

担体流動床式生物膜法における付着微生物の 生物相と処理水質の関係

(公社) 宮城県生活環境事業協会浄化槽法定検査センター
NPO法人環境生態工学研究所幹事
○吉田 恵也
NPO法人環境生態工学研究所理事
千葉 信男

1. はじめに

微生物の浄化作用による生活排水処理システムが下水道や浄化槽などで活用され、生活排水処理において、細菌を含む微生物の働きは重要な役割を担ってきた。これまで、中・大型の下水道処理施設、農・漁業集落排水処理施設、合併処理浄化槽などの活性汚泥法および固定床式生物膜法における生物相の調査・研究が多数行われてきた^{1)~3)}。

平成12年に建築基準法の改正に伴う構造基準の性能規定化が行われ、各浄化槽メーカーの技術の進歩により、新たな型式の性能評価型浄化槽が次々に設置されてから十数年が経過しようとしている。なかでも、担体を活用し二次処理反応槽を小容量化した型式が多数設置されてきた。しかしながら、これらの小型の性能評価型担体流動床式浄化槽の生物相に関する調査・研究事例⁴⁾は少ない。

本調査では、小型の家庭用担体流動床式生物膜法の流動担体に付着した生物膜量を測定・検鏡し、生物相と処理水質との関係について報告する。

2. 調査方法

(1) 調査施設の概要

1) 浄化槽の型式等

嫌気ろ床担体流動ばっ気方式のKGRN型7人槽、実使用人員は3人（人員比0.43）、実流入BODは流入水質調査の結果、320mg/L（節水機器を設置している施設）であった。

2) 調査期間

平成23年11月～平成25年12月におおむね隔週で調査を実施した。

3) 調査項目

日平均汚水量、水質測定（BOD、pH、DO、水温、透視度）、流動担体の生物膜量（SS）、担体付着生物膜および担体押え面の生物相の検鏡（定性試験）を実施した。

(2) 調査内容

1) 日平均汚水量の計測

水道メータを調査日毎に記録し、散水用水道にも水道メータを付与し記録した。その水道メータから散水用に使用した値を差引いたものを使用水量として計測した。

2) 水質測定

BOD、pH、DO、水温、透視度、SSの測定はJISまたは下水試験法に準拠して行った。

3) 担体付着の生物膜量および生物相の検鏡

担体流動槽上部の担体押さえ面の一部に10×10cmの採取口を設け、水位を低下させた状態で採取口から流動担体を無作為に10個採取した。その担体からブラシにより生物膜を剥離させ、生物膜量としてSSの測定を行った。主に生物膜は内部に付着しており、光学顕微鏡を用いて付着微生物の生物相を観察し同定した。使用担体の外観を写真-1に示したが、担体の種類等は、形状は中空円筒状となっており、比重は約1.0、外径は約12mm×長さ約11mm、素材はポリプロピレン製である。



写真-1 流動担体の外観

4) 担体押え面の生物相の検鏡

担体流動槽上部の担体押え面に付着している生物膜を2～4箇所から採取し、流動担体の付着微生物と同等の生物相が観察可能な採取場所を検討した。

3. 調査結果と考察

浄化槽を使用開始後の平成23年11月から調査を開始し、平成25年12月に調査を終了するまで、経過日数にして延べ777日間の日平均汚水量（調査間隔毎の平均）、流動担体の生物膜量および処理水BODの経日変化を図-1に示す。

