

東北大学大学院 学生員○西村 修 正 員 後藤光亀
正 員 佐藤敦久 学生員 佐藤秀樹

1. はじめに

上水汚泥の脱水処理プロセスを合理化するためには、汚泥の固液分離性を的確に把握することが必要である。しかし、上水汚泥は凝集操作によって形成したフロックの集合体であり、その固液分離性は粘土等とは大きく異なる。したがって、粘土の圧密の方法をそのまま導入して解析する（例えば標準圧密試験、圧密係数一定等）ことには疑問が残る。そこで、定率ひずみ圧密実験によって透水係数、有効圧力を空隙率の関数として求めその妥当性を検討すると共に、凝集の程度が固液分離性に与える影響を考察した。

2. 固液分離の基礎式⁽¹⁾

汚泥を固相と液相に分離し、図-1のようなモデルを考える。このとき、運動方程式、連続の式は固相（図中s）、液相（図中l）それぞれについて得られるから合計4つの式が求められる。この式中的変数は P_s （有効圧力）、 P_l （間隙水圧）、 ϵ （空隙率）、 V_s 、 V_l （それぞれ固相、液相の体積フラックス）、 K （透水係数）の6つであり、式を解くためには一般に次のような関係を求めなければならない。

（有効圧力） $P_s = f(\epsilon) \dots\dots ①$

（透水係数） $K = g(\epsilon) \dots\dots ②$

3. 実験方法および実験試料

前回の報告⁽²⁾で有効圧力、透水係数と空隙率の関係を求めるために、定率ひずみ圧密実験を提案した。今回は、定率ひずみ圧密実験で得られるデータの妥当性を検討するために、圧縮透過実験を行った。実験試料は、カオリンを学内水道水に500mg/lの濃度になるように混和し、AIT比1/20, 1/50, 1/100となるよう硫酸アルミニウムを用いて凝集させ、直接ろ過後の逆洗排水を重力沈降濃縮した汚泥、カオリン懸濁液を重力沈降させた汚泥、および学内水道水に硫酸アルミニウムを20g/lとなるよう注入し、pHを7付近に調整して作成した水酸化アルミニウム汚泥をモデル汚泥として用いた。カオリンおよび水酸化アルミニウムの粒子密度はそれぞれ2750、2880 (kg/m³)である。

4. 実験結果および考察 図-2は、AIT比1/20の汚泥に関して定率ひずみ圧密実験（●プロット）と圧縮透過実験（○プロット）より得られた有効圧力と $(1-\epsilon)$ の関係である。本実験の圧力範囲（0.5-50kPa）ではほぼ一致し、両対数紙上で直線に近似し①式が求められる。図-3は、透水係数とKozeny関数 $(\epsilon^3 / (1-\epsilon)^2)$ の関係である。Kozeny関数は、Darcy式の透水係数を空隙の性質を考慮して修正したKozeny-Carman式で用いられ、透水係数との関係は次のようになる。

$$K = \frac{1}{k_c} \cdot \frac{1}{S_g^2} \cdot \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \dots\dots ③$$

k_c : Kozeny係数、 S_g : 比表面積

これに対して、実験より求められた式は

$$K = \frac{1}{a} \cdot \left(\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \right)^b \dots\dots ③'$$

$$1/a = 5.10 \times 10^{-11}, \quad b = 1.52 \dots\dots ④$$

となり、③式とは異なった形であるが両対数紙上で直線に近似できることがわかった。また、圧縮透過実験より得られるデータとは空隙率の小さい部分で差が見られるが、ほぼ一致しているといえよう。したがって、定率ひずみ圧密実験によって汚泥固液分離性を評価できることがわかった。

図-4は、各汚泥に関して有効圧力と $(1-\epsilon)$ の関係を求めたものである。この結果から考えると、同じ有効圧力がかかる場合、カオリン汚泥

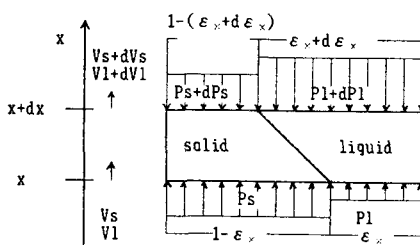


図-1 汚泥固液分離モデル

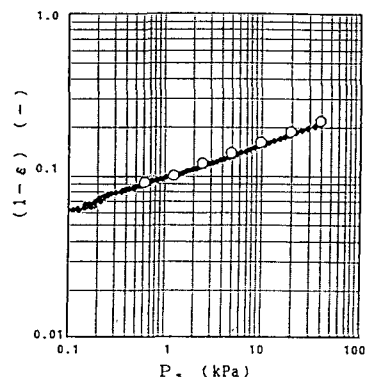


図-2 P_s vs. $(1-\epsilon)$

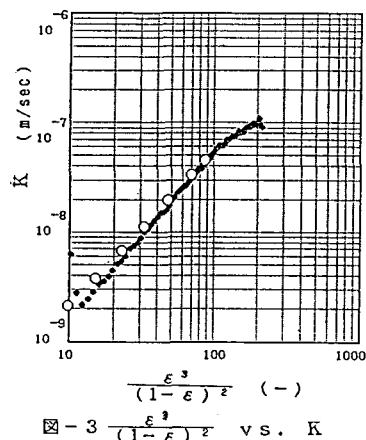


図-3 $\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}$ vs. K

は非常に密な構造、水酸化アルミニウム汚泥は粗な構造を持つことになり、その差は圧縮性の大小として現れる。本実験の圧力範囲で①式は

$$(1-\epsilon) = c \cdot P_s^d \quad c, d; \text{定数} \quad \cdots \cdots \text{①'}$$

