

B-6

汚泥再基質化技術の開発 —水熱反応及び超音波照射による汚泥再基質化技術の比較検討—

大阪工業大学大学院 学生会員 ○安藤 卓也 奥田 友章 甲斐 智子
大阪工業大学工学部 正会員 笠原 伸介 石川 宗孝

1.はじめに

下水処理施設から排出される余剰汚泥は下水道の普及率の増加に伴い、年々増加しており、この余剰汚泥のほとんどが埋立処分されている。近年、埋立地の確保が困難になると共に処分費が高騰していることを背景に、汚泥削減化技術への関心が高まりつつある。なかでも、オゾン¹⁾などを用いて汚泥を基質化し、再度生物処理することによって微生物由来の汚泥を削減する汚泥再基質化技術が注目を集めている。

本研究では、汚泥再基質化技術の中で水熱反応及び超音波照射により汚泥を基質化する技術に着目し、標準活性汚泥装置を用いた連続実験を行い、各技術における汚泥削減効果について検討すると共にそれぞれの技術の特徴について比較検討を行った。

2.汚泥再基質化技術の概要

図-1 に汚泥再基質化技術の基本フローを示す。汚泥再基質化技術は、発生した余剰汚泥を物理化学的あるいは生物学的に汚泥を基質化させ、再び曝気槽に返送し、曝気槽内の微生物が分解・除去することによって余剰汚泥を削減する技術である。図-2 に示すように、村上²⁾らは汚泥再基質化技術を細胞の死滅、細胞質の漏出、細胞の低分子化と大きく3つに分類している。

本研究で行った水熱反応は細胞の低分子化から細胞質の漏出に、超音波照射は細胞の死滅から細胞質の漏出に分類されると推定され^{3) 4)}、本報では、SS可溶化率が高い再基質化技術とSS可溶化率が低い再基質化技術の特徴について比較検討を行った。

3.水熱反応及び超音波照射による汚泥再基質化技術における汚泥削減効果の検討

3.1 実験方法

図-3 に連続実験の装置図を示す。実験装置は、曝気槽（水熱：12 L、超音波：17 L）、沈殿槽（水熱：4 L、超音波：10 L）から成る標準活性汚泥装置であり、基質としてグルコース、ペプトン、肉エキスを主成分とする人

