

重力濃縮時における汚泥からのガス発生

九州大学工学部 ○綿引綾一郎

九州大学工学部 楠田哲也

九州大学工学部 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の際に、前処理として濃縮が行われる。濃縮には一般に重力濃縮が採用されているが、年間平均をみると汚泥中の有機物含有量が年々増加しており、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、汚泥濃縮度の低下を引き起している。本報告では、汚泥濃縮度低下の要因である汚泥からのガス発生現象に着目し、余剰汚泥を試料とした発生ガスの特性ならび分析を行い、汚泥からの発生ガスの特性を利用した重力濃縮およびその結果をもとにした連続濃縮のシミュレーションを試みた。

2. 実験方法 余剰汚泥からの発生ガスの特徴としては120時間程度の嫌気状態で、①初期の脱窒によるガス発生期、②脱窒終了後の発生ガス速度の減少期、③メタンガスを伴う再度のガス発生期、があることが分っている。^{1) 2)}特に初期の脱窒に伴うガス発生は、嫌気状態ですぐに始まり、24時間ほどで終了するが、その発生ガス量は多い。このため濃縮を初期の脱窒の終了後にみられる発生ガス速度の減少期に行うことが考えられる。このことを年頭に入れ、ガス発生の実験を試みた。これに平行して初期の脱窒によるガス発生を終了と同時に汚泥を攪拌し、付着したガスを発散させて濃縮実験を開始した。実験装置および手順についてはすでに報告^{1) 2)}したものと同じである。試料とした汚泥は、SS 4550mg/l、SVI 214、lg-Loss 77%、である。

3. 実験結果 累積発生ガスと経過時間の関係を図-1に示す。図-2、3に硝酸とアンモニア濃度の変化および発生ガスの成分とその継続時間の関係を示す。図-1によれば初期の脱窒期ではその期間中に発生したガスがすべて汚泥に付着したとき4.8回分も汚泥が浮上するガス量が発生した計算になる。と 図-1 累積発生ガス量と継続時間
ところが、脱窒終了後に汚泥が浮上するまでガス量が蓄積するのに49時間も必要となる。このことから脱窒終了後の発生ガス速度の減少期に濃縮を行うことが有効である。

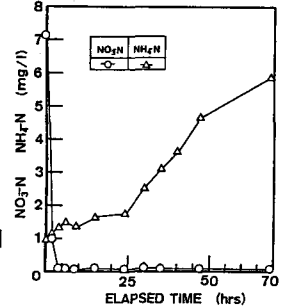
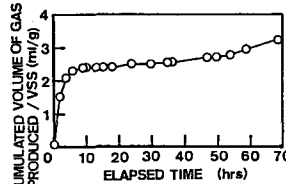


図-2 硝酸とアンモニア濃度の変化

4. シミュレーション 1)理論式 汚泥が圧縮沈降を行うようになると汚泥を構成しているブロックは互いに接触し、重量の一部をそれより下方にあるブロックから有効応力により支えられるようになると考え、以下の仮定のもとに圧縮沈降の基礎式を固相、液相、気相(発生ガス)の3つに分ける。^{2) 3)}①汚泥の性状は均一で、固体部分の圧縮は無視できる。②Reは十分小さい。③汚泥の圧縮、流体の排出は一軸的とする。④発生ガスはすべて汚泥に付着し、汚泥と共に移動する。⑤発生ガスの気泡は微少で、運動上の防げにならない。⑥ガス発生による固体、液体の減少はない。⑦壁効果は無視できる。⑧発生ガスの圧縮は無視できる。⑨ガスの溶解量は無視できる。

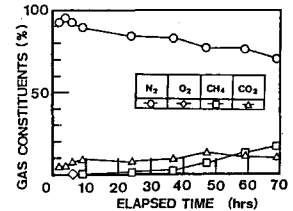


図-3 発生ガス成分と継続時間

運動方程式 汚泥液相:
$$\frac{\partial P_l}{\partial x} + \frac{\mu}{K} (V_l - \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_s} V_s) = 0 \quad (1)$$

汚泥固相:
$$\frac{\partial P_s}{\partial x} + \frac{\mu}{K} (V_s - \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_s} V_l) + \{ \varepsilon_s (\rho_s - \rho_l) + \varepsilon_s (\rho_g - \rho_l) \} g = 0 \quad (2)$$

連続式

$$\text{汚泥液相: } \frac{\partial \varepsilon_l}{\partial t} + \frac{\partial V_l}{\partial x} = 0 \quad (3) \quad \text{汚泥固相: } \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} + \frac{\partial V_s}{\partial x} = 0 \quad (4) \quad \text{汚泥気相: } \frac{\partial \varepsilon_g}{\partial t} + \frac{\partial V_g}{\partial x} = q_g \quad (5)$$

$$\text{ただし } \varepsilon_s + \varepsilon_l + \varepsilon_g = 1 \quad (6) \quad V_s + V_l + V_g = q + \int q_g dx \quad (7) \quad \varepsilon_g = \varepsilon_s \rho_s \alpha t \quad (8)$$

