

B-11 都市下水処理場活性汚泥の濃縮・脱水性とその細胞外高分子物質との関連の解析

横浜国立大学大学院工学府

○大野健次

同上

中村二郎

同上

新田見匡

同上

松本幹治

1. はじめに

活性汚泥法では処理の過程で大量の余剰汚泥が発生する。余剰汚泥処理の第一過程は固液分離（濃縮・脱水）であるが、濃縮性や脱水性に関わる因子の解明が十分でなく、未だ処理効率の改善に余地がある。本研究では、活性汚泥の濃縮・脱水性と関連のある因子として、汚泥の細胞外高分子物質（EPS: Extra cellular Polymeric Substances）量や EPS 中のタンパク質濃度¹⁾、および有機物代謝活性に注目し、濃縮・脱水性との関係を調べた。また EPS 量、有機物代謝活性と関連のある反応タンクの運転条件や反応タンク流入水質（最初沈殿池流出水質）についてもまとめた。

2. 方法

2. 1 実験室における各汚泥サンプルの分析

横浜市内 4 ヶ所の都市下水処理場(表 1)から採取した計 20 以上の汚泥サンプルに対し、Sludge Volume Index(SVI)、吸引ろ過におけるケーキ比抵抗および有機物代謝活性を測定した。また同汚泥サンプルからカチオン交換樹脂を用いて抽出した EPS に対し TOC 分析装置による定量および Lowry 法によるタンパク質濃度の測定を行った。

表 1 汚泥サンプルを採取した処理場

処理場	処理槽の運転方式
K 処理場 A 系	標準活性汚泥法
K 処理場 B 系	標準活性汚泥法
K 処理場 B 系'	擬似嫌気好気法
L 処理場 A 系	標準活性汚泥法
L 処理場 B 系	標準活性汚泥法
M 処理場	標準活性汚泥法
N 処理場	標準活性汚泥法

(1) SVI およびケーキ比抵抗の測定

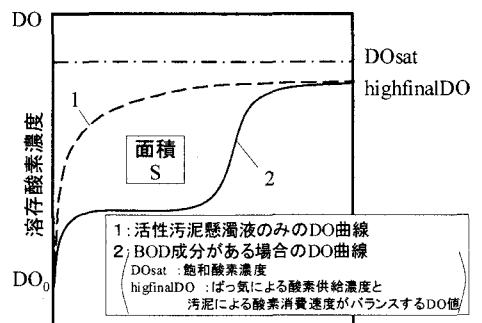
濃縮性の指標として SVI を測定した。測定方法は下水試験方法²⁾に従った。脱水性の指標としてはケーキ比抵抗を用いた。濃度を MLSS1000[mg/L]に調整した汚泥懸濁液を一定の圧力（負圧）で吸引ろ過すると、汚泥はフィルターに捕捉され、ろ液が下部の容器に集められる。（原液量 200ml, 圧力 $7.5 \times 10^{-2} \text{kgf/cm}^2$, ろ紙 ADVANTEC 定量濾紙 No.5C, 保留粒子径 $1 \mu\text{m}$ ）このろ液量を経時的に測定し、ろ液量[m³]に対してろ過時間をろ液量で除したもの[s/m³]をプロットし、その傾きをケーキ比抵抗として算出した。

(2) 活性汚泥の EPS の抽出・分析

活性汚泥からの EPS 抽出は、Frølund らのカチオン交換樹脂を用いた方法³⁾に準じて行った。なおカチオン交換樹脂には DOWEX マラソン C Na form (室町ケミカル)を用いた。抽出した EPS の溶液は TOC-650 (東レエンジニアリング)で TOC を測定し、得られた値を EPS 量とした。また同 EPS 溶液のタンパク質濃度の測定には Lowry 法を用いた。EPS 量およびタンパク質濃度は最終的に EPS 抽出に供した汚泥量で除し、単位汚泥量(MLSS 1g/L)あたりの値に換算した。

