

早稲田大学理工学部 正会員 遠藤 郁夫
 国土院大学工学部 正会員 ○金 成 英 夫
 日本鋼管 影 山 佳 秀

1. 結 論 下水汚泥の粘度は汚泥中に砂粒子、粗大粒子および繊維状物質等が存在するため、回転粘度計を用いて決定することが困難である。このような場合には、汚泥中から粘度測定に障害となる物質を除去して測定しなければならない。しかしながら、実際の下水汚泥の粘度、特に、摩擦損失係数を検討する場合、この阻害物質を含んだ状態で解析する必要がある。

本研究は管路実験および回転粘度計で流体の構造粘度指数および流体粘稠度指数を求めた。すなわち、本研究の目的は回転粘度計から流体の構造粘度指数および流体粘稠度指数などの諸物性を求めるのが困難である流体についても、実験管路から直接、これらを求める方法を確立しようとするものである。

2. 実験方法 スラリーの流動特性および粘度は同心円筒回転粘度計を用いて測定した。この粘度計は外筒半径 $R_2 = 1.50 \text{ cm}$ 、内筒半径 $R_1 = 1.25 \text{ cm}$ および内筒の長さ $l = 7.0 \text{ cm}$ である。外筒の回転数は $0 \sim 50 \text{ rpm}$ の範囲とし、 50 rpm ずつ変化させて内筒の受けるトルクを求めた。

実験管路は塩化ビニール製で、管径 $\phi 92 \text{ mm}$ である。流量は重量法により、摩擦損失水頭はモニターで測定した。実験に使用したスラリーは粘土、上水汚泥およびヤントナイトである。

3. 実験結果および考察

3.1. スラリーの流動特性 スラリーの粘度を回転粘度計で測定した場合、トルクは測定回数とともに減衰し、ある一定値に収束するため、この収束した状態の回転数とトルクとの関係から、次式で速度勾配 ($G(\dot{\gamma}_0)$) とせん断応力 (τ_0) とを計算した。すなわち、

$$G(\dot{\gamma}_0) = \frac{4\pi N}{1 - 1/5^2} \left[1 + R_1 \left(\frac{1}{n''} - 1 \right) + R_2 \left(\frac{1}{n''} - 1 \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$\tau_0 = \frac{M}{2\pi R_0^2 l} \quad (2)$$

N : 回転数, M : トルク, $S = R_2/R_1$

$$R_1 = \frac{S^2 - 1}{2S^2} \left(1 + \frac{2}{3} \ln S \right), \quad R_2 = \frac{S^2 - 1}{6S^2} \ln S, \quad n'' = \frac{d(\log M)}{d(\log N)}$$

図-1はスラリーの代表例として、ヤントナイトの速度勾配とせん断応力との関係について示したものである。図-1から、ヤントナイトは濃度 $36,000 \text{ mg/l}$ 以上で擬塑性流体としての挙動を示すことが認められる。さらに、粘土および上水汚泥についても以上のようにして流動特性を判定した結果、粘土は濃度 $50,000 \text{ mg/l}$ 以上および上水汚泥は $36,000 \text{ mg/l}$ 以上で擬塑性流体として取り扱うことができることを確認した。

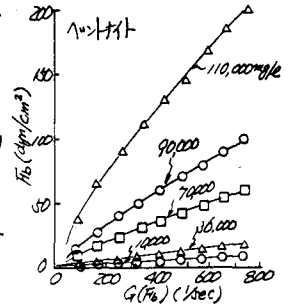


図-1 ヤントナイトの流動特性

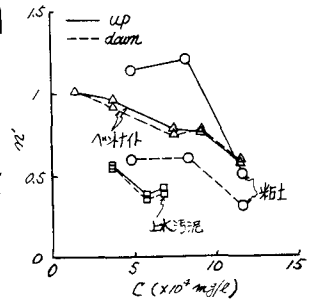


図-2 固形物濃度と n''

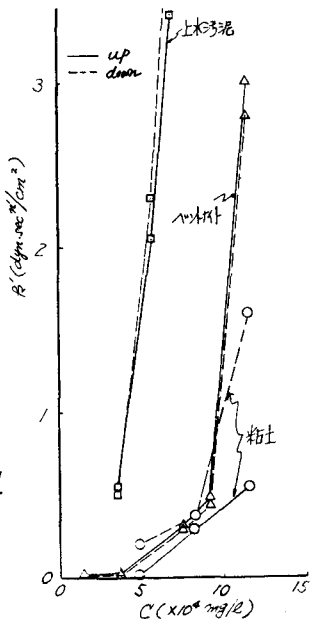


図-3 固形物濃度と n''

3.2. 実験管路による構造粘度指数および流体粘度指数 スラリーの流動特性は擬塑性流体として取り扱うことができるため、管内流動は式となる。

$$\frac{D \cdot \Delta P}{4L} = \tau_w = k' \left(\frac{8V}{D} \right)^{n'} \quad (3)$$

