特集・余剰汚泥のゼロエミッション化技術

腐植土を利用した水処理システム —農業集落排水への適用—

木下 善道*・石川 宗孝**

1. はじめに

近年、地球環境保全の面から河川、湖沼等における富栄養化、赤潮問題の早期解決が叫ばれ、排水処理分野においても有効な処理技術の構築が求められている。現在、有機排水の処理技術としては菌群を利用した生物学的処理が主であるが、そこで発生する汚泥の処分についての問題があり、早期解決が求められているところである。

当社では生物学的処理に腐植土を用いることで余剰汚泥の発生量を低減できるシステム（リアクターシステム）を開発した。これはその特長から汚泥処分問題に対しても非常に有効な手段である。

このシステムはペレット状に成形された腐植土を充填したリアクター塔を生物処理系内に組み込み、処理系内の汚泥と接触、改質する。そしてこの改質された汚泥を処理系上流に返送し循環させることで効果を発揮するものである。

本報ではこのシステムを農業集落排水に適用することにより汚泥発生量の低減が図れた事例を報告する。

2. 実施試験について

2.1 施設の概要

施設概要およびフローを図-1に示す。

図-1に示すフローの処理場内位置関係は原水流入部～原水ポンプ槽間が前処理室と呼ばれる室内に

位置し、原水ポンプ槽以降の嫌気性ろ床槽～放流間が室外に位置している。処理プロセスの概略を以下に説明する。

- ①処理場へ汚水の流入。
- ②前処理にて汚水中に含まれる夾雑物や土砂類等の除去がなされた後、原水ポンプ槽へ流入。
- ③原水ポンプ槽より後段の嫌気性ろ床槽へポンプ圧送にて汚水が移送される。
- ④嫌気性ろ床槽にて固形物等の沈殿分離と嫌気分解がなされる。また後段の接触ばっき槽から返送されてくる若干量の汚水を脱窒する。
- ⑤接触ばっき槽にて汚水中に残存する汚濁物質を汚泥への吸着と好気分解により除去する。また嫌気性ろ床槽へ脱窒のために若干量を返送する。
- ⑥沈殿槽にて汚泥と上澄水に沈殿分離し、上澄水を放流水として放流する。沈殿した汚泥は余剰汚泥として汚泥濃縮貯留槽へ移送される。
- ⑦汚泥濃縮貯留槽では汚泥を重力沈降により濃縮、系外に搬出するまで貯留する。濃縮により生じた上澄液は脱離液として嫌気性ろ床槽以前に移送される。

これらの操作により円滑で安定した処理が行われている。

2.2 試験条件

試験はRUN-1～3の3段階に分けて行った。表1に条件と期間を示す。RUN-3では汚泥濃縮貯留槽

* 中外炉工業(株) Yoshimasa KINOSHITA

** 大阪工業大学 Munetaka ISHIKAWA

表 1 試験条件と期間

項 目	RUN-1	RUN-2	RUN-3
目 的	RUN-2～3の比較用データを得る。 処理場の状況を把握する。	下欄の散気管設置槽を攪拌し、汚泥との接触率を増加させる。また、効果を調査する。	RUN-2の状態でリアクター塔を汚泥濃縮貯留槽に設置し、効果を調査する。
期 間	1ヶ月	3ヶ月	3ヶ月
処理場の改造点	改造点 ・なし	改造点 ・原水ポンプ槽、嫌気性ろ床槽へ散気管を設置。	改造点 ・汚泥濃縮貯留槽にリアクター塔を内装する。

図-2 汚泥濃縮貯留槽内の状態

内にリアクター塔を設置したが、その模式図を図-2に示す。リアクター塔はリアクター塔本体、本体底部の散気装置、塔内充填剤である腐植土およびシリ系石（要定期充填）から構成される。

RUN-1は処理場に何も変更を加えず、通常運転を行った。汚泥濃縮貯留槽で沈殿分離により生じた脱離液を4時間毎に0.65 m³/回、日量3.9 m³を流入部に返送した。

RUN-2は原水ポンプ槽で汚水の腐敗による臭気発生を防ぐため24時間連続ばっきにより攪拌を行った。嫌気性ろ床槽では生物膜と汚濁物質との接触効率を上昇させるために微ばっきを行い攪拌した（槽内水質は嫌気性に保持した）。また、汚泥濃縮貯留槽では24時間連続ばっきを行い、4時間毎にRUN-1と同量の汚泥（0.65 m³/回）を流入部に返送した。

