

九州大学工学部 学生員 ○綿引 綾一郎

九州大学工学部 正員 楠田 哲也

九州大学工学部 正員 栗谷 陽一

1. まえがき 下水処理場の最初沈殿池や最終沈殿池から発生した汚泥は処理処分を除き、前処理として濃縮が行われる。濃縮には一般に重力濃縮法が採用されているが、汚泥中の有機物含有量の年々の増加により汚泥密度の低下と汚泥からのガス発生量の増加が顕著となり、この結果、汚泥濃縮度の低下が生じ、問題となっている。省エネルギーの観点から重力濃縮度の低下の防止は、1)汚泥見かけ密度の減少を引き起こすガス発生防止、2)発生ガスの汚泥固体への付着の防止、のいずれかが可能であるならば達成される。余剰汚泥におけるガス発生は、初期のガス発生期、それに続くガス発生停滞期とその後のガス発生期を経ることがわっている¹⁾。このため本報告では汚泥濃縮初期のガス発生停滞期に着目し、停滞期の特性を利用した濃縮実験を行い、濃縮度改善の可能性について検討を加えた。

2. 実験装置及び方法 下水処理場より採取した汚泥をガス捕集装置(図-1)ならびに汚泥槽(図-2)に入れ、発生ガス量と汚泥中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、アルカリ度の経時変化を測定した。ガスの発生量はマノメータの水柱変化とシリンドリックで採取したガス量の総和から求め、ガス成分はガスクロマトグラフにより調べた。濃縮には図-3に示す沈降筒を用いた。実験はガス発生停滞した12時間後より開始した。実験開始に際してはタンク内に蓄えられた汚泥を強く攪拌し、発生ガスをバースしたものを沈降筒に入れた。濃縮実験では界面およびマーカー(直径3mm²の円形発光ステロールにポリキ板を巻きつけたもの)の位置、および過剰間隙水圧の経時変化を測定した。濃縮実験は24時間行い、実験終了後、汚泥を数cm単位のスライスとして取出し、各層の汚泥を遠心分離器にかけ(3600rpm 20分)、固相と液相を分離し、汚泥固相の湿潤体積を求めた。実験に用いた汚泥試料は福岡市下水道処理場の返送汚泥であり、SVIが163、SSが5980mg/lであった。実験は20℃の恒温室で行った。

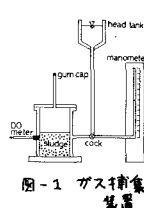


図-1 ガス捕集装置

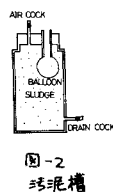


図-2 汚泥槽

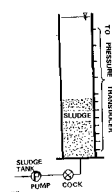


図-3 沈降筒

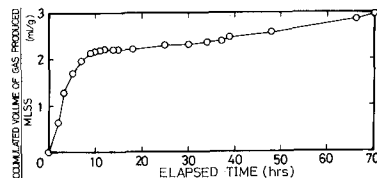


図-4 累加ガス量の経時変化

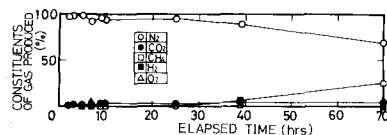


図-5 ガス成分の経時変化

3. 実験結果と考察 (1)ガス発生実験 発生したガスの累加ガス量とガス成分の経時変化を図-4、図-5にそれぞれ示す。ガス発生過程には実験開始後より直ちにガスが出る初期ガス発生期、それに続くガス発生停滞期と二度目のガス発生期があることがわかる。初期のガス発生期のガスの成分はほとんどが $\text{NH}_4\text{-N}$ であり、二度目のガス発生期には CH_4 が検出され、メタン醗酵によるガス発生が始まったことを示している。図-6、図-7に $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とアルカリ度の経時変化を示す。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とも実験開始後11時間目まで急速に減少しているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は増加し続けている。このことから初期のガス発生は、実験開始時に存在した $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を消費した脱窒によるものと