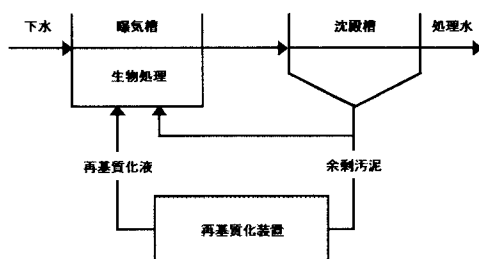


図-1 汚泥再基質化技術の基本フロー

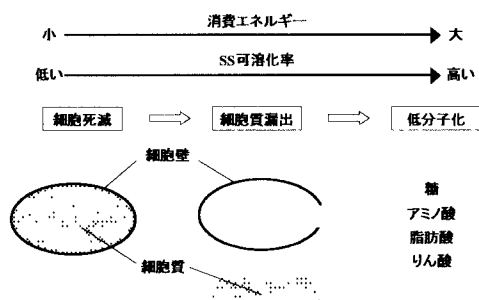


図-2 汚泥再基質化技術の分類

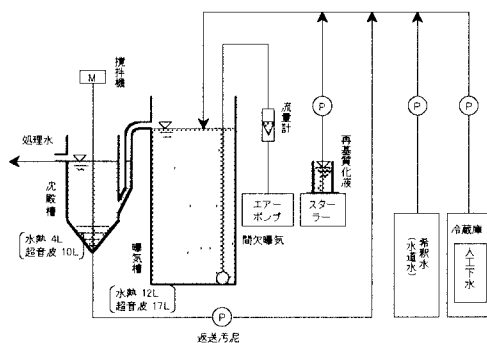


図-3 連続実験装置図

工下水を流入 BOD 濃度が約 200 mg/L となるように投入した。表-1、表-2 に連続実験の運転条件を示す。水熱反応を用いた連続実験では、再基質化処理を行わない系を対照系 (RUN.1) とし、対照系を運転した際に発生した余剰汚泥と同量 (RUN.2)、1.6 倍量 (RUN.3)、2.1 倍量 (RUN.4) を再基質化処理した後、曝気槽へ返送する系で運転を行った。超音波照射を用いた連続実験では、HRT を 12 時間 (Run.1)、16 時間 (Run.2)、24 時間 (Run.3) と変化させ、各 HRT に対して再基質化処理を行わない対照系と再基質化処理を行った系で運転を行った。水熱反応による再基質化は、オートクレーブ (ALP 製: 高圧蒸気滅菌器 MC-3032) を用い、150 °C (0.38 MPa)、60 分の条件で行った。このときの SS 可溶化率は約 40 % であった。超音波照射による再基質化は、超音波発信機 (株) 日本精機製作所) を用い、入力電力 150 W、周波数 20 kHz の条件で、対照系運転時に発生した余剰汚泥量の 2 倍量を汚泥濃度約 10,000 mg/L に濃縮させた後、100 mL ずつ数回に分けて 5 分間超音波を照射した。このときの SS 可溶化率は約 5 % であった。再基質化液はスラウラーで攪拌を行い、1 日で全量が返液される流量で曝気槽に返送した。

3.2 実験結果及び考察

図-4 と表-3 に水熱反応による連続実験の結果を示す。各 RUN の 1 日あたりの余剰汚泥発生量は、対照系 (RUN.1) が約 2.0 g であったのに対し、RUN.2 は約 0.9 g、RUN.3 は約 0.8 g、RUN.4 は約 0.05 g となり、再基質化量を増加することで余剰汚泥の削減効果が顕著に現れたことから、汚泥の可溶化量が、汚泥の削減効果に大きく影響すると思われる。SS の可溶化率が約 40 % であった今回の実験では、余剰汚泥発生量の約 2.1 倍量を処理することで余剰汚泥がほとんど発生しない生物処理が行えることが明らかとなった。また、今回の実験では、再基質化液による処理水への影響はほとんど見られなかった。

図-5 と表-4 に超音波照射による連続実験結果を示す。各 Run での 1 日あたりの余剰汚泥発生量は、それぞれの対照系に比べて Run.1 は約 15 %、Run.2 は約 79 %、Run.3 は約 94 %削減されており、HRT を長くすることに余剰汚泥の削減効果が顕著に現われることがわかった。このことから、超音波照射による汚泥再基質化技術は、超音波を照射した汚泥の懸濁成分を曝気槽で分解・除去するのに時間がかかるために、HRT が長いほど高い汚泥削減効果が得られたと考えられる。また、今回の実験では、再基質化液による処理水への影響はほとんど見られなかった。

表-1 水熱反応による連続実験運転条件

		RUN 1	RUN 2	RUN.3	RUN.4
BOD容積負荷	kg/m ³ /day	0.6			
HRT	hour	8			
返送率	%	30			
曝気量	L/min	2.5			
設定MLSS	mg/L	3000			
再基質化量	g	0	2	3.2	4.2
		0倍量	1倍量	1.6倍量	2.1倍量

表-2 超音波照射による連続実験運転条件

		Run 1		Run 2		Run 3	
		Run 1-1	Run 1-2	Run 2-1	Run 2-2	Run 3-1	Run 3-2
BOD容積負荷	kg/m ³ /day	0.4		0.3		0.2	
HRT	hour	12		16		24	
返送率	%			100			
曝気量	L/min			2			
設定MLSS	mg/L			4000			
再基質化量	g	-	5.4	-	3.2	-	1.9
		-	2倍量	-	2倍量	-	2倍量

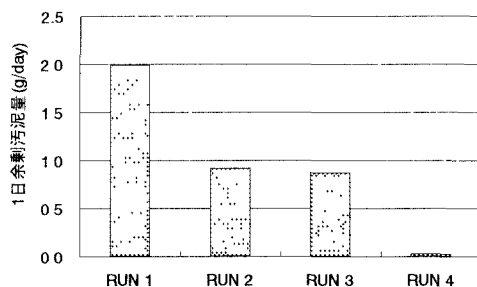


図-4 水熱反応による余剰汚泥削減効果

表-3 水熱反応を用いた技術の処理水質

		RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
SS	mg/L	14	17	17	15
BOD ₅	mg/L	8.6	12.2	13.9	6.9
(除去率)	(%)	(95.6)	(93.9)	(93.0)	(96.6)
D-BOD ₅	mg/L	1.4	2.1	3.7	3.5

