小型合併処理浄化槽の嫌気ろ床における浮遊物捕捉と有機物除去の特性評価

Removal Characteristics of Suspended Solids and Organic Compounds in Anaerobic Filter Process of Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Facilities (Gappei-shori johkasou)

小川 浩^{1*}、岩堀恵祐²

¹財団法人環境整備教育センター／〒130-0024 東京都墨田区菊川2丁目23-3

²静岡県立大学環境科学研究所／〒422-8526 静岡市谷田52-1

HIROSHI OGAWA^{1*} and KEISUKE IWAHORI²

¹Japan Education Center of Environmental Sanitation

/2-23-3, Kikukawa, Sumida-ku, Tokyo, 130-0024 Japan

²Institute for Environmental Sciences, University of Shizuoka/52-1, Yada, Shizuoka, 422-8526 Japan

Abstract

Domestic wastewater treatment facilities, being called 'Gappei-shori johkasou', play an important role in the wastewater countermeasures of Japan. In small-scale gappei-shori johkasou for less than 50 persons' use, anaerobic filter process has been usually adopted as a primary treatment. Removal characteristics of organic compounds in this process have been reported, but the greater part of these results cannot be applied to the operation of johkasou as a practical matter, because of using artificial wastewater in the laboratory work. In this paper, therefore experimental investigations were carried out to make clear the removal characteristics of suspended solids, in addition to organic compounds, in this process of the actual johkasou.

The results showed that high SS removal ratio was achieved when netlike plates filter medium with a dimension of 100 mm × 70 mm and ball-like skeleton filter medium were used in the 1st chamber and 2nd chamber of anaerobic filter tank, respectively. The BOD removal rate in this tank can be expressed by a linear reaction. Compared to a sedimentation/ separation tank in which there is no filter medium, low molecule-ization of organic compounds in anaerobic filter tank progressed faster even though the HRT is three-fifth of that in sedimentation/separation tank. Most of the VFA in anaerobic filter tank was found to be decomposed into acetic acid and propyonic acid.

Key words: small-scale domestic wastewater treatment facility (small-scale gappei-shori johkasou), anaerobic filter process, suspended solids, organic compounds, removal characteristics

1. はじめに

我が国で適用されている生活排水処理システムは、対象となる排水の種類や施設の規模、処理対象区域、根拠

となる法令などの相違により、17種類に分類されている¹⁾。これらのシステムの中で、合併処理浄化槽はわが国特有の処理システムであり、公共下水道とともに、生活排水対策として重要な役割を担っている²⁾。特に、処

* Corresponding author

理対象人員50人以下の小型合併処理浄化槽は、昭和63年以後に急激に普及し、平成11年3月末現在で932,076基が設置され³⁾、下水道未整備地域の水環境保全に寄与してきた。

小型合併処理浄化槽の主要な処理方式には、平成12年5月31日の建設省（現国土交通省）告示第1465号⁴⁾（以下、構造方法と称す）で規定されている分離接触ばっ気方式（告示第1の1）、嫌気ろ床接触ばっ気方式（告示第1の2）、脱窒ろ床接触ばっ気方式（告示第1の3）及びその他の方式（告示第13）がある。しかし、その総数の92%に相当する856,954基が嫌気ろ床接触ばっ気方式を採用している³⁾。この方式は、1次処理装置として嫌気ろ床槽、2次処理装置として接触ばっ気槽が用いられているが、その他の方式でも1次処理装置に嫌気ろ床槽あるいは嫌気ろ床槽と同等の単位装置が設けられている。このように、小型合併処理浄化槽のほとんどが、1次処理装置として嫌気ろ床を組み込んでいることがわかる。

嫌気ろ床槽内では、流入する浮遊物（SS）成分の捕捉と、ろ材表面あるいはろ材間隙で増殖した嫌気性微生物による有機物の分解が行われ、安定した処理条件ではBOD除去率80%以上の性能が得られると報告されている⁵⁾。しかし、多種多様のろ材が開発されているため、その形状や充填方法により、槽内の水理学的特性や微生物の付着・棲息状況が異なり、また微生物付着と汚泥の