RUN-3ではRUN-2の条件に、新たにリアクター塔を汚泥濃縮貯留槽に設置した。嫌気性ろ床槽以前へは汚泥をRUN-1と同量（0.65 m³/回）返送した。

2.3 測定項目

RUN-1～3それぞれに汚泥発生量、臭気成分、水質について測定し、条件の変更に対する各測定対象項目の変化を調査、比較した。測定は表2に示す規格に従い行った。

3. 試験結果および考察

3.1 汚水量

表3にテスト期間中の汚水量を示す。

計画水量48.6m³/日に対して最高水量は54.0m³/日を示したものの、計画水量を超えた月数はテスト期間中1度だけであった。この事と平均流入量を考慮すると処理場への流入水量は計画流入水量よりも若干少ない傾向であるといえる。計画水量を超えた要因は降雨量が多く雨水が中継マンホールより流入したためと考えられる。

3.2 処理水温

水温は夏季25℃、冬季で14℃を示し、温度差11℃となった。また流入水と処理水では処理水の方が1.5～2.0℃程高くなる傾向があった。これはばっき空気の影響と考えられる。

表 2 測定規格および使用機器

測定項目	測定規格
MLSS	JIS K0102 14.2
臭気成分	環境庁告示第9条別紙第1 環境庁告示第9条別紙第2
臭気濃度	環境庁告示第63号
BOD濃度	JIS K0102 21および32.3
水 質	JIS K0102 17

表 3 テスト期間中の汚水量

	水量（m ³ /日）
計画水量	48.6
最高水量	54.0
最低水量	33.9
平均水量	37.7

3.3 汚泥発生率

余剰汚泥発生率の算出結果を表4に示す。余剰汚泥発生率は各RUN期間中の累積除去BOD量に対する、有機物増加量を以下に示す式に代入し算出した。

$$\text{余剰汚泥発生率 (\%)} = \Delta X / Sr \times 100$$

ΔX : 各RUNの有機物増加量 (kg)

Sr : 各RUNの累積除去BOD量 (kg)

表4よりRUN-1とRUN-2では余剰汚泥発生率に大きな差はなかったが、リアクターを設置したRUN-3では半分以下の余剰汚泥発生率となり、RUN-1に比べ約80%の削減効果が確認できた。

表5は汚泥1kg中に含まれる汚泥の成分を示したものである¹⁻³⁾。汚泥の成分を検討すると、顕著ではないにせよ腐植土を添加することによりFe, Na, Mgの含有比率が多くなる事が分かった。

3.4 臭気成分

ガスクロマトグラフによる臭気成分分析結果を表6に示す。

RUN-1, 2では各槽で硫化水素が検知された。嫌気性ろ床槽、接触ばっき槽にて4.6, 1.9 ppm, 特に処理場内の余剰汚泥が貯留される汚泥濃縮貯留槽では93.9 ppmという高濃度の硫化水素が検知された。しかしRUN-3(リアクター設置)になると極めて低濃度になり、硫化水素の抑制が成されていることが確認できた。

メチルメルカプタンは低濃度ながら検知されていたものが硫化水素と同様にRUN-3(リアクター設置)ではほとんど検知されなくなった。

アンモニアは各RUNで検知されたが低濃度であった。

硫化水素の場合、RUN-1, RUN-2で好気性処理である接触ばっき槽においても高濃度検知された。これは嫌気性ろ床槽で発生した硫化水素が污水に溶存した状態で接触ばっき槽に流入し、攪拌されるためである。RUN-3ではすべての槽で抑制されている。RUN-3(リアクター設置)で硫化水素が検出されなくなった要因は腐植土の効果で硫黄物質が硫酸イオンに酸化されたためと考える。

メチルメルカプタンは元々発生濃度が低く、抑制の程度を判定し難いが硫黄物質を含む有機化合物であるため抑制効果があると考えられる。アンモニアの場合、低濃度ながら検知されている。アンモニアの発生を抑制できなかった一因として処理場のばっき強度不足と考えられるが、表8より臭気強度は2

表4 各RUN毎の余剰汚泥発生率

	RUN-1	RUN-2	RUN-3
余剰汚泥増加量 (kg)	14.6	25.3	9.9
強熱減量 (%)	81.8	71.1	63.4
有機物増加量 (kg)	11.9	18.0	6.3
流入水量 (m ³)	1120.1	2098.6	2897.7
BOD 負荷 (kg)	99.7	186.8	257.9
汚泥発生率 (%)	12.0	9.6	2.4

表5 汚泥成分の元素含有量

単位 mg/kg	乾燥汚泥	
	腐植土添加	無添加
Al	33673	28904
Ca	30814	26815
Fe	6990	5623
Na	1167	813
Mg	1774	1360
Mn	353	299
P	25901	24469
Si	18440	17385
Zn	1269	1100