D : 管径, ΔP : 圧力損失, L : 管長, V : 流速, n' : 構造粘度指数, k' : 流体粘度指数

n' および k' は小さな流速から徐々に流速を大きくした場合 (up) の V と ΔP および大きな流速から徐々に流速を小さくした場合 (down) のそれらの関係からそれぞれ求め、図2および図3に示した。これらの図から、粘土については、up と down の場合の n' および k' が大きく異なっているのに対して、ベントナイトおよび上水汚泥では、up と down の場合の n' および k' にほとんど差異のないことが認められる。これは粘土 (砂分21%, シル分54%, 粘土分25%) が砂分を多く含んでいるため、 V と ΔP との関係と測定している間に砂分が実験装置や管路内に沈殿し、図4に示すように管内を流動しているスラリーの濃度が流速とともに変化したためと考えられる。これに対して、実験に使用した上水汚泥 (砂分0%, シル分34%, 粘土分66%) およびベントナイト (砂分0%, シル分18%, 粘土分82%) はいずれも砂分を全く含んでいないため、測定中に砂分の沈殿による濃度変化がほとんどなく、up と down の n' と k' が一致したものと考えられる。

以上の検討結果から、管路実験でスラリーの粘度を測定する場合、砂分の沈殿堆積を防止することが重要である。また、down を測定することも大切である。

3.3. 管路実験と回転粘度計から求めた粘度 擬塑性流体の管壁における速度勾配 (du/dr_w) は次の式で表わせる。すなわち、

$$\left(-\frac{du}{dr} \right)_w = \left(\frac{3n'+1}{4n'} \right) \left(\frac{8V}{D} \right) \quad (4)$$

一方、管壁におけるせん断力 (τ_w) は ΔP を用いて (3) 式から求める。図5、図6および図7はそれぞれ粘土、上水汚泥およびベントナイトスラリーについて、管路実験および回転粘度計で求めた速度勾配とせん断力との関係の1例を示したものである。粘土の場合、図5に示したように、管路実験に比べて回転粘度計で求めた粘度が大きくなっている。これは、回転粘度計の測定には十分に

攪拌混合した試料を用いたため、砂分がかなり含まれているのに対して、管路実験では砂分が沈殿堆積し、測定時のスラリー濃度が流速とともに変化したためであると考えられる。上水汚泥は図6に示すように、管路実験で求めた粘度が回転粘度計の場合に比べて、大きな値を示している。これは、上水汚泥は砂分を含まないが、凝集性を持っているため、回転粘度計内で沈殿分離し、粘度計で求めた粘度が小さくなったものと考えられる。一方、図7はベントナイトについて示したものである。この場合、管路実験および回転粘度計で求めた粘度はかなり良く一致している。これは、ベントナイトは砂分を含んでおらず、また、凝集性もないことから、砂分の沈殿や凝集性による沈殿分離が発生しないためと考えられる。

4. 結論 泥漿の管路輸送におけるスラリーの粘度について管路実験および回転粘度計を用いて検討した結果をまとめると、次の結論を得る。

- (1) 管路実験でスラリーの粘度を測定する場合、装置中に砂分等が沈殿堆積しないようにすることが大切である。
- (2) 砂分を含まない非凝集性のベントナイトスラリーの場合、管路と回転粘度計で求めた粘度は良く一致する。

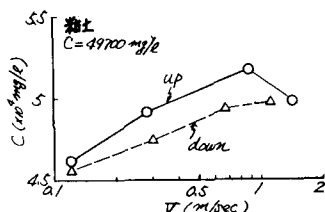


図4 流速と管内の固形物濃度

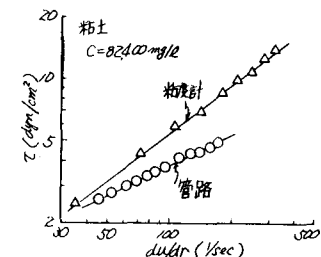


図5 粘土の速度勾配とせん断力

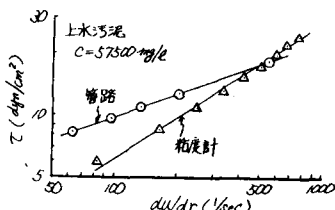


図6 上水汚泥の速度勾配とせん断力

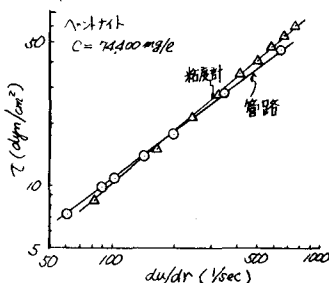


図7 ベントナイトの速度勾配とせん断力