

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

I. まえがき

汚泥の圧縮沈降については従来より数多くの研究がなされてきた。実験的研究としては、Work-Kohler, Robert, Robinson等によるものがある。また理論的研究としては、汚泥の沈降速度は各層の濃度の関数としたKynchの理論がある。これらの研究結果は多方面に亘って用いられているが、実際の現象と異なる場合が多いとされている。この原因は、汚泥による自らを支える力、即ち有効応力を無視している為と考えられる。本報告は、圧縮沈降を力学的に把握し、有効応力の概念を導入した場合の活性汚泥の圧縮沈降について述べたものである。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。ここに、 P_0 :有効応力、 P_2 :過剰間隙水圧、 ε :汚泥空隙率、 ρ_s :汚泥固相の密度、 ρ_l :汚泥液相の密度、 μ :汚泥液相の分子粘性係数、 K :透水係数、 V_s :汚泥固相の空塔速度、 V_l :汚泥液相の空塔速度

$$\text{汚泥全体: } \frac{\partial}{\partial x} (P_2 + P_0) + (-\varepsilon)(\rho_s - \rho_l)g = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial P_2}{\partial x} + \frac{\mu}{K} (V_l - \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} V_s) = 0 \quad \text{--- (2)}$$

ここで汚泥固相については(1)式と(2)式との差として求められる。一方、連続式は、 g を空塔速度とすれば以下の様になる。

$$\text{汚泥全体: } V_l + V_s = g \quad (\text{ただし、本実験では } g = 0) \quad \text{--- (3)}$$

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

ここで、 V_{le} , V_{ls} を各々汚泥液相の実速度とすれば、(2)式の $V_l (= \varepsilon V_{le})$
 $V_s = ((1-\varepsilon)V_{ls})$ は(3)式を使って消去され、(2)式は、

$$\frac{\partial P_2}{\partial x} + \frac{\mu}{K} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} V_{le} = 0 \quad \text{--- (5)}$$

となり、Darcy式を表わす。

III. 実験装置及び方法

実験装置は、図-1に示す様な内径21.5cm, 高さ3m (容量110ℓ)の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、ビニールパイプで圧力変換器(三共電業製PC100GC)に接続されている。水圧は、キャリブレーション曲線により水頭に換算した。実験試料は、福岡市東部下水処理場の返送汚泥を用いた。採取して来た汚泥を直ちに沈降筒に入れ実験を開始し、界面高と水圧を測定した。或る程度汚泥が圧縮してから(約2~3時間後)、汚泥の比重に近づけたマーカー(硬質のスポンジにグリキの帯を巻いたもの)を汚泥と一緒に移動させた。これ以後、界面とマーカーの位置と水

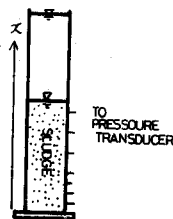


図-1. 実験装置

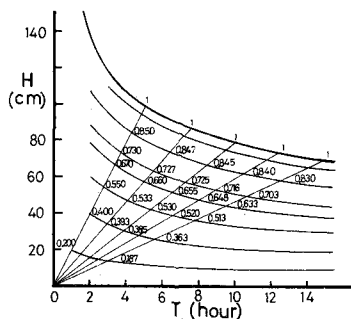


図-2. 活性汚泥の沈降曲線

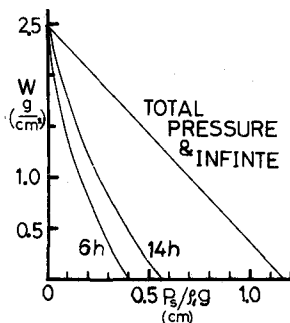


図-3. 有効応力と汚泥質量

圧とを測定していった。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。サイホンで、任意の高さまでの汚泥を平らになる様に採取していった。サンプリングした各層の汚泥の体積と濃度より、其の層に於ける汚泥質量を求めた。また、サンプリングした汚泥ブロックの比重をピクノメータで測定した。