表6 各槽別の臭気成分

槽名称	分析項目	テスト期間		
		RUN-1	RUN-2	RUN-3
前処理室	硫化水素	0.001	0.18	0.0002
	メチルメルカプタン	N.D	N.D	N.D
	アンモニア	0.06	0.18	0.15
嫌気性ろ床槽	硫化水素	4.6	2.6	0.77
	メチルメルカプタン	0.02	N.D	N.D
	アンモニア	N.D	0.09	0.21
接触ばっき槽	硫化水素	1.9	0.32	0.099
	メチルメルカプタン	0.01	0.0014	N.D
	アンモニア	N.D	0.16	0.09
汚泥濃縮貯留槽	硫化水素	0.002	93.9	0.0003
	メチルメルカプタン	0.001	N.D	0.0002
	アンモニア	N.D	0.19	0.15

以下に抑制されており処理場内に不快臭はなかった。

以上より、リアクター設置により硫黄系物質の除

去能力が高いことが確認できた。

3.5 臭気濃度分析

表7よりRUN-1, RUN-2において高濃度であった槽もリアクター塔を設置したRUN-3では低減した。これよりリアクター設置による臭気の抑制効果が確認できた。

表8は6段階臭気強度で強度と官能を示し、表9は臭気強度に対応する悪臭成分濃度である。両表からアンモニアは高濃度にならないければ官能的に悪臭として感じず、逆に硫黄を含む物質(硫黄系物質)は低濃度でも官能的に強い臭気を感じる事が分かる。

以上のことから臭気強度を低減するには硫黄系物質の発生を抑制することが有効である。

今回の試験結果(3.4参照)からリアクター塔を設置することで硫黄系物質の臭気除去効果が高いことが確認できており、臭気抑制に有効な手段であることも分かった。

3.6 処理水水質

各RUN終了時の処理水質を表10,各RUNのT-N除去率を表11に示す。

水質はRUN-1とRUN-3はほぼ同様の値を示し、RUN-2が若干劣った。

RUN-3は各項目ともRUN-1とほぼ同じ値であったが、T-Nが優れていた。表11からもRUN-3が非常に優れたT-N除去率を示しており、明確な要因は解明できなかったもののリアクター設置により脱窒効果が向上することが示唆された。

RUN-2はSSが他の2点に比べ低下している。これは嫌気性ろ床槽を微ばきしたことで接触ろ材から生物膜が剝離し、後段へ流入するSS分が増加したためと考える。

T-Pは各RUNともに流入汚水と処理水に差がなくリン除去能力は見られなかった。

4. おわりに

本事例を通じて腐植土を用いた水処理システムを適用することで以下の事が分かった。

- I. 余剰汚泥発生量が低減される。
- II. 硫黄系物質の臭気除去能力が高い。
- III. 水質を全く損なわず脱窒作用が向上する。

これらは現象として確認できたものの、メカニズムを正確に特定するまでは至らなかった。今後はそのメカニズムを解明し、水処理技術に貢献していきたい。

表7 臭気濃度測定結果

項目	前処理室	原水ポンプ槽	嫌気性ろ床槽	接触ばき槽
RUN-1	98	72	980	550
RUN-2	27	170	2300	230
RUN-3	13	23	730	97

表8 6段階臭気強度

臭気強度	官能	備考
0	無臭	
1	やっと感知できる臭い	
2	何の臭いであるか分かる弱い臭い	
3	楽に感知できる臭い	規制基準の範囲
4	強い臭い	
5	強烈な臭い	

表9 悪臭物質の臭気強度別濃度

単位 ppm	6段階臭気強度				
	2	2.5	3	3.5	4
硫化水素	0.006	0.02	0.06	0.2	0.7
メチルメルカプタン	0.0005	0.002	0.004	0.01	0.13
アンモニア	0.6	1	2	5	10

表10 処理水水質

	RUN-1	RUN-2	RUN-3
BOD	12.0	17.0	10.0
COD _{Mn}	20.0	19.4	17.0
SS	19.0	24.0	19.0
T-N	30.0	27.2	7.5
T-P	1.9	4.6	2.5

表11 T-N除去率

単位 (mg/ℓ)	RUN-1	RUN-2	RUN-3
平均流入 T-N	43.8	34.9	25.4
平均放流 T-N	30.0	27.2	7.5
除去率 (%)	31.5	22.1	70.5

参考文献

- 1) 1998年度大阪工業大学修士研究論文および学士研究論文
- 2) 下・排水汚泥の処理, コロナ社
- 3) 水質環境工学:下水の処理・処分・再利用, 技報堂出版