

超音波を用いた余剰汚泥削減型排水処理システムのモデル化

大阪工業大学大学院 学生会員 菊川哲生
 松下環境空調エンジニアリング(株) 分林静人
 大阪工業大学工学部 正会員 石川宗孝 笠原伸介

1. はじめに

著者ら¹⁾は、既往の研究において、低負荷で運転している排水処理システムに超音波を適用した場合、超音波照射後に残存する固形物が曝気槽内で分解されるため、結果として、超音波処理によって可溶化される量以上に汚泥が削減されることを報告した。

本研究では、与えられた任意の操作条件から汚泥削減率を事前に推定するため、固形物の分解過程を考慮に入れた汚泥削減型排水処理システムのモデル化を試みた。回分実験より動力学パラメータを求め、超音波処理倍量およびHRT(TOC 容積負荷)と汚泥削減率の関係をシミュレーションし、連続実験より得られた汚泥削減率と比較することで、提案したモデルの妥当性を検討した。

2. 解析モデルと動力学パラメータ

図-1 に、超音波処理に伴う再基質化の概念を示す。超音波処理後の汚泥は、曝気槽内に返送した際、汚泥として増殖する未基質化成分 (α) と基質として分解される再基質化成分 (β) に大きく分類され、さらに再基質化成分は、その大きさ ($1.2\mu\text{m}$) により、懸濁成分 (η) と溶解成分 (δ) に分類される。超音波処理後の懸濁成分が有する r および K_r を粒径毎に調べた結果、粒径 $125\mu\text{m}$ を境に大きく異なったことから、本解析では、 $125\mu\text{m} \sim 1.2\mu\text{m}$ を再基質化懸濁成分と仮定した。図-2 に、曝気槽周りの物質収支と反応の基礎式を示す。基質の分解は、いずれも Monod 型反応式【 $dS/dt = -k \cdot S / (K_s + S) \cdot X$ 】に従うと仮定し、流入成分、再基質化懸濁成分および再基質化溶解成分のいずれを基質とした場合においても、汚泥の自己酸化率 b は一定と仮定した。

また、超音波処理汚泥を用いて馴致した汚泥(初期濃度 $4,000\text{mg/L}$) に、流入成分、再基質化懸濁成分および再基質化溶解成分を有効容量 1.5L となるようそれぞれ投入し、回分実験を行った。MLSS および DOC の測定結果を用いて L-B プロットを行い、各基質分解時にお

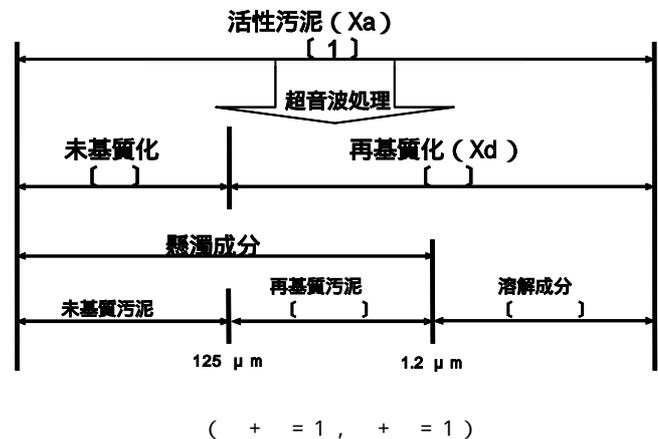
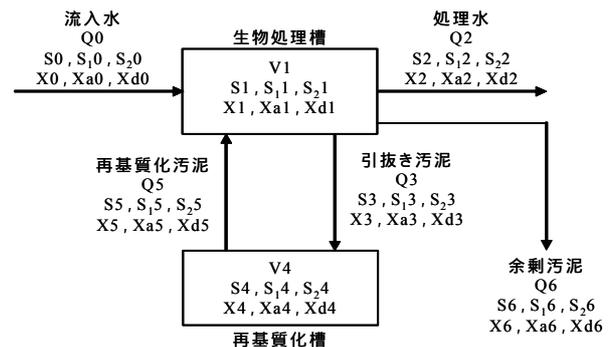