蓄積に伴う水理学的変化も槽内で生じやすい。使用ろ材による水理学的・微生物学的な相違は、嫌気ろ床における流入SSの捕捉性と有機物の除去特性に影響を及ぼすことは経験的に知られているが、嫌気ろ床が1次処理として認識されてきた経緯もあり、流入SSの捕捉性の観点から検討を行った事例はほとんど報告されていない。さらに、嫌気性ろ床の有機物除去特性は、主に人工下水を用いた実験室レベルでの検討であり、実際に使用されている施設の特性は、必ずしも把握されてきたとは考えにくい。

そこで、本研究では、小型合併処理浄化槽の処理性能に影響を及ぼす嫌気ろ床に着目し、その合理的な設計と維持管理に必要な知見を得ることを目的に、各種のろ材によるSSの捕捉性と有機物の除去特性を実際の戸建住宅に設置した小型合併処理浄化槽で検討した。

2. 実験材料並びに方法

2.1 実験材料

(1) 小型合併処理浄化槽

Fig. 1に示した小型合併処理浄化槽（5人槽）を実験に使用した。本実験の対象である嫌気ろ床槽の有効容量は、①SS捕捉実験では第1室0.907m³、第2室0.610m³の合計1.517m³、②有機物除去実験では第1室1.023m³、第2室0.724m³の合計1.747m³である。

Fig. 1 Diagram of experimental equipment

(2) 供試ろ材

実験に供試したろ材は、Fig. 2 に示したように、網様板状、骨格様球状、網様円筒状と板状の4種類であり、その仕様をTable 1 に一括表示した。これらのろ材をTable 2 に示した4種類の組み合わせで嫌気ろ床槽の第1室と第2室に充填した。なお、どのろ材も構造方法に

準拠して、第1室で40%、第2室で60%の充填率とし、各RUNのろ材受けは第1室、第2室のいずれも槽底部から300mmの位置とした。また嫌気ろ床内に短絡水流の発生を防止するため、ろ材の支持枠は、第1室及び第2室のいずれも短絡防止用を兼ねた阻流板とした。

Fig. 2 Constructin of contact medias

Table 1 Kinds of contact medias

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
shape	netlike plate	skelton global	netlike cylinder	plate
pitch or size (mm)	100 × 70	150	75 × 85	80
specific surface area (m ² /m ³)	50	51	58	45
material	PE	PP	PE	PVC

Table 2 Experiment condition for contact medias in anaerobic filter

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
1st chamber	No.1 (netlike plate)	No.2 (skelton global)	No.3 (netlike cylinder)	No.4 (plate)
2nd chamber	No.2 (skelton global)	No.2 (skelton global)	No.3 (netlike cylinder)	No.4 (plate)

2. 2 実験方法

(1) ろ材のSS捕捉実験

流入水は、水道水200l当たりオカラ0.3kg及びトイレトペーパー25gを混合し、MLSS濃度を200~250mg/lに調製したものをを用いた。この流入水を6時30分から20時30分まで、嫌気ろ床槽第1室流入部に60l/時で汚水ポンプにより連続移送し、また浴槽排水を想定したピーク流入量250l/時を7時30分から8時30分の時間帯に移送することで、総流入水量として1.0m³を供給した。なお、本実験期間中、接触ばっ気槽から嫌気ろ床槽第1室への循環水は停止した。

試料は、嫌気ろ床槽第1室及び第2室の流出水1lを1時間ごとに採取し、そのSS濃度を測定した。また実験終了時には、浄化槽本体の槽底部壁面に設けた点検窓から、嫌気ろ床槽のろ床内部及び底部の污泥堆積状況を目視により観察した。

(2) 嫌気ろ床における有機物除去実験

大人5人が生活している戸建住宅に小型合併処理浄化槽を新たに設置し、先のSS捕捉実験で良好な結果を示したろ材を組み合わせることで充填した。また嫌気性消化汚泥(SS濃度10,000mg/l)50lを嫌気ろ床槽第1室に投入し、接触ばっ気槽から嫌気ろ床槽第1室への循環比を2.0として初期運転を開始した。

