

九州大学 正員 ○古賀 憲一

同 上 栗谷 陽一

同 上 楠田 哲也

1. まえがき 近年における水質規制の強化によって、汚泥の処理、処分が深刻な問題となっている。汚泥の沈降濃縮操作は脱水操作とともに汚泥の処分に大きく影響を及ぼすため、汚泥の圧縮沈降現象を解明することは重要と考えられる。汚泥の圧縮沈降に関する研究は数多くあるが、現象の解明に有効応力の概念を導入した例は少なく、未だ検討の余地が残されているようである。著者らは、この観点に基き、主として淨水場汚泥を用いて有効応力の概念を導入した圧縮沈降現象の解析を進めてきた⁴⁾。今回は、特に試料として活性汚泥を用いた実験を行ない、汚泥の透水性、力学的特性に及ぼす初高、初濃度の影響について考察を加えた。

2. 圧縮沈降の基礎式 有効応力も考慮した場合の運動方程式は以下になる。ただし、座標又は鉛直方向上向きを正とし、流体の排水は一軸的に行われ、ダルシー則が成立するものとする。

$$\text{汚泥全体} : \partial(P_s + P_f) / \partial x + (1 - \varepsilon)(\rho_s - \rho_f)g = 0 \quad \text{-----(1)}$$

$$\text{汚泥液相} : \partial P_f / \partial x + \mu \cdot \varepsilon (v_s - v_f) / K = 0 \quad \text{-----(2)}$$

一方、連続の式は以下になる

$$\text{汚泥全体} : \varepsilon v_s + (1 - \varepsilon)v_f = 0 \quad \text{-----(3)}$$

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

P_s : 有効応力, P_f : 過剰間隙水圧
 ε : 空隙率, K : 透水係数
 v_s, v_f : 各々汚泥液相, 固相の速度
 μ : 粘性係数, t : 時間
 ρ_s, ρ_f : 各々汚泥液相, 固相の密度

$$\text{式(1), (2), (3)より汚泥固相の速度は } v_s = -K/\mu \{ (1 - \varepsilon)(\rho_s - \rho_f)g + \partial P_s / \partial x \} \quad \text{-----(5)}$$

で表わされる。

3. 実験装置及び方法 実験は、図-1に示すような内径21.5cm、高さ3mのアクリル製パイプの沈降筒を用いて行なった。この沈降筒には圧力検出用の真鍮管を取り付けてあり、圧力の検出には圧力変換器を用いた。実験に用いた試料は、福岡市東部処理場の移送汚泥(お濃度約5000mg/l、比重1.6~1.7、有機含有率約70%)であり、実験開始前の予備処理として、充分水洗いを行ない、腐敗防止のためにトリクロル酢酸100g/lをHLSSに対し約5%添加する。汚泥を沈降筒に注入する前に外部からの磁力を利用して、沈降筒の内壁に適当な間隔で識別子を固定しておく。この識別子は硬質スポンジにブリヤ片を巻き比重を圧縮沈降

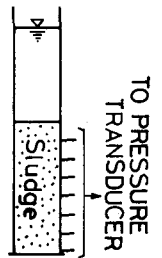


図-1. 装置概略

時の汚泥の比重に近づけたもので、外部からの磁力を切れば汚泥の圧縮につれて汚泥とともに下方に移動するものである。実験方法としては、まず前述の方法で準備した試料を所定の濃度になるように希釈あるいは濃縮し、沈降筒に静かに注入する。注入し終えた時を実験開始時刻とし、以後、所定の時間間隔で界面、識別子の位置、過剰間隙水圧を測定する。実験終了時に、空隙率分布を求めるために汚泥をスライスカットで採取する。この空隙率分布と識別子との移動曲線から任意時間における空隙率分布が得られる。

4. 結果及び考察 図-2に、汚泥の初濃度を約6000mg/lにし、初高を2.7mとした時の(実験A)界面沈降曲線、識別子の移動曲線を示す。同図の破線は、初濃度がほぼ同じで初高を0.9mとした時の(実験B)界面沈降曲線である。この図において、界面沈降曲線、識別子の移動曲線はほぼ相似となっており、Work-Kohlerの関係がほぼ成立しているようである。実験A、Bで得られた有効応力と充填率(1-ε)との関係を図-3に示す。図中の数字は沈降経過時間である。この図及び図-2から、圧縮沈降区間が始まって実験終了までの時間内であれば、有効応力は経過時間に依らずほぼ充填率(空隙率)の2乗の関数と見なし得ることがわかる。図-3において、実験Aと実験Bを比べると、初高の高い程、同一の有効応力で充填率が小さくなっており、低い

