

九州大学 工学部 学生員 ○山根 清
工学部 正 員 栗谷陽一
工学部 正 員 古賀憲一
工学部 正 員 楠田哲也

I. まえがき 汚泥の圧縮沈降に関する理論的研究として Kynch の理論がある。此は汚泥の沈降速度も濃度の関数であると仮定し、濃度が一次元の波動方程式で表わされるとしたものである。其れに対し本研究は、圧縮沈降を力学的に把握し、汚泥固相に生じる応力即ち有効応力の概念を導入したものである。有効応力を考慮した場合の活性汚泥の圧縮沈降について、また活性汚泥と上水汚泥の圧縮沈降について若干の知見を得たので此に報告する。

II. 圧縮沈降の基礎式 有効応力を考慮した場合の運動方程式は以下の様になる。ただし、座標又は沈降筒の底面を原点とし、鉛直上方向を正の向きとする。

$$\text{汚泥全体: } \frac{\partial}{\partial x} (P_2 + P_3) + (1 - \epsilon)(\rho_3 - \rho_2)g = 0 \quad \text{---(1)}$$

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial P_2}{\partial x} + \frac{\mu}{K} (v_2 - v_3) = 0 \quad \text{---(2)}$$

汚泥固相については(1)、(2)式の差として求め得る。連続式は以下の様になる。

$$\text{汚泥全体: } \epsilon v_2 + (1 - \epsilon)v_3 = 0 \quad \text{---(3)}$$

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon v_2) = 0 \quad \text{---(4)}$$

(1)、(4)、(2)式より汚泥固相の実速度は以下の様になる。

$$v_3 = -\frac{K}{\mu} \left[(1 - \epsilon)(\rho_3 - \rho_2)g + \frac{\partial P_2}{\partial x} \right] \quad \text{---(5)}$$

(2)式に於いて $\frac{\partial P_2}{\partial x} = 0$ と置くと、Kynch の表現に一致する。

此に、 P_2 : 有効応力、 P_3 : 過剰間隙水圧、 ϵ : 空隙率、 ρ_2 , ρ_3 : 各々汚泥固相、液相の密度、 μ : 汚泥液相の分子粘性係数、 v_2 , v_3 : 各々汚泥固相、液相の実速度

III. 実験装置及び方法 実験装置は図-1 に示す様な内径 2.5 cm, 高さ 30 cm で三絞に外すことのできるアクリル樹脂製の沈降筒を用いた。この沈降筒には過剰間隙水圧測定用の管が付けられており、ビニルパイプで圧力変換器に接続されている。実験試料は福岡市東部及び中部下水処理場の返送汚泥を用いた。採取してきた汚泥を水洗し、腐敗防止の為 MLSS に対し約 5% のトリクロル酢酸を加え、稀釈又は濃縮し所要の初濃度の汚泥とした。汚泥を沈降筒に入れ実験を開始し、界面高と水圧を測定した。然る後、汚泥中に磁力で固定していたマーカー(硬質スポンジにグリの帯を巻き、汚泥比重に近づけた物)を磁力を切ることで汚泥と一緒に移動させ、以後界面と各マーカーの位置と各点に於ける水圧を測定した。尚、溶解性成分による液相密度増の影響を水圧より除いた。或る程度沈降が完了した時点でサンプリングを開始した。汚泥を乱さな様に底板を徐々に上昇させ、任意の高さまでの汚泥をオーバーフローさせてサンプリングを行い、汚泥の濃度と比重を測定した。此で濃度と比重 0.45 のメンブレンフィルターにより濾された物と云う。又、汚泥の比重はピクノメーターを用い、減圧方式で気固分離した後測定した。