試料の採取は初期運転から1ヶ月ごとに合計6回行い、それぞれの試料採取日には嫌気ろ床槽第1室と第2室の流出水を1時間ごとに採取し、水冷保存した。また流入汚水量は1時間ごとの水道使用量から算出し、さらに水冷保存した試料を流入汚水量に比例した混合試料として

から分析に供した。なお、比較対象実験として、別の戸建住宅に設置され、嫌気ろ床を有しない沈殿分離槽を1次処理装置とした分離接触ばっ気方式(5人槽)の小型合併処理浄化槽でも同様の試料採取を行った。この沈殿分離槽の有効容量は2,600m³で、第1室は1,600m³、第2室1,000m³である。

2. 3 分析方法

各実験とも、下水試験方法⁶⁾に準拠して、試料のpH、SS、全BOD₅(BOD)と溶解性BOD₅(D-BOD)、全COD、T-N並びに揮発性低級脂肪酸を測定した。揮発性低級脂肪酸は、試料を1NのNaOHでpH11に調整後、ホットプレート上で50ml以下になるように濃縮し、冷却後、GF/Bのろ紙でろ過してから分析に供した。ろ液を(1+1)H₂SO₄でpH3~4に調整後、酢酸、プロピオン酸、酪酸、吉草酸とカブロン酸の各濃度をGC(島津製作所製GC-7A型)で測定した。GCの設定条件は、検出器FID、カラムPEG6000・径3mm及び長さ2.0mのステンレス製、カラム温度150℃、キャリアガスHe50ml/分とした。

3. 実験結果及び考察

3. 1 ろ材のSS捕捉特性

(1) 捕捉SSと流出SS

MLSS濃度200~250mg/lに調製した流入水を所定の条件で実験槽へ移送し、1時間ごとに採取した嫌気ろ床槽第1室流出水及び第2室流出水のSS濃度をFig. 3及びFig. 4に示す。

嫌気ろ床槽第1室流出水のSS濃度は、250l/時のピーク流入時において、いずれのRUNも急激な上昇を示した。

Fig. 3 SS variation in the 1st chamber of anaerobic filter tank

Fig. 4 SS variation in the 2nd chamber of anaerobic filter tank

その後、RUN 1 では、ピーク終了後1時間を経過するとSS濃度は低下し、23.0～36.0mg/lを維持した。RUN 4 では、RUN 1 と同様、ピーク終了1時間後において30.0 mg/lまで低下したが、8時間後から再び上昇し、ピーク時と同程度の85.0mg/lに達した。この要因は、一度捕捉されたSSのはく離を生じたか、あるいは短絡水流の形成によるものと考えられる。

RUN 3 では、4種類の組み合わせの中でピーク時のSS濃度が118.5mg/lの最高値を示し、ピーク終了直後は低下したが、その後、徐々に上昇し、SSの流出が認められた。

RUN 2 のピーク前後は、RUN 3 及び4と同様の傾向であったが、6時間経過後は、54.0～65.5mg/lの範囲で推移した。

この流入条件での最大流入水量を時間平均流入水量で除した値、すなわちピーク係数は4.2であるが、これまでの小型合併処理浄化槽に係る実態調査報告^{7,8)}においても1.2～15.2の範囲で、平均値5.5であり、本実験で与えたピーク特性は、通常的小型合併処理浄化槽と同程度であった。流入SS濃度については、生活排水中の平均SS濃度250mg/l²⁾に近似した200～250mg/lで連続的に流入させたため、通常の流入条件よりも高負荷であった。

一方、嫌気ろ床槽第2室流出水は、いずれのRUNも流入開始3時間後からSSの流出が生じ、RUN 1 では10mg/l以下を維持したが、RUN 2～4については、11時間後から上昇する傾向が認められ、特にRUN 4では51mg/lまで上昇した。これまで、嫌気ろ床槽流出水については、スポット採水による測定値や日間平均値で評価されていることがほとんどであったが、各時間ごとのSSでは、Fig. 3で示した著しい変動を生じていることが明らかであ