Ⅳ 実験結果及び考察

返送汚泥を用いた圧縮沈降の界面及びマーカーの沈降曲線を図-2に示す。図中の数字は、原点と界面までの距離を1とした場合、その同一直線上の各マーカーまでの距離を示す。直線の傾きが小さくなるに従い同一沈降曲線上の値が若干減少する傾向が見られるが略一定である。此事は、各層に於ける沈降曲線が相似形で、Work-Kohlerの関係が略成立することを表わす。図-3は、任意の高さに於ける其れ以下にある汚泥の単位面積当りの質量と其の点に於ける有効応力との関係を示したものである。図中右の直線は、過剰間隙水圧が無くなる無限時間後の応力、即ち全圧力である。この汚泥では、14時間後で底部に於いて有効応力が、全圧力の50%を受け持っている。下に凸になっているのは、底部に於て動水勾配が小さくなっている為と思われる。図-4は、経過時間をパラメーターとし、透水係数 K と $\varepsilon^3/(1-\varepsilon)^2$ との関係を両対数軸上に示したものである。この図より、活性汚泥の場合、透水係数はKozeny型の表現はできないことが解る。マクロ的に見て、空隙率 ε が減少するに従い、透水係数 K が減少している。しかも、同じ空隙率であっても一定の値以上では、時間の経過と共に透水係数は、小さくなる。これは、一定の空隙率以上では汚泥が、時間と共に氷を通し難い構造に変化してゆくからと思われる。図-5は、空隙率 ε を千倍したものをパラメーターとし、相対速度 U_{rel} と動水勾配 $\frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dz}$ との関係を示したものである。動水勾配が一定のとき、相対速度が減少するに従い、空隙率が減少する。この実験では、動水勾配の変化が少なく同一の空隙率に対する、動水勾配と相対速度との関係を見出すことはできなかった。図-6は、経過時間をパラメーターとして、有効応力と充填率 $1-\varepsilon$ との関係を示したものである。マクロ的に見て、充填率が増加するに従い、有効応力が増加している。しかも、有効応力が同じでも、或る値以下では、充填率が時間と共に増加している。これは、同じ有効応力の場合、汚泥は塑性変形を起こし、充填率が增大するからと思われる。つまり、空隙率が或る値以下では、有効応力は空隙率のみの関数ではなく、同じ空隙率でも有効応力の値は変化する。空隙率が一定のとき、有効応力は時間と共に減少してゆくが、一定の値以上では $P_g=0$ とならない。即ち、或る空隙率以下では、等空隙率線は界面と交わらない。これは、等濃度線を原点を通る直線としているKynchの理論と異なる。

V. まとめ

活性汚泥の圧縮沈降の特性は、図-4、図-6から解る様に、空隙率が同じでも、透水係数と有効応力は時間と共に変化してゆく、汚泥の構造自体が変化してゆくことと思われる。

参考文献 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回衛生工学討論会概要集

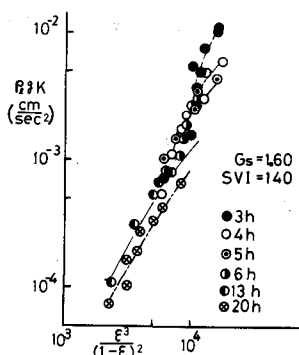


図-4. 時間をパラメーターとした空隙率と透水係数との関係

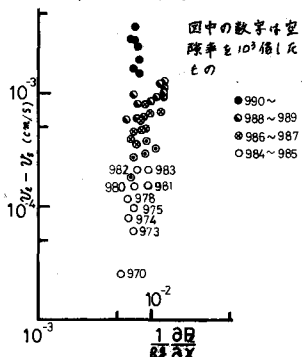


図-5. 空隙率をパラメーターとした動水勾配と相対速度の関係

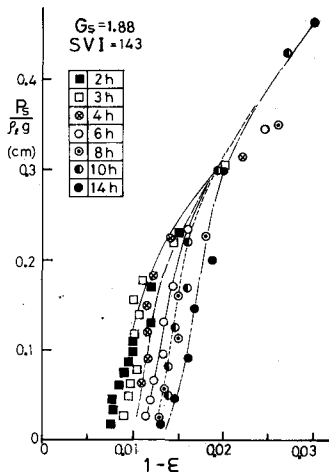


図-6. 時間をパラメーターとした充填率と有効応力との関係