

下水道研究室 中村 英治

○ 吉岡 直樹

本橋 孝行

1. はじめに

下水中に微量に存在する重金属は、汚泥中に蓄積され汚泥の有効利用の促進を狭める要因となっている。この重金属除去の一手法として、横浜市では平成6年度からバクテリアリーチング法による検討を行っている。前報では、消化汚泥中の細菌を使うことにより、連続投入方式による消化汚泥中での菌の安定化とCu、Cd等の重金属に対する除去効果について報告した。本報では、前回の実験結果を踏まえ実験プラントを作成し、規模のスケールアップを図ると共に、鉱業分野でリーチング効果の確認されている硫黄酸化細菌(*Thiobacillus thiooxidans*)及び鉄酸化細菌(*Thiobacillus ferrooxidans*)の併用効果に関する検討を行った結果、重金属等の挙動について若干の知見が得られたので報告する。

2. 実験方法

(1) 実験プラント概要

実験プラントの概略図を図-1に示す。容積20ℓの円筒型反応槽を4槽作成し、材質には酸の影響を受けにくいアクリル、塩ビを使用した。また、反応槽の温度調整は、恒温水槽からヒータ及び温度調節器により間接的に調節した。汚泥投入はタイマーコントロールにより自動投入が可能で、一定水位以上の汚泥は流出口からオーバフローする。さらに、攪拌機と空気曝気の併用により汚泥中に酸素を供給し、攪拌羽根及びステンレス棒には耐酸用としてゴム被膜を施した。

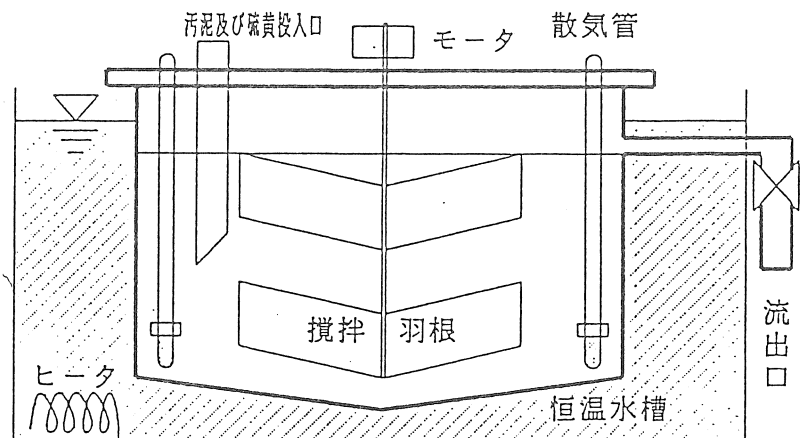


図-1 実験プラント概略図

(2) 実験条件

a. ビーカによる細菌添加の予備調査

消化汚泥中に細菌を添加したときのpH、溶出率の違いを確認するため、ビーカによる予備実験を行った。

実験条件を表-1に示す。各添加条件で細菌を一度消化汚泥中で培養し、その汚泥を実験用消化汚泥に10%ずつ添加し、pH調整後振とう機により9日間培養した。

表-1 ビーカによる実験条件

	装置A	装置B	装置C	装置D
細菌植種	なし	T菌	F菌	T菌+F菌
	培養汚泥を10%添加			
硫黄添加率	消化汚泥に対して4%W/V			
温度条件	20℃			
pH調整	硫酸(1+1)で4.0に調整			

T菌: *Thiobacillus thiooxidans*F菌: *Thiobacillus ferrooxidans*

b. 実験プラントに関する基礎調査

実験プラントでのバクテリアリーチング法の特徴を把握するため、細菌の増殖が律速しない程度の必要な酸素量（曝気量）の検討を行った。4連の反応タンクに消化汚泥をとり、pH調整後一定温度で曝気量をそれぞれ2.5, 5.0, 7.5, 10 l/minの4段階に調整し、一週間馴致を行った。その後、一日一回汚泥の連続投入を行い、各風量条件によるpH, ORPの変化を確認した。

c. 実験プラントでの細菌添加調査

反応タンクに消化汚泥を20 lずつとり、ビーカ実験と同様に消化汚泥中に細菌を添加し、約2週間馴致を行った後、汚泥の連続投入実験を行った。実験条件を表-2に示す。

重金属の分析方法についてはICP発光分析法を用い、汚泥の全体の重金属濃度及び溶解性濃度を測定し、溶出率の計算を行った。

表-2 実験プラントによる実験条件

	装置A	装置B	装置C	装置D
細菌植種	なし	T菌	F菌	T菌+F菌
消化汚泥に対して培養液1%添加				
滞留日数	20日			
曝気量	5 L/min			
硫黄添加率	消化汚泥に対して1%W/V			
温度条件	25 °C			
pH調整	硫酸(1+1)で4.0に調整			