り、250l/時のピーク時にはいずれのろ材の組み合わせもSSの捕捉性が低下した。

嫌気ろ床槽の重要な役割はろ材及びろ床のSS捕捉性であり、またろ材の仕様、充填方法、槽の有効水深がSSの捕捉性に影響することが報告されている^{9,10)}。しかし、実験槽は、支持枠を兼ねた短絡防止用阻流板を槽壁面及び隔壁面の全周にわたって設けているため、ピーク時以外の流入条件では、短絡水流の形成は少ない。したがって、浴槽排水の流入状況を設定したピーク水量250l/時の条件では、SSの流出を伴うため、流量調整機能を付加することで嫌気ろ床槽のSS保持能力はさらに向上すると考えられる。

(2) 槽底部汚泥の堆積量

SSの捕捉性が最も良好な状況を示したRUN 1について、実験終了後、躯体の壁面に設けられた点検窓から内部のSS堆積状況を確認した。Fig. 5で明らかにように、第1室ではろ材充填部の下部付近及び槽底部に、また第2室ではろ材充填部にSSの堆積が多く認められた。

嫌気ろ床槽では、ろ材の形状、充填方法、充填位置及び流水方向などが汚泥の蓄積と密接な関係があると報告されている¹¹⁾。RUN 1 では流入した汚水が第1室のろ床上部から下部へ下向流として流下する構造となっているが、ろ材充填部の下部及び槽底部にSSの堆積が認められ、槽底部とろ材受け部までのろ材未充填部分もSSの貯留能力を有していると判断された。第2室においては、ろ材充填部にSSの堆積が多く認められ、またFig. 4より流出水のSSが10mg/l以下であることから、第1室流出水のろ床下部から上部への上向流において、ろ材によるSSの捕捉が良好に機能していたと考えられる。

Fig. 5 Sludge accumulation in the anaerobic filter tank

したがって、本実験から、RUN 1 すなわち第1室にピッチ100mm×70mmの網様板状ろ材を、また第2室に直径150mmの骨格様球状ろ材をそれぞれ充填する組み合わせが、最もSS捕捉性の高い条件であることが明らかとなった。

3. 2 嫌気ろ床の有機物除去特性

(1) 流入条件と処理水質

先のSS捕捉実験から、嫌気ろ床充填ろ材として第1室網様板状ろ材及び第2室骨格様球状ろ材の組み合わせが良好なSS捕捉性を示したので、本実験では同一のろ材を充填した施設を対象とした。

実験対象施設の調査期間6ヶ月間における流入水量(水道使用量)は、平均 $1.16\text{m}^3/\text{日}$ (最小 $1.02\sim$ 最大 $1.29\text{m}^3/\text{日}$)であり、設計水量 $1.0\text{m}^3/\text{日}$ に近似した流入条件であった。この日平均流入水量から嫌気ろ床槽の滞留時間を計算すると、第1室 0.88日 、第2室 0.62日 、嫌気ろ床槽全体として 1.51日 となる。実験期間中の時間最大流入水量は $350\text{l}/\text{時}$ で、ピーク時の滞留時間は平均滞留時間の2/15に相当する 4.8時間 であった。現在、小型合併処理浄化槽の92%は、実験対象施設と同様に流量調整機能が付加されていない構造であり³⁾、また過去の調査⁷⁾で、ピーク時に1日の総流入水量の30~40%が流入している現状から、本施設は実験対象施設として代表的な流入条件であったと判断できる。なお、比較対象実験で使用した施設の流入水量は平均 $1.07\text{m}^3/\text{日}$ (最小 $0.91\sim$ 最大 $1.18\text{m}^3/\text{日}$)であり、実験対象施設と同様の流入条件であった。

嫌気ろ床槽及び沈殿分離槽の流出水質をTable 3に示す。嫌気ろ床槽流出水は、調査期間中、pH $7.0\sim 7.9$ 、SS $21.4\sim 42.0\text{mg/l}$ 、BOD $37\sim 91\text{mg/l}$ 、D-BOD $26\sim 60\text{mg/l}$ 、T-N $23.9\sim 46.8\text{mg/l}$ であった。また沈殿分離槽流出