(3) 有機物代謝活性の測定

まず、活性汚泥懸濁液の総括物質移動係数 (Kla) を求める。次に、活性汚泥懸濁液のみでの溶存酸素濃度変化と同懸濁液に BOD 成分 (酢酸ナトリウム 0.082g) を加えた場合の溶存酸素濃度変化の差 (Fig.1 の曲線 1、2 で囲まれた面積 S) に Kla をかけて、酢酸ナトリウムの分解に要した酸素量を求めた。この値を有機物代謝活性とした。測定装置には TS-Checker (小川環境研究所) を用い、方法はその取り扱い説明書に従った。



ばう気経過時間 $t \rightarrow$
Fig.1 有機物代謝活性測定概念図

2. 2 反応タンクの水質および運転条件

各汚泥サンプルを採取した下水処理施設より、サンプル採取日前後の平均的な処理施設反応タンク流入水データ

(最初沈殿池流出水の SS、COD、BOD、 NH_4^+ 、TP)、反応タンクの運転条件 (反応タンク終端の DO、pH、反応タンク活性汚泥液の SRT、HRT、汚泥日令) を入手した。

2. 3 各種データの相関の解析

得られた各データの相関関係の解析には重回帰分析を適用した。

3. 結果

以下の解析は 2.1(1)~(3)より得られた各汚泥サンプルの分析結果、および 2.2 のデータをもとに行った。

3. 1 ケーク比抵抗に影響を与える因子の推察

ケーク比抵抗に影響を与える因子として、汚泥の EPS 量、EPS 中のタンパク質濃度、有機物代謝活性に着目し、ケーク比抵抗を目的変数とした重回帰分析を行った。結果、ケーク比抵抗と EPS 量および有機物代謝活性との間に式(1)のような重回帰式が得られた。Fig.2、3 には、ケーク比抵抗と EPS 量および有機物代謝活性を軸としたグラフにおける各汚泥サンプルの分布を示した。

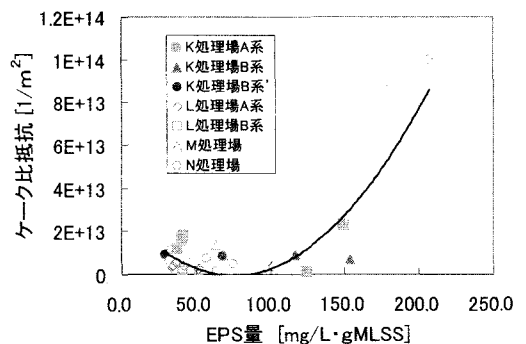


Fig. 2 ケーク比抵抗とEPS量の関係

$$Y_1 = 4.42 \times 10^9 (X_1 - 75)^2 + 1.81 \times 10^{12} X_2 - 2.2 \times 10^{13} \quad (1)$$

Y_1 : ケーク比抵抗 [1/m²]

X_1 : MLSS1000[mg/L]活性汚泥懸濁液の
EPS 量[mg/L]

X_2 : 有機物代謝活性 [mg/L]

(決定係数 $R^2=0.855$ 、重相関係数 $R=0.925$ 、自由度決定済み決定係数 $R^2=0.842$)

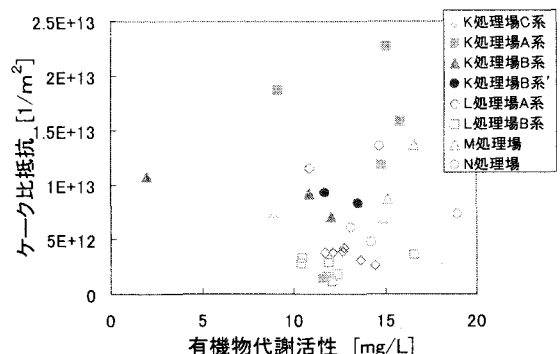


Fig.3 ケーク比抵抗と有機物代謝活性の関係

3. 2 EPS 量、有機物代謝活性への影響因子の推察

ケーキ比抵抗と相関のあった EPS 量および有機物代謝活性に対し、影響を与える因子として最初沈殿池流出水質(SS、COD、BOD、NH₄⁺、T-P)、反応タンクの運転条件(DO、pH、SRT、HRT、汚泥日令)を考え、EPS 量および有機物代謝活性それぞれを目的変量とした重回帰分析を行った。その結果 EPS 量については、最初沈殿池流出水の T-P 濃度と反応タンク内の DO との間に式(2)のような重回帰式が得られた。Fig.4 には T-P 濃度と EPS 量を軸としたグラフにおける各汚泥サンプルの分布を示した。一方有機物代謝活性については、重相関係数の高い重回帰式が得られなかった。

