

関西大学 工学部 正員 西形 達明
 関西大学 工学部 正員 山岡 一三
 日本シールドeng. (株) 正員 田家 学

1. まえがき

底泥の巻き上げ特性を考察する場合、底泥自身の強度パラメタとしては主にそのせん断降伏値や粘度が用いられるが、特に含水比の高い底泥についてはせん断強度と流水によるせん断応力との相関性および巻き上げ量との関係については不十分な点が多い。これは究極的には粘性土における土粒子間の結合力に起因するものと考えられているが、もしこれが実際に底泥の巻き上げ限界および巻き上げ速度を支配しているならば、粒子間結合力に基づいた土の流動あるいは強度というものが取り扱われなければならない。そこで本研究では、粘度試験の結果と Killy¹⁾ や Raudkivi²⁾ の研究を基にして、粘土の微視的構造に着目した rate process 理論を底泥の巻き上げ現象に適用し、若干の考察を行うことにする。

2. 実験方法と rate process 理論

底泥試料としては、カオリンと2種類のベントナイトを用い、粘度試験には図-1に示されるようなコンプレート型の回転粘度計を使用した。本試験機は試料の量も少なく、循環水によって試料温度を一定に保つことができるようになっており、粘土の流動に対する温度の影響の測定には適したものである。

Rate process 理論では、流動に関する基本機構として流動単位を仮定し、流動現象をせん断応力による微視的な流動単位的位置交換の過程であるとしている。理論の詳細については紙面の都合上省略するが、粘土の流動を表す基礎式として次式が与えられている。

$$\dot{\gamma} = 2 \cdot X \cdot \frac{k \cdot T}{h} \exp \left(-\frac{\Delta F}{R \cdot T} \right) \sinh \left(\frac{\tau \cdot \lambda}{2 \cdot k \cdot S \cdot T} \right) \quad (1)$$

ただし、 $\dot{\gamma}$: ひずみ速度、 k : ボルツマン定数、 h : プランク定数、 R : ガス定数、 ΔF : 活性化エネルギー、 T : 絶対温度、 τ : せん断応力、 X : frequency factorである。また S は微視的すべり面単位面積当りの流動単位数 (結合数) で、 λ は流動単位の平衡位置間の距離である。

3. 実験結果と考察

(1) 式によると流動に関与する外部からの要因は温度とせん断力である。そこで粘土試料の温度を変化させて粘度試験を行った結果の流動曲線の一例を図-2に示す。これより、高ずり速度領域ではわずかに温度の影響が見られるが、底泥の巻き上げ現象に重要であると考えられる低ずり速度領域ではほとんど差がない。したがって図-3に試料の含水比とせん断降伏値の関係を示すが、これについても温度の影響はほとんどみられ

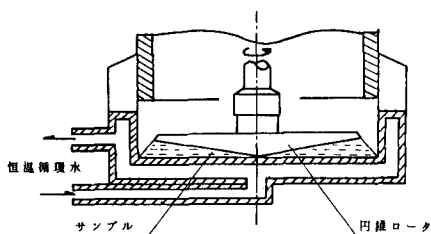


図-1 コンプレート型粘度計

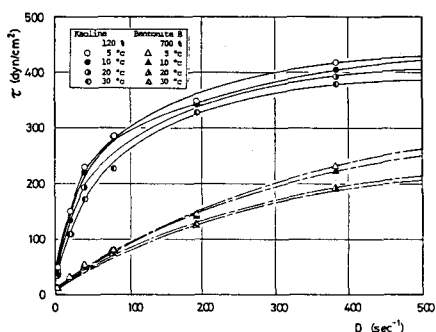


図-2 流動曲線

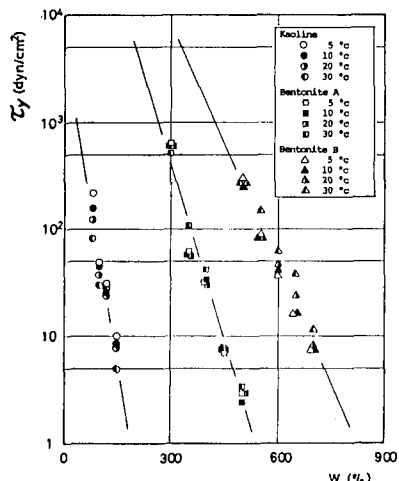


図-3 降伏値に対する温度の影響

ない。そこで底泥の流動現象では、熱エネルギーの影響はせん断力によるエネルギーに比べて微少であると考えると、 $\sinh(\tau \cdot \lambda / 2kST) \approx (1/2) \exp(\tau \cdot \lambda / 2kST)$ となり (1) 式は次のようになる。

$$\dot{\gamma} = X \cdot \frac{k \cdot T}{h} \exp\left(-\frac{\Delta F}{R \cdot T}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\tau \cdot \lambda}{2 \cdot k \cdot S \cdot T}\right) \quad (2)$$