水はpH $7.6\sim 7.9$ 、SS $36.4\sim 50.8\text{mg/l}$ 、BOD $88\sim 115\text{mg/l}$ 、D-BOD $26\sim 40\text{mg/l}$ 、T-N $36.4\sim 50.3\text{mg/l}$ であった。

実験対象施設は、流入管が嫌気ろ床槽流入部に直結しているため、流入水を採取することが困難であったので、著者ら^{12, 13)}が過去に調査した戸建住宅団地のコミュニティ・プラントの流入水質すなわちSS 203mg/l 、BOD 187mg/l を流入水質と仮定して、それぞれの平均除去率を求めると、嫌気ろ床槽はSSが85.3%(79.3~89.5%)、BODが67.9%(51.3~80.2%)、沈殿分離槽ではSSが78.1%(75.0~82.1%)、BODが47.1%(38.5~52.9%)となり、嫌気ろ床槽の方が嫌気ろ床を有しない沈殿分離槽に比較してSS及びBODのいずれの除去率も高い結果であった。

各槽の有効容量から設計上の滞留時間を比較すると、沈殿分離槽は嫌気ろ床槽の1.5倍に相当する2.6日分で、SS除去率は同程度であったが、BOD除去率は嫌気ろ床槽の方が高い傾向にあった。すなわち、嫌気ろ床槽では、SSの捕捉とともにろ床内に付着した生物膜によるBOD除去効果が発揮されていたと考えられ、また沈殿分離槽の滞留時間2.43日に対して嫌気ろ床槽は1.51日であり、沈殿分離槽の有効容量の62%であるが、ろ材によるSSの捕捉で有機物除去率60%以上が期待できると推定される。

(2) 嫌気ろ床におけるBOD除去

嫌気ろ床槽は、流入水中のSSを分離・貯留、ろ材に生育固定した嫌気性細菌の作用により、有機物を分解し、BODの低減と汚泥の減量化を図ることを主たる目的としている¹⁴⁾。流出水のD-BOD・BODを比較すると、Table 3で明らかのように、嫌気ろ床槽では $0.45\sim 0.73$ に対して、沈殿分離槽は $0.23\sim 0.38$ となり、SSの除去及び可溶化が有機物除去に大きく寄与していたと推察される。

そこで、嫌気ろ床槽を第1室と第2室に区別せずに同一の槽と考え、Fig. 6のようなモデルを想定する。先に

Table 3 Effluents from 2nd chamber of anaerobic filter tank and 2nd chamber of sedimentation/ separation tank

Item	Anaerobic filter tank effluent		Sedimentation/separation tank effluent	
	Average	Range	Average	Range
Temperature (°C)	20.4	9~28	21.4	10~27
pH	7.4	7.0~7.9	7.8	7.6~7.9
SS (mg/l)	29.9	21.4~42.0	44.4	36.4~50.8
BOD (mg/l)	60.0	37~91	99.0	88~115
D-BOD (mg/l)	41.0	26~66	31.0	26~40
COD (mg/l)	44.2	33.1~58.7	46.7	53.3~60.0
T-N (mg/l)	34.2	23.9~46.8	37.3	36.4~50.3
D-BOD/BOD	0.63	0.45~0.73	0.31	0.23~0.38

Qi:Inflow(m³/hr), Si:BOD in the influents of anaerobic filter tank(mg/L), Xi:SS in the influents of anaerobic filter tank(mg/L), V:Effective volumes of anaerobic filter tank(m³), X:Sludge concentrations in anaerobic filter tank(mg/L), Se:BOD in the effluents of anaerobic filter tank(mg/L), Xe:SS in the effluents of anaerobic filter tank(mg/L)

Fig. 6 Model of anaerobic filter tank

述べたように、この槽内では微生物によるBODの除去とSS成分の可溶化によるBODの生成が同時に進行しているので、流出BOD濃度は両者が加味されたものと捉えることができる。そこで、Fig. 6 より、BODの物質収支をとると次式が得られる。

$$V \left(\frac{dSe}{dt} \right)_v = Qi \cdot Si - Qi \cdot Se - V \cdot \frac{dSr}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、(dSe/dt)_vはBOD濃度の時間変化(mg/l・hr)、Srは見かけのBOD除去濃度(Si-Se(mg/l))、dSr/dtは見かけのBOD除去速度(mg/l・hr)である。