ものに比べて圧縮されにくくなっていることがわかる。汚泥の自重によって汚泥の圧縮が促進される時、初高が異なっても汚泥粒子の微細構造が相似の形で変化するならば、有効応力と充墳率との関係は初高に依らず双方とも1本の曲線で表わされるはずである。また、クリーア現象と同様の形で汚泥が圧縮されるなら初高の高い方が低いものに比べ、沈降筒下部での汚泥がより圧縮されるため、同一有効応力での充墳率は大きくなるはずであり、いずれの場合でも図-3に示す傾向は現われない。このことから、初濃度が同じでも初高が異なれば汚泥粒子によって形成される微細構造に変化が生じ、初高の高い方の構造がつぶれにくいものになっていると考えられる。実験-A, Bで得られた透水係数と空隙率との関係を図-4に示す。横軸はKozeny型で表現したものである。データに若干のばらつきがあるが、実験-A, Bの結果を比べると同一の空隙率でも初高の高い程、透水係数は大きいようで、間隙中の流体が上方へ通過し易いことを表わしている。以上のことから、初高の高い場合、流体の通過性の高い、つぶれにくい構造が形成されていると考えられる。その時の汚泥構造は、微細粒子が二次的構造を形成し、間隙はある程度管状の水路になっているものと思われる。このような構造が形成される原因として、汚泥圧縮に伴う上昇流が考えられよう。すなわち、上昇流によって間隙内にある動き得る微小な粒子群が汚泥内の凹部へ移動したり、あるいは、管状の水路ができるため結局はつぶれにくい、透水性の高い構造が形成されるものと考えられる。なお、浄水場汚泥に比べ、活性汚泥は比重も小さく、粘着性に富んでおり、このことが上述した構造の形成を促進しているとも考えられる。つぎに、汚泥初濃度を1800 mg/lとし、初高0.9 m (実験-C), 2.7 m (実験-D)として実験を行なった。これらの実験では、初濃度が高いため、等速沈降段階はほとんど生じておらず、沈降初期付近から圧縮沈降段階に入っていた。図-5に、実験-C, Dで得られた有効応力と充墳率との関係を示す。この図においては、有効応力が充墳率のみでは規定されず、それらの関係が経過時間とともに次第に変っている。さらに、初高の違いによって、その変化の様相が異なっている。実験-Cの初高の低い場合、初期空隙率付近で有効応力の立ち上がりが認められ、沈降初期から有効応力が生じている。そして同一の有効応力でも経過時間とともに充墳率が増しており、クリーア現象と類似の形で汚泥が圧縮されていくことがわかる。一方、実験-Dの場合、時間変化に伴う有効応力と充墳率との関係は実験-Cのものとは逆の変化を示している。すなわち、時間の経過に伴って同一の有効応力でも充墳率は小さくなっており、圧縮の進行とともに、次第につぶれにくい構造が形成され、図-3に示した傾向が1回の回分実験内で現われたものと思われる。したがって、実験-Cの場合、初高が低いために実験-Dで示されたような構造が形成される以前に汚泥の圧縮が始まったものと考えられる。ちなみに、著者が以前に浄水場汚泥を用いて得たデータでは、有効応力はほぼ充墳率のみの関数として表わされ、本報で示したような傾向は余り認められていない。活性汚泥の微細構造の形成には、活性汚泥の小さい比重、高い粘着性がかなりの影響を及ぼしていると考えられ、図-3, 5で示した傾向は一つの活性汚泥特有の現象とも考えられよう。

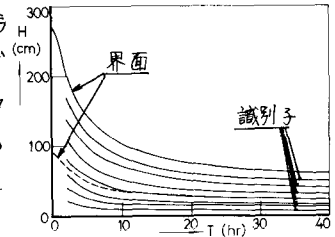


図-2. 界面の識別子の時間変化

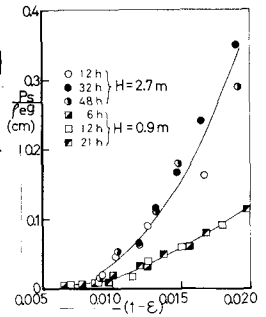


図-3. 有効応力と(1-E)との関係

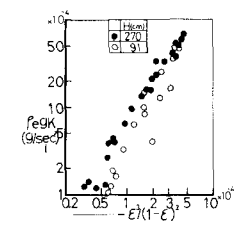


図-4. Kと空隙率との関係

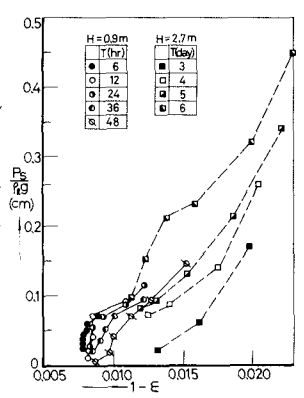


図-5. 有効応力と(1-E)との関係

参) 1) Lynch "A theory of Sedimentation" Trans. Faraday Soc. Vol. 48, 1952
 2) 永積 "圧縮沈降領域における活性汚泥スラリーの性状" 下水道協会誌, Vol. 16, No. 11, 1979
 3) 栗原 隆 "観測物の圧縮沈降過程に関する研究" 粉体工学論文, Vol. 16, No. 11, 1979
 4) 栗原 隆, 古賀 "汚泥の沈降沈降に関する研究" 土木学会論文 NO. 294, 1970