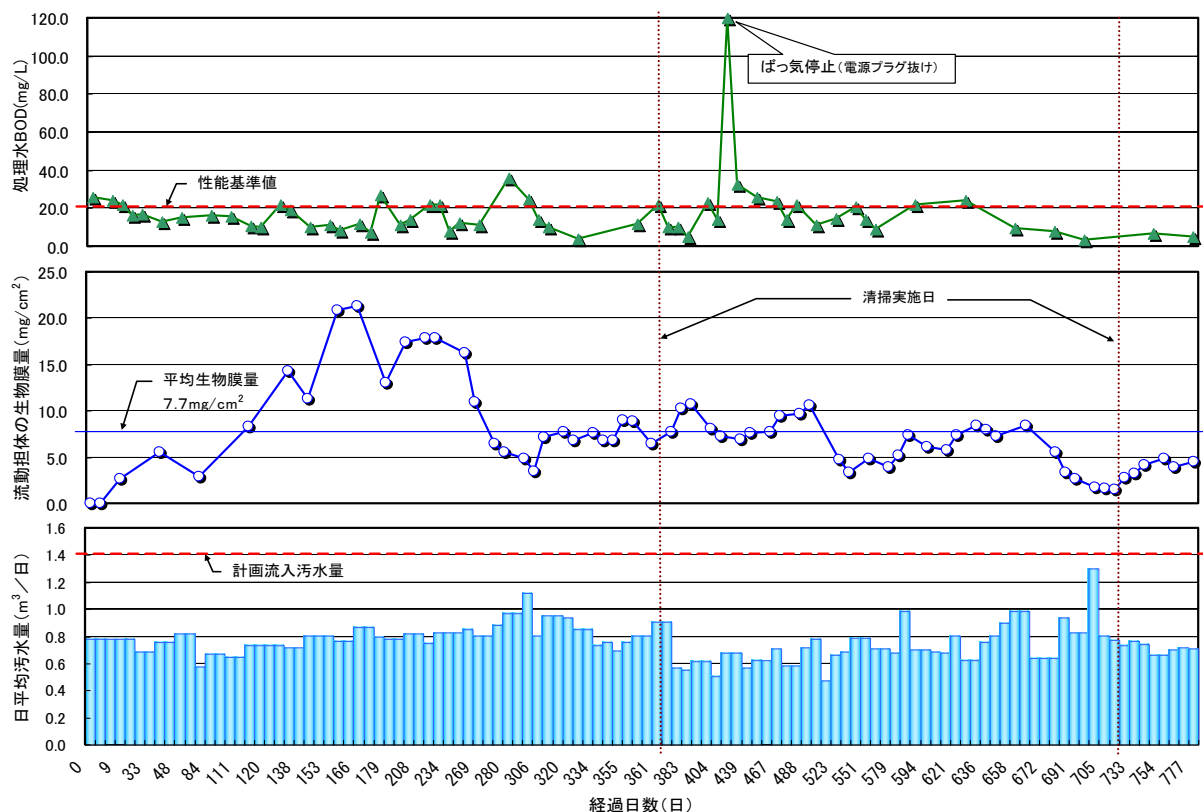


図-1 日平均汚水量、担体付着生物膜量および処理水 BOD の経日変化

(1) 日平均汚水量

調査期間中に日平均汚水量の急激な変動は認められなかった。日平均汚水量は0.76m³/日、最小、最大値はそれぞれ0.47 m³/日、1.30 m³/日であった。なお、調査施設（7人槽）

の計画流入汚水量は1.4 m³/日であることから、約54%の流入状況となっており、水量負荷は計画の1/2程度であった。

(2) 流動担体の生物膜量と処理水BOD

1) 使用開始からの状況

使用開始5日後の流動担体の生物膜量は2.6mg/cm²となっており、処理水BODは24mg/Lと性能基準値を上回ったが、立ち上がりの途中であると考えられた。経過日数33日目で5.6mg/cm²まで増加し、処理水BODは13mg/Lと性能基準値を下回り、処理機能が安定したと考えられた。その後、生物膜量は68日目に一旦2.9mg/cm²に減少するが、111日目に8.2mg/cm²に増加し処理水BODは10mg/Lと良好であった。166日目には生物膜量が21.3mg/cm²となり、調査期間中の最大値となった。このときの処理水BODは12mg/Lと良好な処理水質となっていた。

2) 生物膜量減少の状況

299日目には生物膜量が最小に近い値の3.4mg/cm²まで減少し、処理水BODは25mg/Lに上昇した。ここから増減を繰り返しながら推移し、361日目には生物膜量が6.4 mg/cm²、処理水BODが22mg/Lとなり若干ではあるが性能基準値を上回った。これについては、生物膜の剥離や付着汚泥の解体によるものと考えられる。生物相の詳細については後段で述べることとする。

3) ばっ気停止前後の状況

404日目の調査後、電源プラグが抜け5日後の409日目までばっ気が停止するトラブルが発生した。それ以前の処理水BODは14mg/L、ばっ気停止後の処理水BODは120mg/Lと大幅に性能基準値を超過した。その後、ばっ気を開始させ23日後の432日目には、処理水BODが32mg/L、31日後の440日目には処理水BODが26mg/Lに回復した。その後、順調に回復し479日目には処理水BODは14mg/Lと良好な処理水質が得られた。このときの生物膜量は7.7 mg/cm²となっていた。なお、生物相の詳細は後段で述べることとする。

