

II-13

活性汚泥の圧縮沈降

九州大学工学部 学生員 久保田 修
九州大学工学部 正会員 栗谷 陽一
九州大学工学部 正会員 楠田 哲也
九州大学工学部 正会員 大石 京子

1. まえがき 現在、汚泥の処理・処分には、重力濃縮が広く利用されているが、汚泥の有機物含有率の増加により濃縮性が悪化し、次に続く汚泥の消化及び脱水等の操作に大きな影響を及ぼしている。エネルギー消費型の機械濃縮を避けるために、凝集性を有する活性汚泥の圧縮沈降現象の解明が急がれている。

本研究では、活性汚泥の圧縮沈降を力学的に把握するために汚泥固相に生じる応力即ち有効応力と液相に生じる過剰間隙水圧を考慮し、これに基づいた圧縮沈降の基礎式で示される透水係数、有効応力とそれに対応する粒子変形及び固体分率との関係を調べ、さらに2つの方法により求めた汚泥の空隙率(固体分率)と透水係数及び有効応力との関係を調べてこれをもとに圧縮沈降のメカニズムを明らかにする。

2. 圧縮沈降の基礎式 圧縮沈降の基礎式を固相(汚泥の固体部分)と液相(汚泥の流体部分)とに分けると次に述べる仮定のもとに以下ようになる。(i)汚泥の性状は、均一である。(ii)汚泥の固体成分及び水の圧縮量は無視し得る。(iii)汚泥の間隙は、水で完全に飽和されている。(iv)汚泥中の水の排出は、一時的に行われそのときのレイノルズ数は、固相にとって液相にとって十分小さい。(v)汚泥の圧縮は一時的に行われる。(vi)汚泥中の固相と液相間の相対速度は、汚泥全体の移動速度に左右されない。(vii)沈降容器に基づく壁効果は無視できる。

○運動方程式

$$\text{汚泥固相: } \frac{\partial \rho_s}{\partial x} - \left\{ \frac{\mu}{K} \left(v_e - \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} v_s \right) \right\} + (1-\varepsilon)(\rho_s - \rho_e)g = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial \rho_e}{\partial x} + \left\{ \frac{\mu}{K} \left(v_e - \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} v_s \right) \right\} = 0 \quad \text{(2)}$$

○連続の式

$$\text{汚泥固相: } \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - \frac{\partial v_s}{\partial x} = 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial v_e}{\partial x} = 0 \quad \text{----- (4)}$$

但し、 x 軸は、鉛直上方を正とし、 ρ_s : 沈降した汚泥内の有効応力、 ρ_e : 沈降した汚泥内の過剰間隙水圧、 K : 透水係数、 μ : 汚泥液相の分子粘性係数、 ε : 空隙率、 v_e : 汚泥液相の体積フラックス、 v_s : 汚泥固相の体積フラックス、 ρ : 汚泥液相の密度、 ρ_s : 汚泥固相の密度である。

3. 実験装置及び方法

実験装置は、図1に示す様式で内径2.5cm(断面積3.3cm²)高さ30cm(総容量109ℓ)のアクリル樹脂を用いた。この沈降筒には、過剰間隙水圧測定用の管(8mmφ)が圧力変換器を通して接続されている。実験試料は

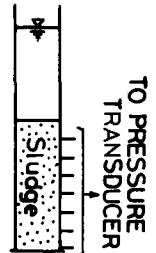


図1 実験装置

福岡市東部下水処理場の送還汚泥(5000~6000ppm, 比重1.6~1.8)を用いた。採取してきた汚泥を本流し腐敗防止のため100gℓのトリクロル酢酸(TCA)と汚泥のMLSSに対し約10%加えて攪拌し一様な汚泥とした。この汚泥を沈降筒に入れ実験を開始し、界面高と各点に於ける水圧を測定した。その後予め沈降筒の内壁に外部より磁力で固定し適当な間隔で配置したマーカー(断面が直径3mm程度の円形の発泡スチロールに幅3~4mmのグリキの帯を巻く。汚泥密度に近づけた物)に作用している磁力を切ることで汚泥とともに沈降させ、以後界面と各マーカーの高さそれぞれに各点における水圧を測定した。その後沈降が完了した時点で沈降した汚泥を数層に分割して採取し、各層の乾燥質量と乾燥密度とを求めた。固体分率(空隙率)は、二種の方法を用いて求めた。第一は、採取した各層の汚泥の乾燥質量から求めたもの(以下Eとする)であり、第二は、同じ汚泥を攪拌状態で350mlとリ遠心分離器に3000回転で20分かけて(約360G)求め