4. 水熱反応と超音波照射技術の比較検討

水熱反応を用いた汚泥再基質化技術においては、HRT8 時間という比較的短い HRT で余剰汚泥がほとんど発生しない生物処理ができた。このことから HRT が長い場合でも適応できると推定され、SS 可溶化率が高い再基質化技術は幅広い HRT で適応できると考えられる。超音波照射を用いた汚泥再基質化技術においては、HRT が長くなるほど汚泥削減効果が顕著に現われ、HRT24 時間で余剰汚泥がほとんど発生しない生物処理ができた。このことから SS 可溶化率が低い再基質化技術は長い HRT が必要であると考えられる。一方、今回実験に用いた各再基質化装置を単純に消費電力のみで比較すると、水熱反応では 150 Wh/g、超音波照射では 12 Wh/g と水熱反応に比べ超音波照射は約 1/10 であった。今後、実施設における消費エネルギーについて詳しい算出を行う必要がある。

以上のことから、HRT 6～8 時間と比較的短い処理時間で運転されるような大規模下水処理の標準活性汚泥法の施設へも、水熱反応のような高いエネルギーを加えて汚泥を可溶化・低分子化させる再基質化技術を適応できるものと考えられる。一方、HRT が長い下水処理施設では、高エネルギーの再基質化技術ではなく、超音波照射のような低エネルギーの再基質化技術の適用が望ましいと考えられる。

5. おわりに

本研究で得られた知見は以下になる。

- 1) 水熱反応による汚泥再基質化技術は、汚泥の可溶化量を増加させることで高い汚泥削減効果が得られ、余剰汚泥の 2.1 倍量を処理したときに余剰汚泥がほとんど発生しない生物処理を行えることが明らかになった。また、曝気槽の HRT が短い標準活性汚泥法などの施設へも適応可能であることが示唆された。
- 2) 超音波照射による汚泥再基質化技術は、HRT を長くすることで高い汚泥削減効果が得られ、HRT24 時間のときに余剰汚泥がほとんど発生しない生物処理を行えるものと思われる。
- 3) 大規模処理施設では SS 可溶化率の高い汚泥再基質化技術を用い、小規模処理施設では低エネルギーの汚泥再基質化技術を用いて汚泥を削減するのが良いと思われる。

今後、それぞれの汚泥削減化技術においてより詳細な運転及び操作条件を検討すると共に、再基質化された汚泥の分解・除去のメカニズムについて検討する予定である。

また、本研究の一部は新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成金によって遂行されたことを付記する。

【参考文献】

- 1) 安井 他：余剰汚泥を生成しない活性汚泥法の運転例，環境技術，Vol.28，No.8，pp.527-531，1999
- 2) 村上 他：余剰汚泥消滅型活性汚泥法の類型と汚泥・処理水の性状，第 38 回日本水環境学会年会公演集，pp.288，2001
- 3) 村上 他：水熱反応を用いる汚泥削減型生物法（水熱・生物法）に関する研究，環境技術，Vol.28，No.8，pp.566-570，1999
- 4) C.P. CHU et al.：OBSERVATIONS ON CHANGES IN ULTRASONICALLY TREATED WASTE-ACTIVATED SLUDGE，Wat.Res.，Vol.35，No.4，pp.1038-1046，2001

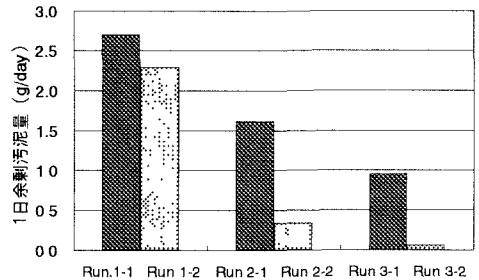


図-5 超音波照射による余剰汚泥削減効果

表-4 超音波照射を用いた技術の処理水質

		Run.1-1	Run.1-2	Run.2-1	Run.2-2	Run.3-1	Run.3-2
SS	mg/L	14	2	7	9	11	9
BOD ₅	mg/L	14.9	3.6	3.0	3.5	8.9	10.4
(除去率)	(%)	91.8	98.0	98.4	98.1	95.1	94.3
D-BOD ₅	mg/L	3.5	3.0	2.2	1.8	3.8	1.9