3. 結果及び考察

(1) 予備実験結果

ビーカによる予備実験での各測定結果（9日後）を表-3に示す。細菌を添加しなかったものに比べて、thiooxidans及びferrooxidansを植種したほうがpHの低下は早く、二種を混合したものがより早くpHが低下した。このことから消化汚泥中の固有細菌に二種の細菌を添加することにより、汚泥の滞留時間の短縮が可能と考えられる。

表-3 ビーカによる細菌実験結果(9日)

		添加細菌			
		なし	T菌	F菌	T菌+F菌
pH		2.2	1.0	1.4	0.6
TS (%)		3.7	3.7	3.6	3.5
SO ₄ (mg/l)		16000	23000	11000	32000
溶出率	Cd (%)	61	64	54	81
	Cr (%)	19	32	18	46
	Mn (%)	82	77	73	86
	Cu (%)	39	67	57	59
	Zn (%)	84	80	78	85
	Ni (%)	70	60	60	76

(2) 曝気量とpH, ORPの関係

基礎調査に関するpH, ORPの経日変化を図-2に示す。pHについては各槽共実験開始一週間程で、pH 2.5まで低下し、その後連続投入期間に入ってもpHは下降線をたどり、15日目にはpH 1.5程度まで低下した。各条件によるpHの推移は、曝気量により差はあるものの、ほぼ同じ傾向を示した。また、ORPの値は全ての条件で酸化側を示しており、曝気量10L/minのものが、とびぬけて高い値を示した。消化汚泥中での細菌による硫酸生成以外にも金属の酸化や有機物の分解等の反応が行われていたと考えられる。また、期間中のDOはどの槽もほぼ0 mg/lとほとんどなく、汚泥中に溶け込んだ酸素はすぐに消費されていた。溶存酸素がなくてもpHは低下傾向を保ち続けORPも+150以上で安定してことから、本装置の場合2.5 l/min以上の曝気量であれば十分に細菌活動を維持できると考えられる。

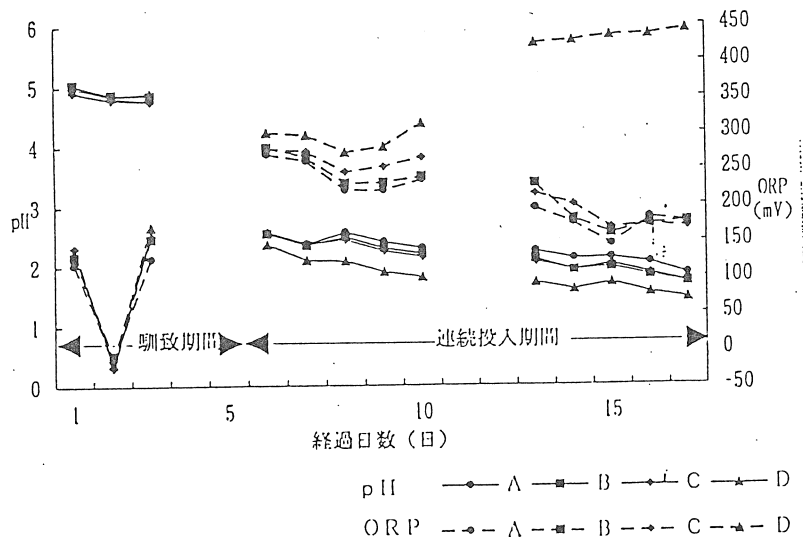
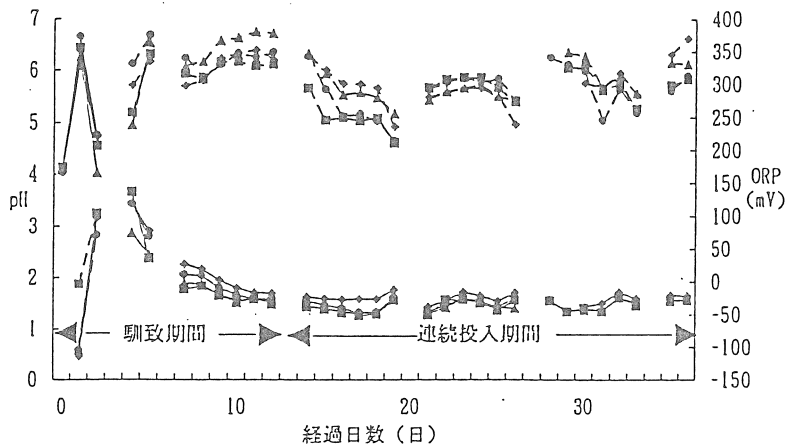