ここで添え字 s, l, g は固相、液相、気相を表し、 ε :体積分率、 V :体積フラックス、 ρ :密度とする。また α :単位時間、単位湿潤重量当りの発生ガス量(ml/g/sec)、 μ :粘性係数、 P_l :間隙水圧、 P_s :有効応力、 q :単位面積当りの流入体積フラックス、 q_g :単位体積、時間当りの発生ガス体積を表す。定常な連続濃縮への適用には時間項を無視し、(2),(7)式より

$$\Delta \varepsilon = \frac{d \varepsilon_s}{d P_s} \left[\frac{\mu}{K} \left(q + \int q_g dx - \frac{V_s}{\varepsilon_s} \right) - \{ \varepsilon_s (\rho_s - \rho_l) + \varepsilon_g (\rho_g - \rho_l) \} g \right] \Delta x \quad (9)$$

$$V_s = (q + \int q_g dx) \varepsilon_s - V \varepsilon_s \quad (10)$$

$$V = \left[\partial P_s / \partial x + \{ \varepsilon_s (\rho_s - \rho_l) + \varepsilon_g (\rho_g - \rho_l) \} g \right] K / \mu \quad (11)$$

となる。このとき V_s, V_l, q :const.となる。

2) バッチによるシミュレーション 濃縮実験より求めた透水係数および有効応力と体積分率の関係は次式を得た

$$P_s / \rho_l g = 2.1 (\varepsilon_s - \varepsilon_{sc})^{1.6} \quad (12) \quad K \rho_l g = 2.43 (\varepsilon_l^3 / (1 - \varepsilon_l)^2)^{1.52} \quad (13)$$

ε_{sc} :有効応力発生時の固体分率、となる。

(12)、(13)を運動方程式に入れ、バッチのシミュレーションを行った。シミュレーション結果を図-4に示す。実験結果では凝集沈降による遅れがあり、これを考慮して2.5時間ずらして計算を行っている。

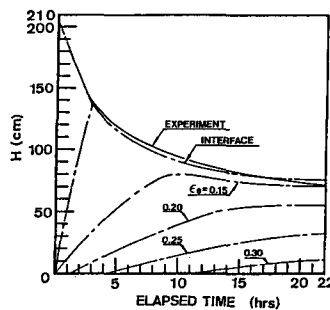


図-4 バッチの計算結果

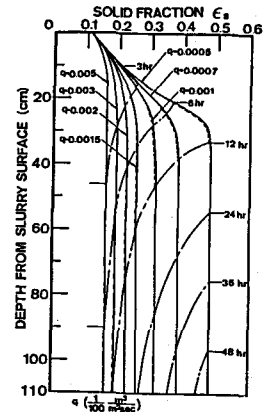


図-5 連続濃縮の計算結果

3) 定常連続濃縮のシミュレーション 濃縮実験結果ならびバッチのシミュレーション結果より圧縮沈降が生じた時点での界面の沈降速度を初期条件として計算を行った。図-5

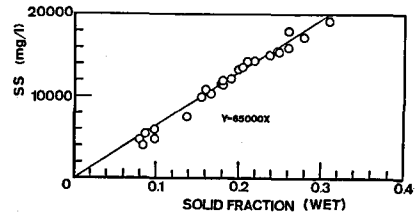


図-6 湿潤固体分率とSS

に連続濃縮のシミュレーション結果を示す。ここで実線はガス発生がないときであり、点線はガス発生を考慮したものである。 q は流入水の湿潤の固体分率を示しており、濃縮槽の設計指針である固形物負荷 $60 \sim 90 \text{ kg/m}^2 \text{ day}$ は $0.00001 \sim 0.000015 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec}$ に相当する。また一点鎖線は各深さの汚泥の滞留時間を示している。

計算ではガス発生を考慮したとき、汚泥の滞留時間が必要となるためこれを12時間として計算を進めている。ガス発生があるとき

とない場合を比べてみると、両者には余り差がない。12時間経過後はガス発生がない場合のみのシミュレーションしか行っていないが、ある深さ(時間)までで汚泥の濃縮は終了し、それ以後は深さに関係なしに一定値を取っている。また濃縮度に影響を与えている因子としては汚泥の滞留時間よりも汚泥負荷が極めて大きいことを示している。これにより濃縮槽の深さよりも表面積が濃縮度を決定する要因になると考えられる。ここで示している湿潤の固体分率とSSの関係を図-6に示す。

終りに、初期の脱窒期間中の連続濃縮のシミュレーションも試みる予定である。

- <参考文献>1):重力濃縮におけるガス発生について、第22回下水道研究発表会講演集、pp475~477,1985
2)ガス発生を考慮した汚泥の圧縮沈降、土木学会第40回年次学術講演会概要集第2部、pp729~730,1985
3)楠田哲也、古賀憲一、粟谷陽一: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、pp59~71,1980