 2.3 \times 10^{-5} \cdot (1 - \phi_c)^{-2.5} \cdot e^{\frac{178 \times 10^3}{T}}$$

	濃度	温度
粘度	有効体積分率 ϕ_c $\eta/\eta_0 = (1 - \phi_c)^{-2.5}$	$\eta = A e^{\frac{B}{T}}$
降伏値	乾燥重量濃度 Wt $\tau_y = \text{const.} \cdot (Wt)$	$\tau_y = \text{const.}$

4. 考察 懸濁液の物性と支配する因子として、濃度、温度の他に、粒子の径、比重、分布、形状、凝集性、付着液膜厚などが考えられる。粒子の性状が相異なる上述の種の懸濁液の粘性が、その濃度依存性を、有効体積分率を用いて Brinkman 式に統一できるということは、最終沈降体積率すなわち圧縮の最終高さとというもののの中に粒子の諸性状が含まれていることを意味する。Brinkman 式自体の限界性、粒子の凝集性の影響の検討などが今後必要であるが、上記の事実は、粘度表現式という実用的な意味の他に、圧縮現象と流動特性との関係を示すものとして興味深い。

又、粘性の温度依存性が、溶媒部分の依存性のみで説明できることも考え合せると、この様な高濃度の汚泥状懸濁液についても明らかに、固相粒子部分と溶媒部分との2成分混相系の力学構造が存在することがわかる。

逆に、降伏値は、温度に対して独立で、濃度依存性も乾燥重量濃度の函数であることから、溶媒の関与しない粒子間相互のみに働く力学機構から決定される物性のようである。但し、乾燥重量濃度の力学意味は今の所不明。

以上、3種の特殊な懸濁液についての結果だけであるが、高濃度懸濁液の流動特性あるいは物性の内部機構解明の一手がかりが得られたと考える。

注1) 活性汚泥上澄液およびカオリンフロック上澄液は、それぞれ全固形残留物 = 239, 14600 mg/L を示す溶液であるが、粘性測定の結果、水の粘性との差は、殆ど認められなかった。

参考文献

- 1) 大垣, 松尾; 第26回日本講演会, 1971.
- 2) 後藤 昭「コロロジと応用」, 共立出版, 1962, など.
- 3) 大同; 第15回水理講演会, 1971.

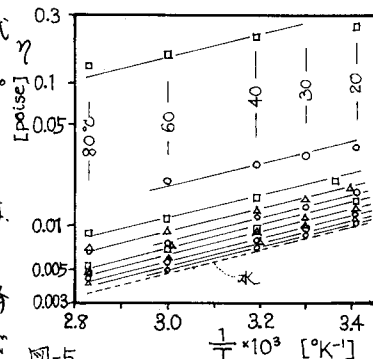


図-5. 粘度と温度

図-6. 相対粘度と有効体積分率

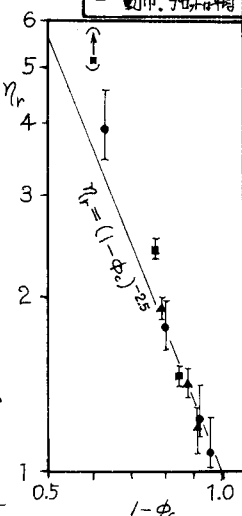


図-7. 降伏値と温度

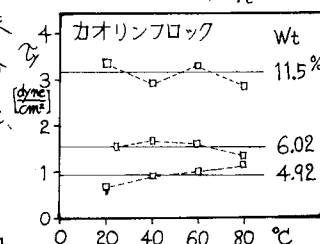


図-8. 降伏値と乾燥重量濃度