嫌気ろ床槽内の微生物濃度(mg/l)をXとすると、式(1)より、見かけの比BOD除去速度は次式で示される。

$$\frac{1}{X} \frac{dSr}{dt} = \frac{Qi(Si-Se)}{X \cdot V} - \frac{1}{X} \left(\frac{dSe}{dt} \right)_v \dots\dots\dots (2)$$

稲森ら¹⁵⁾は、流入SS成分を考慮していないベンチスケール規模の実験から、嫌気ろ床における比BOD除去速度は一次反応式で表されると報告している。この知見を適用すると、見かけの比BOD除去速度は次式で表される。

$$\frac{1}{X} \frac{dSr}{dt} = k \cdot Se \dots\dots\dots (3)$$

なお、kは一次反応速度恒数(l/mg・hr)であり、式(2)の右辺を算出し、Seとともに図中にプロットすれば速度恒数kを求めることができる。しかし、式(2)の右辺にはBOD濃度の時間変化である(dSe/dt)_vと、測定困難な微生物濃度Xが含まれているため、式(2)の右辺を容易に算出できない。そこで、嫌気ろ床槽が一定の処理性能を維持し、流入BOD濃度に大きな変動がなければ、微生物濃度Xは一定であると仮定して、式(3)を積分すると、次式が得られる。

$$-\ln \frac{Se}{Si} = k \cdot X \cdot t \dots\dots\dots (4)$$

ここで、tは嫌気ろ床槽の水理学的滞留時間(hr)である。

本実験で得られた結果を、式(4)にしたがって図中にプロットすると、Fig. 7が得られた。本図より、滞留時間tの増加とともに $-\ln(Se/Si)$ も増加して、両者の間に高い相関関係($r^2=0.823$)のあることが明らかで、 $k \cdot X$ の値として0.052(1/hr)が算出された。実験期間中、槽内水温は9~28℃と大きく変化した。この水温の変化はk値に影響を及ぼし、低水温ほど微生物の代謝活性(即ちk値)は小さくなると報告されている¹⁵⁾。しかし、流入SS成分が加味された本実験では、その可溶化が低水温ほど小さくなり、MLSS評価のXが高い値を維持したことで、 $k \cdot X$ が一定値となったものと推察される。また流入水の定量移送と27.3~27.5℃の水温条件で実施の嫌気ろ床を検討した山本ら¹⁶⁾は、経験則から $k \cdot X$ の値が0.0464(1/hr)であると報告している。ろ材の仕様や流入水の性状、運転方法は異なるが、本実験とはほぼ同程度の値が得られている。したがって、実際の立場から、

Fig. 7 Residual BOD rate vs. Time

実施設の嫌気ろ床における見かけのBOD除去速度が一次反応式にしたがうと捉えて差し支えないと思われる。ただし、稲森ら¹⁵⁾も指摘しているように、20℃から30℃付近を境にして嫌気性微生物の代謝活性が変化するため、本実験の温度範囲では一次反応式を適用することが望ましい。なお、Fig. 7から明らかなように、本実験ではBOD除去反応に遅れ時間 (Lag time) が認められなかった。これは、実験開始前に嫌気性消化汚泥を種汚泥として投入し、ろ材に微生物が十分に捕捉されていた結果と推察され、嫌気ろ床槽の初期運転に重要な示唆を与えている。

(3) 嫌気ろ床による有機物の低分子化

BODの低減においては、嫌気性細菌の作用による有機物の可溶化及び低分子化が進行するため、嫌気ろ床槽流出水のBOD及び比較対象実験施設の沈殿分離槽流出水のBODと揮発性低級脂肪酸 (VFA) との関係それぞれFig. 8に示した。

嫌気ろ床槽及び沈殿分離槽のいずれもBODとVFAとの間には、次式で表される直線関係が得られ、同一VFAに対して沈殿分離槽流出水の方が高いBOD値を有する傾向を示した。また先に述べたように、沈殿分離槽は嫌

