

大阪工業大学 正員 川島 普
" " 〇 高田 巖

1 はじめに

下水汚泥の粘弾性測定において、しばしば遭遇する問題として、汚泥のチクソトロピックな挙動がある。

非チクソトロピー性物質の場合、層流における、せん断速度 D とせん断応力 S との関係もあらわす流動曲線は、測定時間には無関係に、物質のレオロジー的性質もよく表現できるが、下水汚泥の場合は、その組成の複雑さや、チクソトロピックな性質のため、流動特性の測定は著しく困難である。

すなわち、せん断速度 D とせん断応力 S との比としてあらわされる見掛け粘度が、変形によって、一時的に低下し、従来使用してきた円筒型の *Cuette* 型粘度計のトルク指数が、測定時間と共に減少するため、 $D-S$ 関係が一義的に定まらず、流動曲線を求めることができなくなる。

この実験では、試料汚泥として、種々の含水率の下水生活泥を使用し、チクソトロピーな性状に注目しながら、その流動特性を測定した結果を報告する。

2 実験装置と方法

一般にチクソトロピーの原因としては、①分散粒子間の牽引力の一時的破折、②粒子の異方性、③粒子の不均一性などの説があげられている。また、チクソトロピー物質の代表的なものとしては、塗料、印刷インキ、ベントナイトなどがあり、このようなコロイド系懸濁液に多くみられる現象であると考えられている。

これらの物質に比較して、下水汚泥の組成は複雑で、コロイド質から砂質粒子まで含まれ、その性状はもとより流動特性も極めて複雑なものであるといわれている。

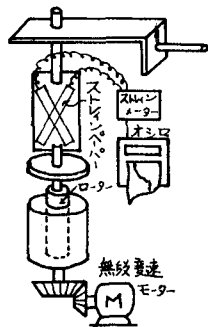
チクソトロピーの測定方法には、①ねじれ振子による方法、②倒管法、③ *Mooney* の粘度計による方法、④履歴曲線による法、などがあり、いずれも外的要因としての測定時間の因子が大きく影響するものである。

われわれは、試作した *Cuette* 型粘度計(図-1 参照)を用い、外円筒の回転速度も一定に保ちながら、内円筒の受けるトルクと時間の関係、すなわち、一定なり速度による場合と、履歴曲線による方法、すなわち、ずり速度も 0 から ω r.p.m. までを、時間に直線的に回転速度を増加させ、直ちに減速をはじめ、次の時間にもずり速度を 0 にする、その際に内円筒の受けるトルク-時間曲線をおめようとするものである。

試作した粘度計は、市販の東京計器の B 型粘度計の原理を利用し、内円筒の受けるトルクは、内円筒を吊した板バネの両面に張ったストレーンゲージにより、ねじり歪量を取りだし、ペン書きオシロを用いて、自記記録できるようにした。

駆動モーターは、所要の回転特性を有するリンクコン式無級変速モーターを用いた。このモーター

図-1 装置略図



の特性は出力 100 W 0 ~ 300 rpm まで無段変速が可能であった。

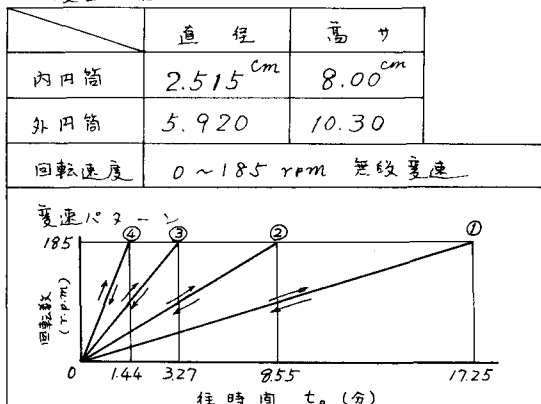
また、内円筒表面および外円筒内面は、汚泥試料と円筒面の滑りを防止するため、水ペーパー-200番を張り付けた。

試作した粒度計の寸法を下表に示す

a. 一定すり速度による方法

	直径	高さ
内円筒	2.015 cm	8.00 cm
外円筒	5.920	10.30
回転速度	5, 10, 20, 60 rpm	

b. 履歴曲線による方法



試料調整

採取した汚泥は、大阪市中浜下水処理の生活泥で、粗大挟雜物を除去するため 2 mm の篩で篩別し、腐敗防止のため 1 l につき 5 cc のホルマリンを添加した。