したがって粘度試験から、ずり速度 ($\dot{\gamma}$) とずり応力 (τ) の関係が得られると、上式から粘土の結合数並びに活性化エネルギーを求めることができる。ただし、今回は松井らの研究³⁾に習って $\lambda = 2.8 \text{ \AA}$ 、 $X = 1$ とし、また試料が非ニュートン流動を示すことから、低ずり速度領域の $\dot{\gamma}$ と τ の関係を用いた。このようにして得られた、結合数とせん断降伏値との関係を図-4 に示すが、両者には明らかに相関性が見られ、また粘土の種類が異なってもほぼ同様な関係を示している。

次に、底泥の巻き上げ現象との関連性について考察する。そこで (2) 式の両辺の対数を取り、また底泥が一定組織を有するならば、その侵食速度 ($\dot{\epsilon}$) は応力が作用する方向に流動するはずみ速度に等価なものであると仮定すると次式が得られる。

$$\ln(\dot{\epsilon}) = \ln\left(X \cdot \frac{k \cdot T}{h}\right) - \frac{\Delta F}{R \cdot T} + \frac{\tau \cdot \lambda}{2 \cdot k \cdot S \cdot T} \quad (3)$$

図-5 はカオリンを底泥試料として実験水路を用いて、各種の掃流力下で巻き上げ速度を測定した結果を示したものであるが、巻き上げ速度の対数と掃流力との間には直線関係が見られ、(3) 式がほぼ満足されているものと考えられる。そこでこの直線の勾配から結合数 (S') を求め、粘度試験から得られた結合数と比較したものが図-6 である。粘度試験から得られた方がやや大きい値を示しているが、両者の間にはほぼ比例関係が見られ、この2つの流動現象の等価性を示唆しているようである。次に流水によって底泥表面が完全に破壊される破壊限界掃流力を測定した結果と前述の結合数 (S') との関係を図-7 に示す。図中には Killyらによってイライト粘土に

塩分を加えた試料を用いて得られた結果も同時に示されている。これを見ると底泥の種類が異なってもほぼ同様な関係が得られており、結合数による限界掃流力の表現の可能性を示しているものと考えられる。

参考文献
 1) Killy, W.A., Proc. of ASCE, Vol. 107, 1981
 2) Raudkivi, A.J., Proc. Royal Soc. London, 1974
 3) Matsui, T., JSCE, No. 236, 1975

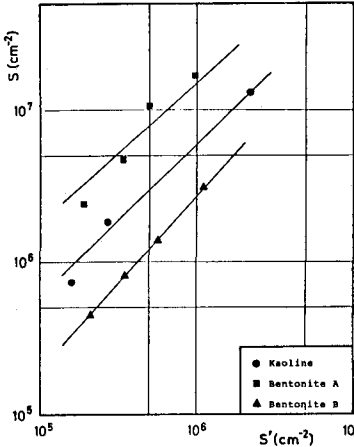


図-6 結合数の比較

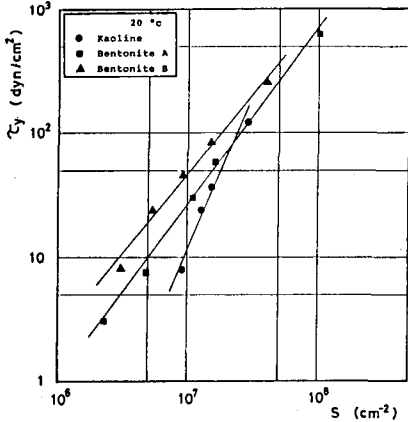


図-4 降伏値と結合数の関係

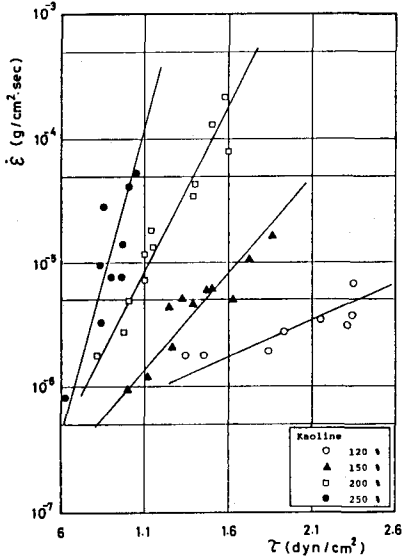


図-5 巻き上げ速度

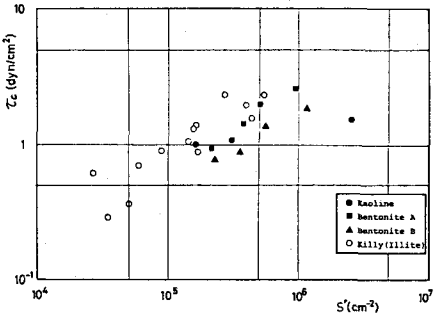


図-7 破壊限界と結合数の関係