気ろ床槽流出水に比較してD-BOD BODが低いことから、有機物の低分子化は嫌気ろ床槽で進行しやすいことが認められた。

$$\text{沈殿分離槽 } BOD_1 = 0.828VFA_1 + 83.0$$

$$\text{嫌気ろ床槽 } BOD_2 = 0.559VFA_2 + 48.9$$

BOD_1 : 沈殿分離槽流出BOD濃度 (mg/l)

VFA_1 : 沈殿分離槽流出VFA濃度 (mgCH₃COOH/l)

BOD_2 : 嫌気ろ床槽流出BOD濃度 (mg/l)

VFA_2 : 嫌気ろ床槽流出VFA濃度 (mgCH₃COOH/l)

したがって、槽内のSS捕捉性の高いろ材を充填することにより、流入水中のSSがろ床内に捕捉され、同時に、有機物がろ材表面に付着した嫌気性細菌によって低分子化が進行するものと考えられる。

次いで、低分子化に及ぼすBOD除去機能の影響を明確にするため、実験期間中において嫌気ろ床槽によるBOD除去率が60%以上を維持した場合と、そうでない場合とのVFAの成分比について検討を行った。

Fig. 9は、代表的なVFAである酢酸、プロピオン酸、酪酸、吉草酸、カブロン酸がVFAの総量に占める割合をそれぞれ示したものである。嫌気ろ床槽において、BOD除去率60%以上が安定に維持されていた条件では、酢酸81.0%及びプロピオン酸19.0%であり、酪酸～カブロン酸は検出されなかったが、BOD除去率が60%未満の場合には、酪酸、吉草酸及びカブロン酸の占める割合が、VFA総量の11.9%を占めており、明らかな差が認められた。同様に、比較対象実験槽の沈殿分離槽についても、VFA総量に対する酪酸、吉草酸及びカブロン酸の占める割合が10～15%となっていた。

これまで、し尿処理施設における嫌気性消化では、酸発酵からメタン発酵へ移行する際の基質として酢酸が主であると報告されており、また分子量の高い脂肪酸が残留しているとガス化が低下し、有機物の消化が不安定であるといわれている¹⁷⁻¹⁹⁾。さらに、下水汚泥の嫌気性消

Fig. 8 BOD and VFA in the effluents of sedimentation/separation tank and anaerobic filter tank

Fig. 9 Component ratio of the VFA in anaerobic filter tank

化では、低級脂肪酸が減少する場合、先に酢酸が低下し、プロピオン酸は他の低級脂肪酸が低下を開始しても、しばらく増加傾向を示すと報告されている²⁰⁾。

そこで、嫌気ろ床槽においても、VFAのうち、分子量の高い酪酸、吉草酸あるいはカプロン酸が残留している状況では、BOD除去率が低く、酸発酵からメタン発酵に移行する率が低下していることが予測される。

合併処理浄化槽の場合、流入BOD濃度が200mg/l前後の比較的低濃度であり、し尿及び下水汚泥の嫌気性消化とは環境条件が異なっているが、VFAの主成分が酪酸以上の分子量を有する低級脂肪酸の残留しない状況、すなわち、ろ材を充填することによるSSの捕捉性の強化、滞留時間の確保により、有機物除去は容易であり、また後段の好気性処理へのBOD負荷が低減されと考えられる。

4. まとめ

本研究では、嫌気ろ床槽のろ材の仕様とSS捕捉性の関係を明らかにし、実際の戸建住宅に設置した小型合併処理浄化槽による嫌気ろ床槽の実流入条件下での有機物除去特性について検討した結果、次の知見が得られた。

