

佐賀大学工学部 正員 古賀 憲一
九州大学工学部 正員 柿田 哲也 正員 栗谷 陽一
同上 正員 二渡 了 学生員 原 浩
佐賀大学工学部 正員 荒木 宏え

1. まえがき 底泥のレオロジー特性を把握することは、底泥の巻き上げ現象ひいては水域における物質輸送現象を解明する上で重要である。現在まで、底泥のレオロジー的性質の測定装置としては、回転粘度計、毛管粘度計、その他特殊水路などがあるが、通常は回転粘度計が広く用いられているようである。回転粘度計は、主に均一流体を対象としているために、底泥のような粒系混相流体に適用するに当っては装置寸法、容器壁とのスリップについて十分な考慮を払う必要がある。しかしながら、これら装置特性について検討を加えた例は少なく種々の問題が残されているようである。以上の観点に基づき、本研究は、底泥のレオロジー特性の測定法について検討を加えたものである。

2. 実験装置及び方法 図-1に、三重円筒型回転粘度計の概略図を示す。試料を入れる容器は、外筒（アクリルパイプ、内径 99.6 mm）及び内筒（デルリン製、内径 81.2 mm）より成っている。トルクを検出する中間筒は塩化ビニールパイプ（外径 91.4 mm、内径 88.5 mm）である。中間筒の外表面（外筒側）及び内表面（内筒側）における剪断応力が各々等しくなるように各筒の径を選定している。トルクはわずきバネの撓れ角より求められる。本粘度計の制御方法は、剪断応力を一定（バネの撓れ角を一定）に保つように歪速度を制御する方式を採用し、制御にはマイコンを用いた。剪断応力、すなわちバネの撓れ角の検出には光学センサーを用い、駆動にはステッピングモーターを用いた。実験手順として、まず充分攪拌した試料を容器に注入する。つぎに、所定の位置に光学センサーを設定する。以後の操作はマイコンによって行われ、中間筒が所定の位置を維持するようにステッピングモーターを駆動制御する。歪速度はステッピングモーターに送るパルス数から算定される。以上の操作を剪断応力、試料の含水比を変えて行う。なお、位置検出の誤差は $\pm 0.5^\circ$ （半径 5 cm）、剪断応力が $\pm 0.02 \text{ N/m}^2$ 程度である。試料は市販カオリン ASP-600 を塩水（比重 1.025）に 1 週間以上浸したものをを使用した。また、後述するように、容器壁に生じるスリップの影響を調べるために図-2に示すような識別子を用いて試料内部の実質的歪速度を求めた。測定方法としては、この識別子を図-2に示すように試料に差し込む。識別子は何ら拘束されず、試料の歪に基づいた分だけ回転すると考えられるので所定の角度（ $-22.5^\circ \sim +22.5^\circ$ ）だけ回転するに要する時間を求め、次式により試料内部の実質的歪速度が得られる。

$$\dot{\gamma}_{\text{sub}} = 2 \tan\left(\frac{\pi}{8}\right) / t_{45^\circ} \quad (t_{45^\circ} : \text{計測時間})$$

3. 実験結果及び考察 図-3に、剪断応力一定のもとでの歪速度の経時変化の一例を示す。本例の場合、歪速度は実験開始直後に急激に減少した後、ある一定値に漸近するようである。他の例についてもほぼ同様の傾向が認められたが初期の急激な減少が顕著に現れない例も認められた。この歪速度の減少傾向はレオパキシー硬化とも思われる。図-4に、応力-歪速度曲線の一例を示す。なお、歪速度は外筒、内筒の回転数より直接得られる歪速度であり、図-3でも示したようにほぼ一定に達した時の値を採用している。同図中に、グリセリン溶液