濃縮汚泥の体積より算出したもの（以下 E' とする）である。この3000回転で20分というのは、予め汚泥を遠心分離器にかけて3000回転の場合これ以上分離時間を延ばしても汚泥の固相体積はほとんど変わらないことから定められた値である。

4. 結果及び考察

図2, 図3に透水性係数とKozeny型の表現である $E^3/(1-E)^2$ との関係を示した。空隙率は、上述述べたように図2では E を、図3では E' を用いた。図2においては、同一の $E^3/(1-E)^2$ の値の点で圧縮沈降の進行につれて透水性係数が小さくなっていくが、図3においては、いわゆる $E^3/(1-E)^2$ の値の点でも透水性係数が $E^3/(1-E)^2$ の関係として一義的に決定されることとされる。これは、透水性係数と湿潤状態にある粒子間を流す作が通る時の通りやすさを表す指標であるから、湿潤状態の汚泥より算出した E' の方で、その透水性係数の概念をうまくとらえているためであると思われる。このときの透水性係数は、次のように与えられる。

$$RgK = \alpha \cdot \{E^3/(1-E')^2\}^{1.9} \quad \text{----- (5)}$$

式(5)は、他の実験例においてほぼ同じであり、 $\alpha = 6.0 \times 10^{-5}$ 2.0×10^{-5} で一般性のある透水性係数の表現式と見られる。

次に図4, 図5に前述と同一例の有効応力と固相分率との関係を示した。円筒より固相分率が大きいところ、つまり汚泥底部においては界面付近と比較して有効応力が急増していることが分る。

図5においては、固相分率（空隙率）が同じ値であるにもかかわらず沈降が進行するにつれて有効応力が小さくなる傾向にある。ところが図4においては、固相分率と有効応力との関係が一義的をのとして表現されている。このことは、有効応力が粒子の固相部分により主に伝達されていることを示唆している。このとき有効応力は、次のように与えられる。

$$P_s/Rg = 5.33 \times 10^2 \{ (1-E) - (1-E_c) \}^{2.0} \quad \text{----- (6)}$$

但し、 $(1-E_c)$: 有効応力が生じ始めるときの固相分率、本例においては、 $(1-E_c) = 0.8 \times 10^{-2}$ である。式(6)の式形と指数は、粘土フロックを用いた実験におけるものと同一であり、有効応力の大きいところでは一般性のある表現形式及び値であると思われる。しかし活性汚泥には力のヒステリシスが存在するたの以前に有効応力を受けたことのない粒子と受けたことのある粒子では有効応力のあうわ水方減少と異なる例があり、この点については、今後データの集積を計る必要である。

5. あとがき 実際の汚泥では、バクテリア等の作用によりガス発生、及びそれに続く汚泥の浮上が見られるので、これについて検討を加えていく予定である。

〈参考文献〉 楠田, 古賀, 奥谷: 汚泥の沈降濃縮に関する研究・土木学会論文報告集・第294号・1980年2月・P59 ~ P71

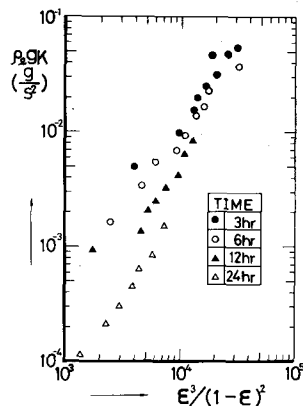


図2 透水性係数と空隙率(Kozeny型)との関係

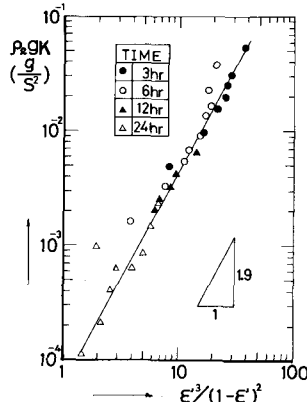


図3 透水性係数と空隙率(Kozeny型)との関係

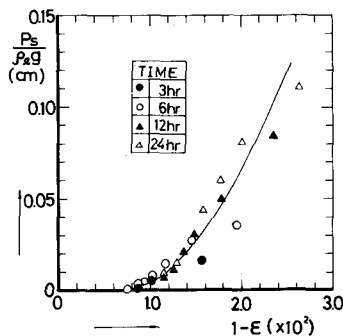


図4 有効応力と固相分率との関係

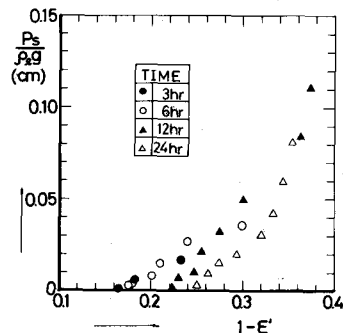


図5 有効応力と固相分率との関係