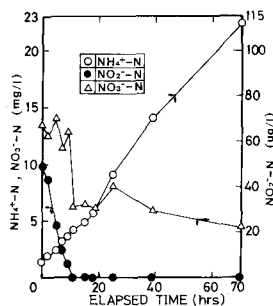


図-6 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の経時変化

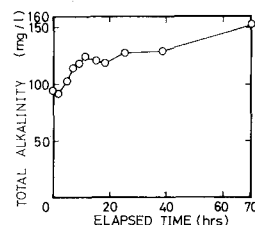


図-7 アルカリ度の経時変化

考えられる。アルカリ度の上昇は11時間目まで約30mg/lであり、これは100-1に換算すると8.4mg/lとなり脱窒を裏付けている。

(2)圧縮沈降実験 初期ガス発生期に続くガスの停滞期を利用した濃縮実験を行った。

〈基礎式〉 圧縮沈降の基礎式を固相(汚泥の実質部分)、液相(汚泥中の液体部分)と気相(発生ガス)とに分け、次の仮定のもとに以下のようになる。²⁾ ①汚泥の性状は均一、②汚泥の固体成分および水の圧縮量は無視できる、③汚泥中の液体の排出は一軸的に行われ、 Re は十分に小さい、④汚泥の圧縮は一軸的に行われる、⑤発生ガスの分布は一様、⑥発生ガスは汚泥に付着し、汚泥固相と同一速度で移動する、⑦発生したガスの気泡は微小なため、液体に対する運動上の境界条件は固体壁に対するものと同一、⑧ガス発生による固体、液体の減少は無視できる、⑨汚泥中の固・気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、⑩壁効果は無視できる、⑪発生ガスの水圧による圧縮は無視できる、⑫発生ガスの溶解量は無視できる。

運動方程式

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial P_s}{\partial z} + \frac{\mu}{k} (V_L - \frac{E_s}{E_s} V_s) = 0 \quad \text{汚泥固相: } \frac{\partial P_s}{\partial z} - \frac{\mu}{k} (V_L - \frac{E_s}{E_s} V_s) + \{E_s(S_s - S_e) + \rho_g(S_g - S_e)\} g = 0$$

連続の式

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial E_s}{\partial t} + \frac{\partial V_L}{\partial z} = 0 \quad \text{汚泥固相: } \frac{\partial E_s}{\partial t} + \frac{\partial V_s}{\partial z} = 0 \quad \text{汚泥気相: } \frac{\partial E_g}{\partial t} + \frac{\partial V_g}{\partial z} = g_g$$

体積分率 $E_g + E_s + E_e = 1$ ここに V_L : 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, V_g : 気相の体積フラックス, g_g : 単位時間当りの発生ガス体積, E_e, E_s, E_g : 液相, 固相, 気相の体積分率, P_s : 液相中の過剰間隙水圧, P_s : 固相中の有効応力, μ : 粘性係数, k : 透水係数, S_s, S_e, S_g : 固相, 液相, 気相の密度

図-8, 図-9に透水係数と液相体積分率の関係および有効応力と有効応力発生時の固体分率を差し引いた固体分率との関係をそれぞれ示す。発生ガスの停滞期中もわずかながらガスの発生が認められた。濃縮実験中の発生ガス量は単位湿潤質量・単位時間当り $\mu = 1.2025 \times 10^{-7} \text{ ml/g} \cdot \text{sec}$ と前述の実験より求めた。透水係数と体積分率および有効応力と前述の固体分率の関係は両対数紙上で直線に乗ることが確かめられる。このことは透水係数は常に、また有効応力は固体分率 E_s が時間経過とともに増加する限り体積分率をパラメータとして表現できることを示している。両者の関数関係を次のように表し、ガス発生がないときの数値計算を行った。

$$S_e g k = 3.22 \times 10^{-6} \times \{E_e^3 / (1 - E_e)^2\}^{1.73} \quad P_s / S_e g = 2.1 \times (E_s - E_{sc})^{1.6}$$

ここで E_{sc} は有効応力発生時の固体分率 図-10に数値計算結果を示す。一点鎖線は実験結果を、実線はガス発生を考慮した計算例を、点線はガス発生がないとした計算例を示す。底面での固体分率を24時間時と比べると、ガス発生がないと0.284、ガス発生があるとき0.250となり、濃縮度にガス発生の影響が大きいことが認められる。

4. あとがき ガス発生停滞期を利用した重力濃縮の濃縮度の改善は可能と考えられる。嫌気性消化期に入った汚泥ではガス発生停滞期が減少、または認められなくなると考えられ、さらに検討を加える必要がある。また連続流動濃縮への適用についても今後検討していく予定である。

〈参考文献〉 1) 綿引・楠田・栗谷: 第22回下水道協会研究発表会(1985年6月) 2) 楠田: 生産に関する調査(昭和59年度), 下水道部

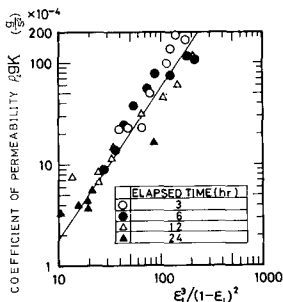


図-8 透水係数と体積分率の関係

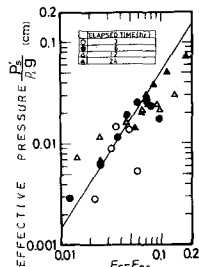


図-9 有効応力と固体分率の関係

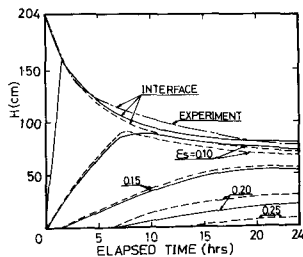


図-10 圧縮沈降の数値計算例