含水率の調整は、採取汚泥を 3000 rpm 10 分で遠心沈殿を行い、この沈殿汚泥を最低含水率試料汚泥とし、含水率の調整には水道水を用いた。

3 実験結果と考察

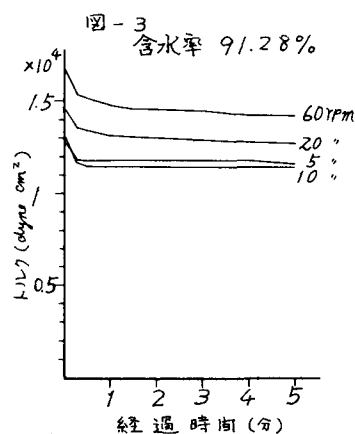
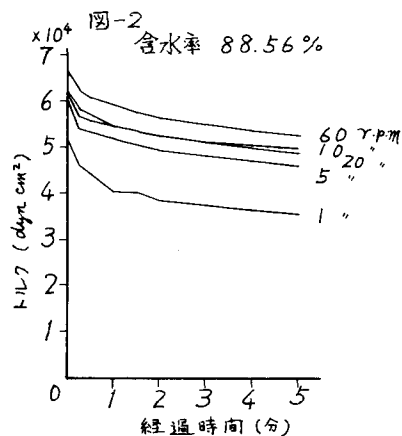
A 一定すり速度による方法

汚泥などの物質の粘度測定において使用されてきた、この方法は、一定のすり速度を与えた場合、せん断応力は一定値となり、それからのせん断速度 D に対するせん断応力を求め、この関係から流動曲線を決定する。

しかし、物質がクワソトロピックな物性であれば、その流動に大きく時間の因子が大きく影響する。すなわち、内円筒のうけりトルクは、初期の段階で最高値を示し、時間の経過と共に、物質の構造破壊が進行し、トルクは減少するが、同時に構造形成が起り、トルクは与えられたせん断速度に対して一定の値（平衡値）に近づく。

下水生汚泥の含水率を 88.56 % ~ 95.16 % の範囲で 6 種類について、すり速度 5, 10, 20, 60 rpm の場合のトルク時間曲線を求めた結果の一例を図-2 ~ 4 に示す。

図から、初期の段階で内円筒の受けるトルクは最大



となり時間の経過と共にしだいに減少して行く傾向が、低含水率の場合ほど大きくあらわれている。この減少の部分がチクソトロピーによる軟化によるものと思われる。

実験結果によれば、低含水率の88.56%の場合では、時経過5分では、いずれの回転数の時でも平衡値に達せずトルクの低下がみられるが、90.5%以上となると、ほぼ平衡値がみられ、また最大トルクと平衡値トルクの差が、低含水率の場合に比べて小さく、チクソトロピー性の低下が認められる。一方含水率が、92.78~94.37%以上となると、初期トルクは極大値を示すが、1分以上経過すると、トルクは増大をはじめ、チクソトロピー性とは反対に、レオペクシーな挙動があらわれ、95.16%の含水率ではその傾向が顕著になることが認められた。

これらのことからみて、下水汚泥のレオロジー的挙動は著しく複雑で、チクソトロピーな性状、レオペクシーな性状について充分な知見をうることから、流動特性の考察を行わなければならないことが認められた。

一方、経過時間もパラメータとして、せん断速度に対応する、回転速度を縦軸に、せん断応力に対応する、内円筒のトルクを横軸として、図-2~4を描き換之れば、図-5~7のようになる。

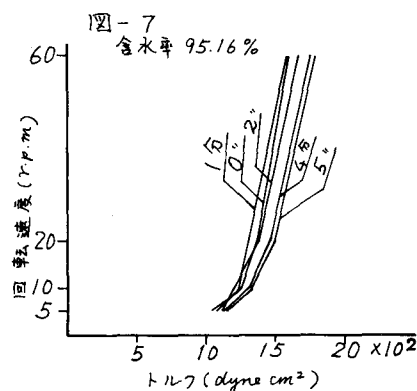
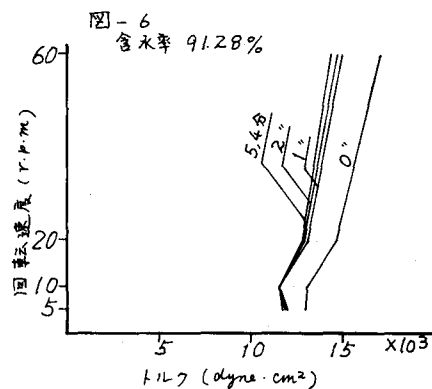
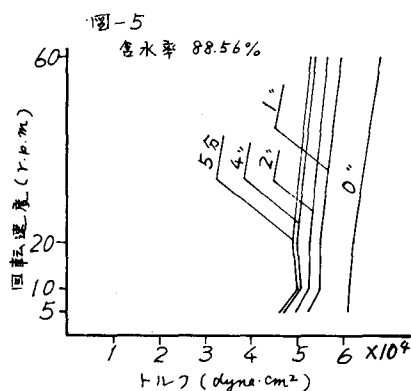
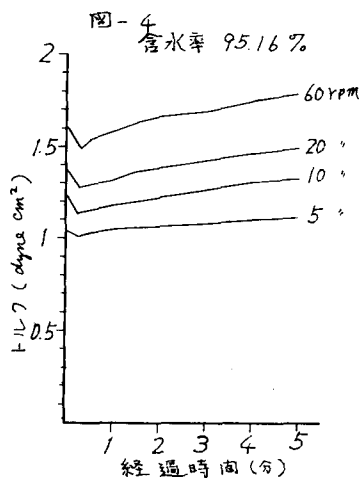
この曲線は明らかに、いわゆる流動曲線(Flow-Curve)を示し、かつこの流動曲線が、時間的に変化する状態を示すことになる。