図-2 曝気量とpH, ORPの関係

汚泥中に溶け込んだ酸素はすぐに消費されていた。溶存酸素がなくてもpHは低下傾向を保ち続けORPも+150以上で安定してことから、本装置の場合2.5 l/min以上の曝気量であれば十分に細菌活動を維持できると考えられる。

(3) 細菌添加調査

図-3に実験期間中のpHとORPの経日変化を示す。各条件による差はほとんどなく、馴致終了後からpHは1.5~2.0, ORPは+200~300mv付近で推移していた。今回の実験では、昨年行った細菌無添加の実験に比べてpHが高めで安定したが、硫酸イオン濃度は昨年と同じ程度得られていた。pHが高めで安定した理由として汚泥濃度上昇によりアルカリ分の総量が増えたためと考えられる。



期間中の実験結果を表-4に示す。今回測定した実験ではMn, Cd,

pH —●— なし —■— Thi —○— Fer —▲— Thi+Fer
 ORP —○— なし —■— Thi —○— Fer —▲— Thi+Fer

Ni, V, が比較的高く溶出し, Pb, Ti, Hgについてはほとんど溶出しなかった。また、肥効成分であるN, P, Kについては、原汚泥に対してNが10%程度, Pが60%程度溶出し, Kについてはほとんど変わらなかった。全体的に昨年細菌の効果のあったCu, Cdを含めて各重金属への

図-3 期間中のpH, ORPの経日変化(実験プラント)

thiooxidans及びferrooxidansを添加した効果は見られなかった。以上のことから細菌添加による現有細菌以上の溶出率の向上は期待できず、このため下水汚泥の重金属除去のためには、別途細菌を添加しなくても、低い値でのpHの安定と酸素供給等の細菌活動のための条件を整え、現有の消化汚泥中の細菌により処理を行えばよいことが分かった。

表-4 実験プラントによる細菌添加実験結果(平均値)

	原汚泥	添加細菌				
		なし	T菌	F菌	T菌+F菌	
pH	8.3	1.5	1.4	1.6	1.5	
ORP (mV)	-170	310	300	320	320	
TS (%)	2.6	5.0	4.9	4.3	4.4	
SO ₄ (mg/l)	360	20000	19000	14000	16000	
溶出率	P (%)	13	73	71	70	73
	N (%)	50	62	62	61	67
	K (%)	69	62	68	68	72
	Pb (%)		20	19	20	23
	Cd (%)		69	67	65	76
	Mn (%)		95	91	89	89
	Cu (%)		45	42	52	51
	Zn (%)		84	74	82	75
	Ni (%)		70	64	68	71
	Cr (%)		70	50	55	61
	As (%)		52	45	49	48
	V (%)		79	75	76	77
	Ti (%)		7	8	6	6
Hg (%)		9	9	10	10	

4. まとめ

今回20ℓの実験プラントを作成し検討を行った結果、以下の知見が得られた。① thiooxidans及びferrooxidansの二種を加えることでpHの収束時間を短縮できること。② ORP値が正方向であれば汚泥中に溶存酸素がなくても細菌の活動に支障はない

こと。③ thiooxidans及びferrooxidans添加による溶出率の差は見られず、現有の消化汚泥中の細菌で十分であることが分かった。昨年の結果から細菌の活動帯でpHを安定させることにより下水汚泥中の細菌を用いてリーチングできることは確認されている。今回の実験で菌植種によりpHに差がでなかったのは比較的余裕を持った実験条件であったためと考えられる。今回の条件では菌植種は必要ないが、汚泥滞留時間を短くする等の厳しい条件であれば添加する価値はあると考える。

今回は本装置に関する基本特性しか把握できていないため、温度、汚泥滞留日数、硫酸添加率については今後引き続き検討していきたい。