

小野田ケミコ

正会員 笠井淳史

建設省土木研究所

正会員 松原 誠

正会員 渡部春樹

1. はじめに

下水汚泥の有効利用を進めるために、管路輸送は今後重要になってくると考えられる。効率よく汚泥を管路輸送するには、圧力損失の算出が必要であり、粘性は圧力損失に大きな影響をおよぼすので、注意して測定する必要がある。

汚泥は非ニュートン流体であるため、速度勾配を生じさせる距離（以下、ギャップサイズとする）が狭いほど正確に粘度が測定できることが知られている。

回転粘度計は、速度勾配を任意に設定できるため溶液などの粘度測定によく用いられるが、比較的大きな粒子を含む懸濁液を試料とする場合には、ギャップサイズが狭いと粒子が引っかかり測定不能となる。

このため、汚泥の粘度測定に関する従来の報告は、ギャップサイズの広い条件において筒にはたらくトルクを計測し、筒の回転速度から速度勾配をもとめ粘度を算出したものがほとんどであった。

そこで、共軸二重円筒型の内筒回転粘度計を用い、同一の試料についてギャップサイズの異なる筒を用い、筒ならびに汚泥の回転速度とトルクとの関係を計測した結果、粘度の算出方法についていくつかの知見が得られたので報告する。

2. 測定の原理

一般にニュートン流体を内筒回転方式の粘度計で測定した場合、円筒間の試料の半径 r の面と $r + dr$ の面にはたらく回転モーメントがつりあうとすると、角速度 $\omega(r)$ は次の(1)式で表され、流体の速度分布がわかる。ここで、 R_o は外筒半径、 R_i は内筒半径、 δ は半径比（ $=R_o/R_i$ ）、 ω_i は内筒の角速度である。

$$\omega(r) = \frac{\omega_i}{\delta^2 - 1} \left(\frac{R_o^2}{r^2} - 1 \right) \quad \text{----- (1)}$$

さらにこの式から粘性抵抗を生じさせる速度勾配 $D(r)$ が求められる。

$$D(r) = r \frac{d\omega}{dr} = \frac{-2\omega_i}{\delta^2 - 1} \left(\frac{R_o}{r} \right)^2 \quad \text{----- (2)}$$

3. 実験方法

用いた外筒の半径は21.0mm、内筒は3種で半径は20.0mm、18.4mmおよび15.2mmであり、ギャップサイズは1.0mm、2.6mm および 5.8mmとなる。内筒をセンサー部に吊るし、試料を所定量入れた外筒を内筒の外側に装着すると、内筒と外筒の間に試料が満たされる。熱、乱流および慣性の影響のない条件で、内筒を停止状態から無段変速で回転速度を上昇させ所定の回転速度に達した後、無段変速で回転速度を下降させ停止させる。この間の回転速度をX軸に、内筒に検出されるトルクをY軸としてXYプロッタに記録した。

また、2.6mm および 5.8mmのギャップサイズとなる条件について、円筒間の試料水面にトレーサーとして約0.2mm角の紙片を0.3～1.0mm間隔で数個浮かべ、ビデオカメラで所定の内筒の回転速度における試料の流動状態を近接撮影し、低速度再生することにより回転中の試料の流速分布を求めた。

本実験はすべて茨城県K処理場のTS=1.5%の消化汚泥を試料とし、外筒の周囲のジャケットに恒温水槽内の水を循環することで試料を20℃に保温して行った。

4. 実験結果

3種のギャップサイズで計測したおのこの試料の流動曲線は回転速度の上昇と下降でほぼ一致した。また、1.0mmギャップサイズでも粒子が引っかかることなく計測できた。(2)式より算出した速度勾配より求めた流動曲線をFig.1に示す。汚泥の粘度はギャップサイズの広い方が高く算出された。

次に、2.6mmおよび5.8mmのギャップサイズについて、トレーサーによる汚泥の流速分布と(2)式より流速分布を求め、これらの結果をFig.2およびFig.3に示した。ここで、Nは試料の回転速度、N_bは内筒の回転速度を示す。いずれの速度勾配も実測値の方がニュートン流体と比較し、内筒近傍で大きく外筒近傍で小さくなった。

このため、2.6mmおよび5.8mmのギャップサイズについて、内筒と内筒から

1.0mmの位置で実測したトレーサーの回転速度から求めた速度勾配と(2)式で算出される速度勾配との関係性を求めFig.4に示した。

この関係よりFig.1の流動曲線を補正した結果を、Fig.5に示す。2.6mmおよび5.8mmのギャップサイズの補正した流動曲線はほぼ一致し、1.0mmで測定した(2)式で算出された流動曲線に近い値となった。

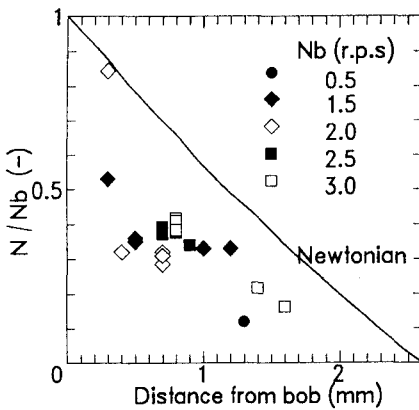


Fig.2 Distribution of rotational speed

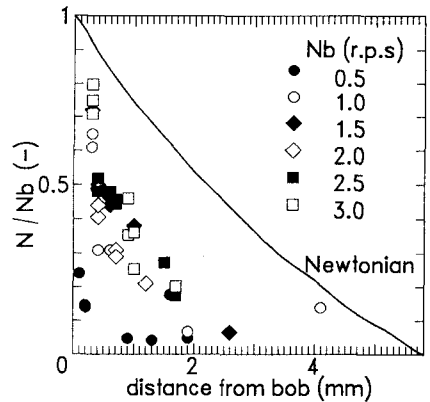


Fig.3 Distribution of rotational speed

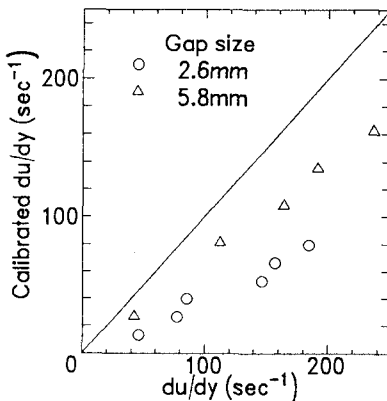


Fig.4 Calibration of du/dy

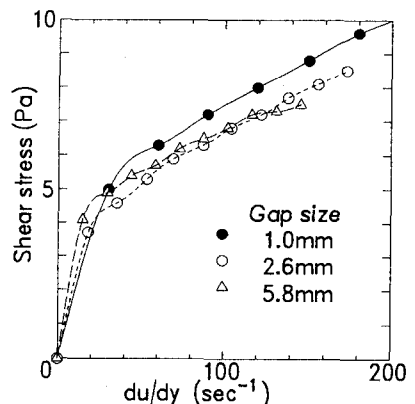


Fig.5 Calibrated flow curve

5. まとめ

汚泥の粘度を、粗大粒子の引っかからないようギャップサイズを広くとると、非ニュートン流体の場合、速度勾配を実際より小さく見積もり、高い粘度として算出することになるため、流動曲線を流速分布により補正することでより正確な粘度を算出できるものとする。