経過時間も、平衡発生時にとれば、

その曲線は、平衡値における流動曲線をあらわすことになり、かなりの長時間(チクソトロピーのタイムスケールと密接な関係をもつ)にわたって流動を続けている、汚泥のレオロジー特性をあらわすものといえる。

図によれば、下水生汚泥の含水率が91.28%以下の含水率で、ほぼ時間の経過に関係せず、ビンガム流動に近い流動を示す。

含水率が、95.16%になると、時間の経過と共にせん断応力が大きくなる傾向を示す。このことは

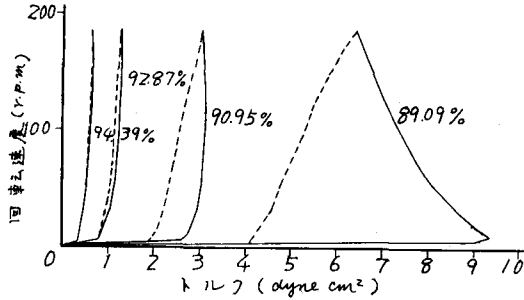


低含水率の場合とは全く反対の傾向で、この含水率の汚泥を流動させた場合、抵抗応力が時間の経過と共に増加する、レオパフシクな挙動を示すものである。

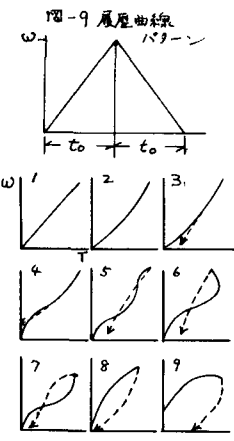
B 履歴曲線による方法

4クソトロピーのもう一つの測定方法である履歴曲線による方法により測定を行った結果を図-8に示す。

図-8 履歴曲線



4クソトロピーの履歴法に関しては、Bird-Carreau model の流動パターンがある。これは図-9に示したように、回転速度 ω を一定速度でも、時間上昇させ、その後 t_0 で時間減少させるものとして、9つのパターンをえたものである。



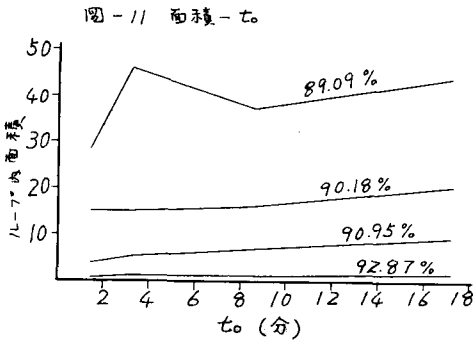
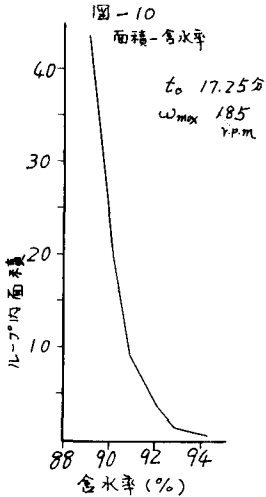
この実験においては ω_{max} を 185 rpm とし、 t_0 については、4つの流速パターン（前述）について、含水率 89.09% ~ 94.39% の範囲で、7種類変化させ履歴曲線を求めた。

下水汚泥の履歴曲線は上述の9つのパターンの中いずれにも属せず、やや⑧または⑨型に近い傾向をもつようである。

履歴曲線の形は 90.95% 以上の含水率では、定性的には同じ傾向を示すようであるが低含水率になると著しく形が異ってくる。

このループ内の面積と4クソトロピーとの間には密接な

関係があるといわれているので、ループ内面積と汚泥含水率との関係を図示すれば、図-10のようになる。この結果が示すように含水率 93% を境にして、含水率が低下すると著しく面積が大きくなりしたがって、4クソトロピー性が大まに変化すること示し、高含水率領域では、それが小さくなることを認められた。また、ループ内面積と t_0 (往路時間) との間関係は、図-11に示したように、 t_0 を小さくすれば面積は小さく、 t_0 を大きくすれば大きくなる。このことから、精度のより良い測定には t_0 も大きく採れば良いものといえよう。



4 まとめ

数少ない実験からは、推論の域をでないが、以上のことからいえることは、①下水汚泥の4クソトロピーはかなり顕著なものがある ②経過時間上りみれば流動曲線はビンガム流動に近い、③流動特性の変化する含水率は93%附近の