$$X_1 = 22.2Z_1 + 11.1Z_2 - 10.1 \quad (2)$$

Z_1 : 反応タンク終端での DO 濃度 [mg/L]

Z_2 : 最初沈殿池流出水の T-P 成分濃度[mg/L]

(決定係数 $R^2=0.558$ 、重相関係数 $R=0.748$ 、自由度決定済み決定係数 $R^2=0.491$)

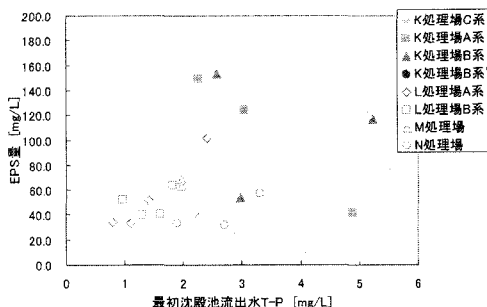


Fig.4 EPS量と最初沈殿池流出水T-Pの関係

3. 3 SVI への影響因子の推察

濃縮性の指標とした SVI を目的変量に、3.1 と同様 EPS 量、EPS 中のタンパク質濃度、有機物代謝活性との重回帰分析を行った。しかし重相関係数の高い重回帰式は得られなかった。

4. 考察

本研究では、汚泥の濃縮・脱水性と相関のある因子として、汚泥の EPS 量、EPS 中のタンパク質濃度、有機物代謝活性に注目し、20 程度の汚泥サンプルを対象に、SVI、ケーキ比抵抗それぞれの重回帰分析を行った。その結果、ケーキ比抵抗については EPS 量、有機物代謝活性との相関をある程度確認した。またその EPS 量は、重回帰分析により反応タンク内の DO および最初沈殿池流出水のリン濃度と正の相関を示した。反応タンク内のリン濃度操作は実質的でないが、DO の制御は曝気量低減を目的に実処理場でも行われている操作である。今後より多くのサンプルを分析し、ケーキ比抵抗と EPS 量、DO の相関を明確にすることで、DO 制御に汚泥の脱水性改善という目的を持たせることができるかもしれない。

今回分析した汚泥サンプルは、4 つの異なる処理場から採取した。そしてサンプルの採取場所を問わずに各データの相関を解析した結果が、式(1)~(3)であった。しかしながら各汚泥サンプルを採取場所ごとに分けて 3.1~3.3 と同様の解析を行った場合、Fig.3 などから推察すると、相関の正負が逆転する可能性がある。よって今後はサンプルの採取場所を問わない解析と同時に、特定の処理場からのサンプリングを増やして処理場単位の解析を行うことで、結果の汎用性と特異性を見極める必要がある。

謝辞

本研究で使用した活性汚泥サンプルおよび水質と反応タンク運転条件のデータ入手におきましては、横浜市環境創造局環境施設部の皆様に、また本研究で使用した TS-checker の使用にしまして、小川環境研究所の皆様にご協力を頂きました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Liu, Y. and Fang, H. H. P. (2003) Influences of extracellular polymeric substances (EPS) on flocculation, settling, and dewatering of activated sludge. *Crit. Rev. Env. Sci. Tech.*, 33(3), 237-273.
- 2) 日本下水道協会 (1997) 下水試験方法[上巻], pp.271-272, 日本下水道協会, 東京
- 3) Frølund, B., Palmgren, R., Keiding, K. and Nielsen, P. H. (1996) Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. *Water Res.*, 30(8), 1749-1758.