- 1) 嫌気ろ床槽第1室にピッチ100mm×70mmの網様板状、第2室に直径150mmの骨格様球状ろ材を充填した仕様が、最もSSの捕捉性が良好であった。
- 2) 嫌気ろ床槽は、沈殿分離槽の60%程度の有効容量であり、水理学的滞留時間も1.5日分であるが、ろ材のSS捕捉及び有機物除去により平均BOD除去率は67.9%であった。
- 3) 実施設においても嫌気ろ床槽のBOD除去反応は、人工下水を用いた実験室レベルでの検討結果と同様に一次反応で表され、見かけの比BOD除去速度恒数は $5.2 \times 10^{-2} \text{ l/hr}$ が得られた。
- 4) BODとVFAとの間には高い相関が認められ、嫌気ろ床槽は沈殿分離槽よりも低分子化が進行する状況であった。
- 5) 嫌気ろ床槽流出水中のVFAの構成成分は、主として酢酸、プロピオン酸であったが、BOD除去率の低下した条件では、さらに分子量の高い酪酸、吉草酸、カプロン酸が残留していた。

参考文献

- 1) 小川浩：生活排水処理方法のしくみと種類、月刊下水道、24(5)、10-14 (2001)
- 2) 金子光美、河村清史、中島淳編：生活排水処理シス

テム、技報堂、東京、4-22 (1998)

- 3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課浄化槽対策室：平成12年度浄化槽行政組織等調査結果、環境省浄化槽対策室資料 (2001)
- 4) 建設省(現国土交通省)：尿尿浄化槽の構造方法を定める件、平成12年5月31日付建設省告示第1465号(2000)
- 5) 北尾高嶺：小型合併処理浄化槽の構造および維持管理、(財)日本環境整備教育センター、東京、64-72(1990)
- 6) 建設省下水道部、厚生省下水道環境部監修：下水試験方法、(財)日本下水道協会 (1997)
- 7) 国安克彦、楊新泌、仁木圭三、久川和彦、大森英昭：小型合併処理浄化槽の放流水BODの時間変動特性、浄化槽研究、9(1)、13-26 (1997)
- 8) 国安克彦、大森英昭、石原光倫、久川和彦、楠本正康：生物膜法による小型污水处理施設の設計上の要因、第3回生物膜法研究会講演要旨集、50-58(1983)
- 9) 大久保卓也、細見正明、岡田光正、村上昭彦：嫌気性ろ床法における外来懸濁物質蓄積の影響評価モデル、水環境学会誌、16(12)、50-63 (1993)
- 10) 北尾高嶺、木曾祥秋、笠井一次：嫌気—好気性ろ床システムによる汚濁物質の除去機構とその数値解析、下水道協会誌論文集、28(324)、17-27 (1991)
- 11) 建設省住宅局建築指導課等監修：尿尿浄化槽の構造基準・同解説、(財)日本建築センター、210-212(1996)
- 12) 小川浩、大森英昭：コミュニティ・プラントにおける流入条件と処理機能の評価、浄化槽研究、13(1)、29 (2001)
- 13) 日本環境整備教育センター：昭和63年度厚生省委託水環境を確保するための生活排水等の高度処理技術の確立に関する研究報告書、9-11 (1989)
- 14) 北尾高嶺、木曾祥秋、金富吉：嫌気性接触沈殿法による生活排水の一次処理、浄化槽研究、2(1)、15-22 (1990)
- 15) 稲森悠平、池谷正雄、岩堀恵祐、国安克彦、須藤隆一：低濃度有機性排水の嫌気性ろ床処理に及ぼす温度の影響に関する数理解析、用水と廃水、25(10)、34-42 (1983)
- 16) 山本康次、中野仁、北尾高嶺、大森英昭、藤井正博：嫌気性ろ床を用いた家庭下水の処理、下水道協会誌、22(255)、12-22 (1985)
- 17) Hans Weber, Klaus D. Kulbe, Horst Chmiel, and Walter Trosch: Microbial acetate conversion to methane: kinetics yields and pathways in a two-step digestion, Applied Microbiology and Biotechnology, 19, 224-228(1984)
- 18) 長坂實上、荒又健夫、佐藤義典、佐川季男：消化槽の初期運転について—揮発性有機酸の濃度変化—、第21回下水道研究発表会講演集、508-510 (1984)
- 19) 浦辺真郎、寺島泰：廃棄物を用いた嫌気性消化に関する基礎的研究、水処理技術、25(6)、9-19 (1984)
- 20) 岡田和男編：下水汚泥の処理・処分、環境公害新聞社、東京、133-162 (1982)

(受付 2001.10.10)

(受理 2001.12.28)