図-1 超音波処理による再基質化の概念図



$X = X_a + X_d$: 槽内汚泥濃度(mg/L), X_a : 活性汚泥濃度(mg/L)
 X_d : 再基質超音波処理汚泥濃度(mg/L), Q : 流量(L/day)
 V : 反応槽容量(L), S : 再基質濃度(mg/L), a : 汚泥転換率 (kg-SS/kg-TOC)
 K_s : 飽和定数(mg/L) k : 基質分解速度($1/\text{day}$), b : 自己酸化率($1/\text{day}$)

反応式	
汚泥増殖	
$\frac{dX_a}{dt} = \left(a_1 \cdot k_1 \cdot \frac{S_1}{K_{S1} + S_1} + a_2 \cdot k_2 \cdot \frac{S_2}{K_{S2} + S_2} + a_3 \cdot k_3 \cdot \frac{X_d}{K_{S3} + X_d} - b \right) \cdot X_a$	
$\frac{dX_d}{dt} = -k_3 \cdot \frac{X_d}{K_{S3} + X_d} \cdot X_a$	
$\frac{dX}{dt} = \frac{dX_a}{dt} + \frac{dX_d}{dt}$	
溶解性基質の分解	
$\frac{dS_1}{dt} = -k_1 \cdot \frac{S_1}{K_{S1} + S_1} \cdot X_a$	
$\frac{dS_2}{dt} = -k_2 \cdot \frac{S_2}{K_{S2} + S_2} \cdot X_a$	
$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_1}{dt} + \frac{dS_2}{dt}$	

図-2 曝気槽周りの物質収支と反応の基礎式

キーワード：超音波，余剰汚泥削減，活性汚泥法，モデル化，再基質化

連絡先：〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 TEL06-6954-4171 FAX06-6957-2131

る a、b、k および K_s をそれぞれ算出した。表-1 に、算出した動力学パラメータを示す。算出した動力学パラメータを用い、表-2 に示す条件で解析を行うとともに、解析結果を既往の研究²⁾により得られた実測値と比較した。

3. 解析結果および考察

図-3 に、超音波処理倍量（対照系運転時に発生する余剰汚泥量を1倍量とした時の超音波処理量）と汚泥削減率の関係（HRT = 24 hr）を示す。これによると、解析値および実測値のいずれも、処理倍量が小さい範囲では、処理倍量の増加に伴って汚泥削減率は高くなったが、処理倍量が2倍を超過すると、処理倍量の増加に伴って汚泥削減率は低下した。これは、最大の汚泥削減率を得るには、適切な処理倍量が存在することを意味しており、処理倍量が過剰な場合、曝気槽内における再基質懸濁成分の占める割合が未基質成分に比べて相対的に増加するため、これに伴って再基質懸濁成分の分解率が低下したことが要因と考えられる。

次に、図-4 に、HRT(TOC 容積負荷)と汚泥削減率の関係（処理倍量 = 2 倍）を示す。これによると、解析値および実測値のいずれも、解析を行った HRT = 8 ~ 24 hr の範囲では、HRT が長くなるにつれて汚泥削減率はほぼ直線的に向上し、処理倍量が一定の場合、汚泥削減率は HRT に強く依存することが示唆された。超音波を用いた余剰汚泥削減型排水処理システムの場合、超音波処理を行っても大部分は可溶化せず、懸濁態として残存するため、同システムにおいて得られる汚泥削減率は、残存する懸濁成分（再基質化懸濁成分）の曝気槽内での分解率に強く依存する。HRT が長い場合、汚泥増殖量が少なく、これらの分解に必要な SRT が容易に確保されたことが、汚泥削減率が向上した要因と考えられる。

以上のことから、解析結果は、実測結果の傾向をほぼ的確に表現していることが確認され、余剰汚泥削減のために超音波を適用する場合、適切な処理倍量と生物処理操作条件（HRT または容積負荷）の設定は、高い汚泥削減率を達成する上で重要であることが、解析結果からも示された。