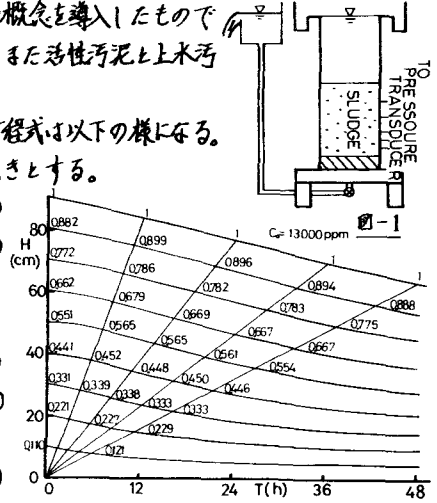


図-2 沈降曲線

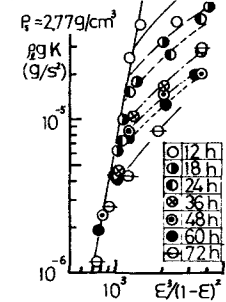


図-3 上水汚泥の透水係数

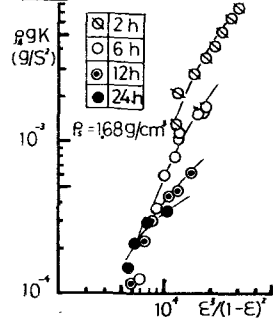


図-4 活性汚泥の透水係数

Ⅳ. 実験結果及び考察 図-2は初高91 cm下初濃度13000 ppmの活性汚泥の界面と各マーカの沈降曲線である。図中の数字は、原点と界面までの距離を1とした場合、其の同一直線上の各マーカの距離を示す。若干の数字の変動はあるが、粗一定である。従って、相当高濃度の汚泥についても初高の異なる汚泥の沈降曲線は粗相似形となり、Work-Kohlerの関係が大体成立する。しかし、本実験では底部付近の汚泥が6時間後に初濃度の約1/4倍になっているにもかかわらず、界面付近の汚泥は48時間経っても初濃度のもので、此場合等濃度線が原点を通る直線下にあるとしたKynchの理論は成立していない。図-3、4は各々上水汚泥と活性汚泥の透水係数と $\epsilon^3/(1-\epsilon)^2$ との関係を示したものであり、図を見て解る様に汚泥の透水係数はKozeny式で表わせない。上水汚泥については、界面近くの空隙率の大きい所で同一空隙率でも時間と共に透水係数が小さくなっている。又、空隙率が或る程度小さくなると透水係数は空隙率のみの関数として表わし得る。図-4の活性汚泥についても、界面付近で其の様な透水係数の時間的変化は見られるが上水汚泥程明確には見られない。図-5は上水汚泥について、有効応力と充填率(1- ϵ)との関係を示したものである。又、図-6、7、8は同様に、初濃度約7000 ppmで初高を変えた場合について示したものである。図-6、7、8と比べると解る様に初高が高くなるに従い充填率に対する有効応力の勾配が大きくなり、界面近くで同一有効応力に於ける充填率の時間と共に増大する傾向が顕著になっている。同じ有効応力が生じていても、其れに対応する変形、充填率は初高が低い程小さくなっている。又、過剰間隙水圧の減少により汚泥固相に有効応力が生じて、其れに対応する変形は直ぐには示さず時間的遅れ現象が存在し、其れは初高が高い程顕著である。図-5の上水汚泥の有効応力が充填率のみの関数として表わし得るのに対し、活性汚泥では此様な非オロジカルな現象が表われる。此様な現象は、活性汚泥フロックの二次構造によるものと考えられる。即ち、初期に於いて液相が比較的速く流れることにより、連続した水の通路が汚泥フロックの二次構造として生じる。初高が高くなればなる程、界面近くでは等速沈降(最大速度)時間は長くなり、汚泥フロックは二次構造を持ち易いと考えられる。其の過剰間隙水圧は比較的速く減少し有効応力は生じるが、其の応力に対する変形は直ぐには示さず時間的遅れ現象が存在する。其の時界面近くで透水係数の時間的変化が生じ、同一空隙率で透水係数は時間と共に小さくなる。上水汚泥と比較して、活性汚泥は比重が小さく、凝集力が大きい。つまり、小さい力でフロックは方向性を持ち易く、其の結果二次構造を保持易い。さらに生ずべき有効応力も相対的に小さい為、前述の様な初濃度一定で初高の異なる汚泥では構造の変化が生じるものと考えられる。

Ⅴ. まとめ 活性汚泥の圧縮沈降に於いて、汚泥の透水係数、有効応力は単なる濃度のみの関数とは云えず、汚泥自身の物性やフロックによる二次構造によって同一濃度でも時間によって変化する。其の様な変化は、初濃度が同じならば初高の高い程卓越する。

参考文献 1) 栗谷・楠田・古賀: 汚泥の圧縮沈降に関する基礎的研究, 53, 第13回衛生工学討論概要集

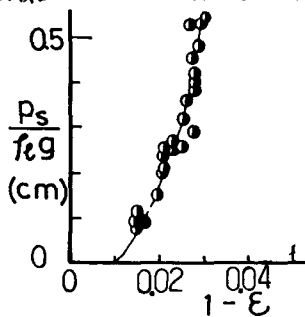


図-5 上水汚泥の有効応力

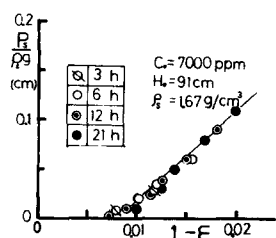


図-6 活性汚泥の有効応力

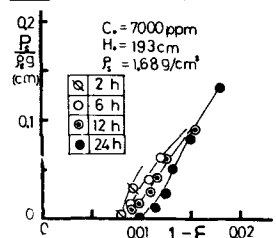


図-7 活性汚泥の有効応力

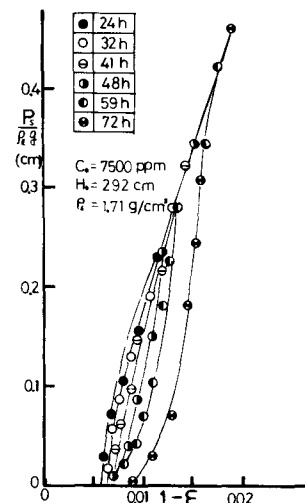


図-8 活性汚泥の有効応力