のように求められ、比較的高い圧力範囲での①式⁽³⁾

$$\epsilon = c' \cdot \log P_s + d' \quad c', d'; \text{定数} \quad \cdots \cdots \text{①''}$$

と異なる形であった。

図-5は、各汚泥の透水係数とKozeny関数の関係を求めたものである。③'式でのbは、カオリン汚泥ではほぼ1、水酸化アルミニウムが多くなるにつれて表-1に示すように大きくなる。また、同じ空隙率で透水係数を比較すると、カオリン汚泥は非常に透水性がよく水酸化アルミニウムと大きく異なる。しかし、同じ空隙率の場合、汚泥中の物質が変わることによって透水性にこれほど大きな差が生じるとは考えにくい。

上述のような結果は、乾燥状態基準により空隙率を決定する(含水率と粒子密度から空隙率を計算する)ことに原因があると考えられる。図-6のように汚泥の構造を簡単に、カオリン、水酸化アルミニウムの固体分、カオリンおよび水酸化アルミニウムの構造水、自由水に分けられるとする。構造水は見かけ上固相と同様の挙動を示し、圧力をかけても脱水できず透水に対して有効な空隙ではないとすれば、特に水酸化アルミニウムを含む汚泥は実質の空隙が小さくなり、カオリン汚泥の固液分離性に近づくことになる。水酸化アルミニウム汚泥の湿潤状態基準の固相の含水率を70%と仮定して空隙率を修正し透水係数との関係を求めると図-5の実線のようになり、カオリン汚泥のプロットに近づき傾きがほぼ1になる。また、図-7には、上水汚泥の透水係数とKozeny関数の関係、および湿潤状態基準を凍結融解後真空脱水(40cmHg)を行って得られたケーキ含水率として空隙率を修正したものを示した。このときの傾きの変化b、b'を表-2に示す。b'は1にならないが、乾燥基準のbの変動は湿潤基準のb'にすることによって1.4-1.5の範囲ではほぼ一定となる。しかしながら上水汚泥の複雑な組成(いろいろな形状の懸濁成分や有機物等)が影響し、モデル汚泥のように評価することは容易でないと考えられる。

このように、カオリン等の粘土と大きく異なる構造水の存在が、上水汚泥のような乾燥状態基準な凝集系汚泥の固液分離性を特徴づけているといえよう。

5. おわりに

上水汚泥のモデル汚泥に対し定率ひずみ圧密実験を行った結果より、比較的低い圧力域での固液分離性を求め固液分離特性を考察した。今後、より定量的検討を加えるとともに、定率ひずみ圧密実験結果を用いて上水汚泥脱水プロセスの解析を行いたい。

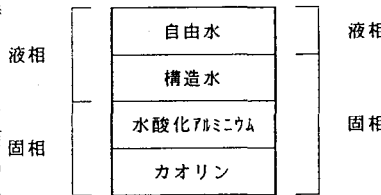


図-6 汚泥の構造

表-2 凍結融解後含水率基準のb'値

	b	b'	含水率(%)
A汚泥	1.91	1.53	63.1
B汚泥	1.65	1.44	39.3
C汚泥	1.59	1.42	41.9

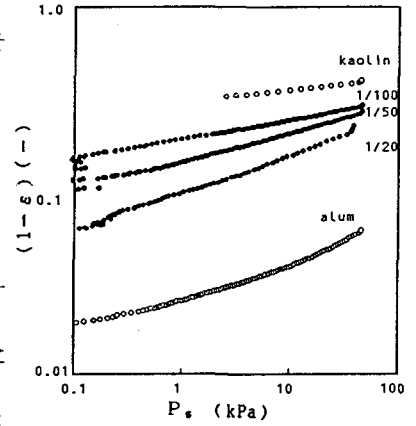


図-4 P_s v.s. $(1-\epsilon)$

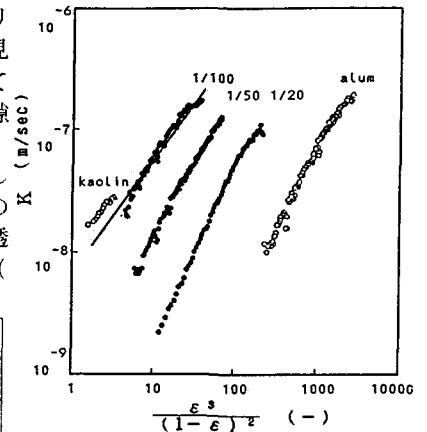


図-5 $\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}$ v.s. K

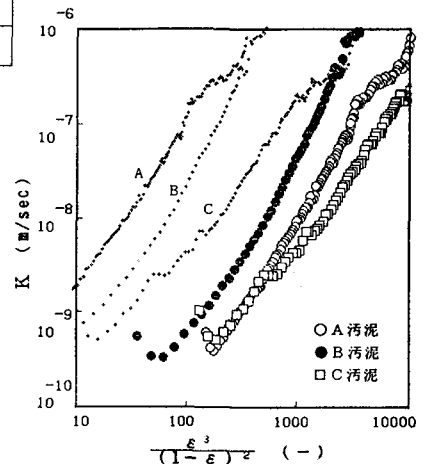


図-7 $\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}$ v.s. K

<参考文献>

- (1) 楠田 他:「汚泥の沈降濃縮に関する研究」土木学会論文集, 第294号(1980.12)
- (2) 西村 他:「上水汚泥の定率ヒズミ実験による低圧力域の脱水性評価について」土木学会東北支部(s62.3)
- (3) 後藤 他:「上水汚泥の脱水特性に関する研究(I)」水協誌, 第562号(s1979.7)