4. おわりに

解析結果は、超音波処理倍量および HRT (TOC 容積負荷)と汚泥削減率の関係を的確に表しており、提案したモデルの妥当性が示された。今後は、パラメータの算出方法について検討を加え、モデルの精度を高める必要があると考えられる。最後に、本研究に協力頂いた関係の卒業生に対し、心より感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 見手倉幸雄・古崎康哲・榊原隆司・安藤卓也・笠原伸介・石川宗孝: 超音波を用いた余剰汚泥削減システムに関する研究, 環境工学研究論文集, Vol.39, pp.31-41, 2002.11
- 2) 分林静人・甲斐智子・石川宗孝・笠原伸介: 超音波を用いた余剰汚泥削減型排水処理システムの開発, 第37回日本水環境学会年会講演集, pp.90, 2003.3

表-1 シミュレーションに用いたパラメータ値

		b: 自己酸化率	0.033
1: 流入成分	a_1 : 流入基質汚泥転換率(kg-SS/kg-TOC)		1.64
	k_1 : 流入基質分解速度(1/day)		4.17
	K_{s1} : 流入基質飽和定数(mg/L)		442
2: 再基質化溶解成分	a_2 : 再基質溶解成分汚泥転換率(kg-SS/kg-TOC)		8.99
	k_2 : 再基質溶解成分分解速度(1/day)		0.47
	K_{s2} : 再基質溶解成分飽和定数(mg/L)		51
3: 再基質化懸濁成分	$(a_3-1) \cdot k_3$: (kg-SS/kg-SS \cdot 1/day)		-0.038
	K_{s3} : 再基質懸濁成分飽和定数(mg/L)		1211

表-2 解析条件および超音波処理条件

	解析	実測
曝気槽容量(L)	20	25 or 17
MLSS(mg/L)	4000	3154 ~ 4632
:	0.7 : 0.07	

粒径分布の実測値(150W, 5min)より推定

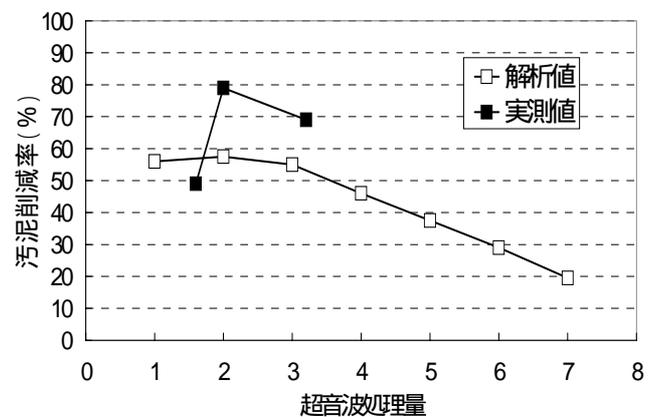


図-3 超音波処理倍量と汚泥削減率の関係 (HRT=24 hr)

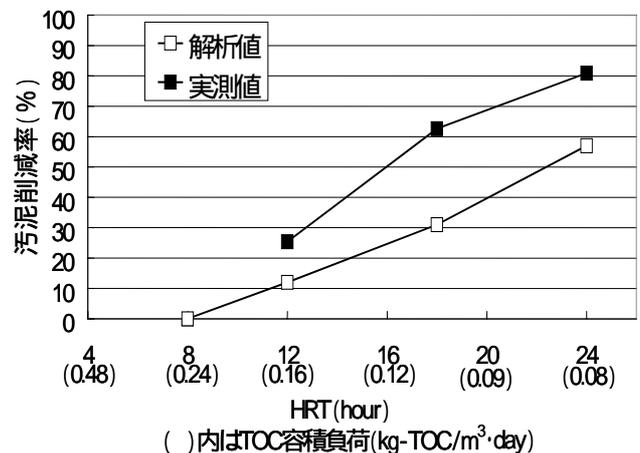


図-4 HRT (TOC 容積負荷)と汚泥削減率の関係(処理倍量 = 2 倍)