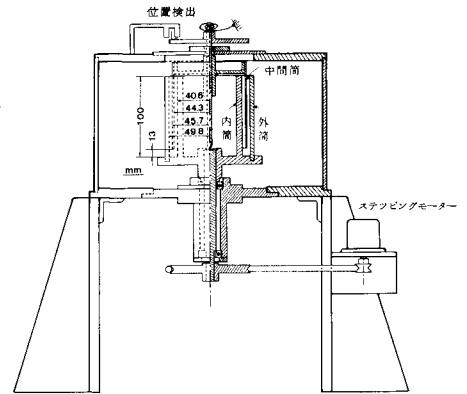


Fig. 1 APPARATUS

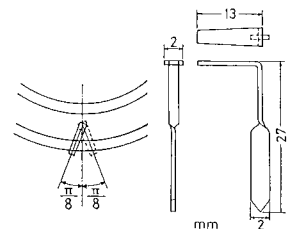


Fig. 2 MARKER

を用いて得られた結果も示している。グリセリン溶液の粘性係数を同図より求めると、0.83 Pa・s となり、オストワルド粘度計から得られた粘性係数とはほぼ一致し、一般の溶液流体については本粘度計による測定上の問題は無いようである。カオリン混相流体については結果の再現性は良好のようであり、含水比の低いものについては若干履歴現象が認められるようである。外筒の内面及び外面に砂粗度（平均径 0.25 mm）を張り付け、応力-歪速度曲線を求め、結果を図-5 に示す。この図から、歪速度の小さい所で同一歪速度の剪断応力は粗度ありの方が大きくなっていることが解る。このことから、粗度なしの場合については容器壁と試料との間にスリップが生じているようであり、正しい歪速度と応力との関係を知るには容器壁とのスリップを考慮しなければならないことが解る。つぎに、内筒、中間筒及び外筒にゴム板を張り付け、外筒と中間筒、内筒と中間筒の間隙を変えて得た応力-歪速度曲線を図-6 に示す。この図において、同一歪速度に対する剪断応力は間隙の小さい程大きくなっている。前述したスリップの影響によってこの違いが生じているものとし、ガラススリップ層が統ての場合について同一とすると、総間隙に対するスリップ効果の影響は間隙の大きい程（スリップしない層が厚いことを意味する）小さくなり、図-6 に示す結果と逆の傾向を示すことになる。したがって、間隙の違いによって剪断応力が異なる主な原因は間隙の寸法に基づく二次構造の違いと思われ、間隙の小さい程、同一歪速度に対して強い構造が形成され易くなったものと思われる。前述したスリップについて検討を加えるために、図-2 で示した識別子を用いて試料内部の更質的歪速度を求めた。外筒、内筒の回転数より直接得られる歪速度（見かけの歪速度）と更質的歪速度との関係を図-7 に示す。図中の実線はスリップが無いものとして得られる両者の関係を示している。この図から、試料内部の更質的歪速度の方が見かけの歪速度より小さいことが解る。また、歪速度の大きい所でスリップの影響が顕著に現われているようである。いづれにしても、粒状混相流体の正確な剪断応力-歪速度曲線を得るには、まずスリップについて充分な注意を払う必要がある。そのためには、本研究でも示したような識別子も一つの有用な手段であるが、測定誤差が大きいことと、高含水比の試料には不適当などの欠点がある。今後、今回得られた知見をもとに、新たな更質的歪速度検出装置を備えた粘度計の開発を行いたい。

参考文献

- 佐藤, 陳: 土汚泥の流動特性に関する研究 (I), (II) 水道協会雑誌, NO. 577 (1982), NO. 582 (1983)
- 大坪: 底泥の物性及び流動特性に関する更質的研究 国土庁研究所報告: NO. 42 (1983)

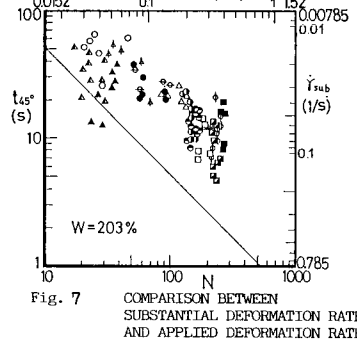


Fig. 7 COMPARISON BETWEEN SUBSTANTIAL DEFORMATION RATE AND APPLIED DEFORMATION RATE

Mark	τ (N/m ²)
○	2.18
●	3.46
◐	3.24
◑	2.61
△	2.91
▲	2.00
◒	2.08
◓	4.22
■	4.70
▣	5.44
†	4.97
×	2.58
+	2.26

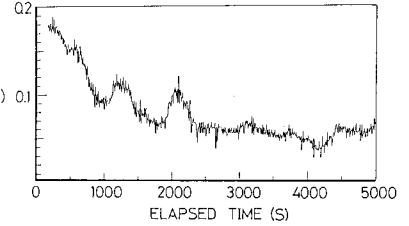


Fig. 3 TEMPORAL CHANGE OF DEFORMATION RATE

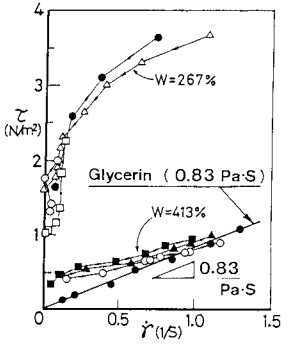


Fig. 4 STRESS-DEFORMATION RATE CURVE

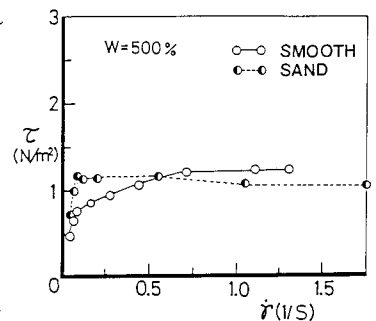


Fig. 5 STRESS-DEFORMATION RATE CURVE

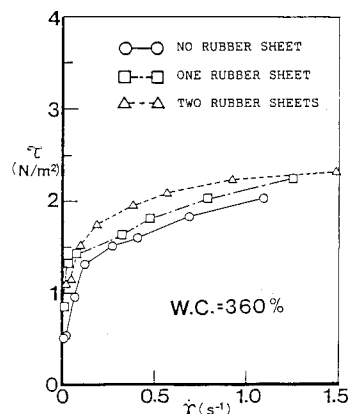


Fig. 6 STRESS-DEFORMATION RATE CURVE