(3) 生物相の解析と処理水BOD

1) 使用開始からの生物相などの状況

使用開始9日目の生物相は、少量ではあるが縁毛類の *Vorticella* 属、細菌類の分散状細菌が観察された。このときの処理水BODは22mg/Lと若干ではあるが性能基準値を上回る結果となった。これは使用開始後の立ち上がりの途中で、まだ分散状細菌が残存している影響と考えられた。38日目の生物膜の圧密性は良好であり、生物相は9日目に少量観察されていた縁毛類の *Vorticella* 属が優占化していた。また、輪虫類の

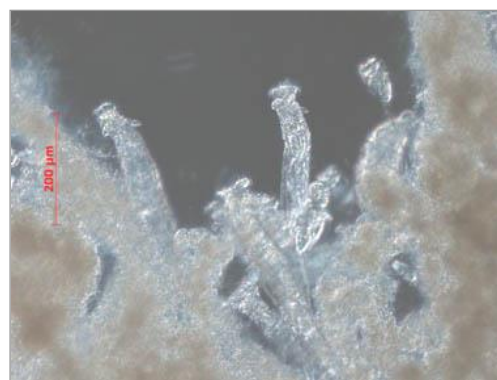


写真-2 *Rotaria* 属と *Vorticella* 属 (×100)

Rotaria 属 (写真-2)、膜口類の *Cinetochilum* 属および *Tetrahymena* 属が優占種として観察された。その他伴生種に水質が良好時に観察される縁毛類の *Opercularia* 属^{1),2),5)} などが出現していた。処理水BODは13mg/Lと性能基準値を下回り、処理水質が安定したと考えられる。その後、114日目までは処理水BODも性能基準値を下回っており、生物相は *Rotaria* 属、膜口類の *Cinetochilum* 属が優占種となっていた。ただし、その他伴

性種に裸口類の*Litonotus*属、低DO時に出現する細菌類の*Beggiatoa*属^{1),2),5)}(写真-3)およびラセン菌などが出現していた。このときの処理水BODは10mg/Lと良好であった。しかし、124日目に処理水BODが22mg/Lとなり、*Rotaria*属が優占種となっているが、伴生種に毛口類の*Paramecium*属や線虫類の*Diplogaster*属(Nematoda)が出現していたことから、生物膜の肥厚化が考えられた。生物膜量の測定結果を見ると8.2 mg/cm²から14.3 mg/cm²に増加していた。処理水質は性能基準値を下回っていたが、



写真-3 *Beggiatoa*属(×100)

226日目に処理水BODが22mg/Lとなった。生物相は、鞭毛虫の*Pleuromonas*属、分散状細菌などが優占し、伴生種に*Litonotus*属や*Amphileptus*属および*Chilodonella*属などが出現していた。

2) 生物膜量減少時の生物相などの状況

前段で299日目には生物膜量が減少したと述べたが、このときの生物相は*Rotaria*属が優占種となっており、その他伴生種に汚泥が解体したときに出現する肉質虫類の*Amoeba*属^{1)-3),5)}が観察された。このことから、担体流動槽内が過ばっ気状態となり、付着汚泥が解体しはじめていることが推察できる。このときの処理水BODは25mg/Lに上昇していた。同様の現象が361日目にも認められ、生物相も*Amoeba proteus*および*Amoeba radiosa*が出現していた。したがって、生物膜の剥離や付着汚泥の解体による処理水質の悪化が裏付けられる。

3) ばっ気停止前後の生物相などの状況

ばっ気停止前後の生物相の検鏡結果を表-1に示す。ばっ気停止以前は、*Rotaria*属が優占種となっており、その他伴生種にも良好時に出現する*Vorticella*属や*Epistylis*属、有殻アメーバの*Euglypha*属^{1),2),5)}などが観察されていた。このときの処理水BODは14mg/Lと良好であった。

ばっ気停止後は生物相が一変し、低DO時に出現する細菌類の*Beggiatoa*属^{1),2),5)}、桿菌および分散状細菌が優占して観察された。その他伴生種にもラセン菌やH₂Sが発生し始めたころに出現するとされる*Caenomorpha*属²⁾が出現していた。担体流動槽の生物膜は黒色を呈し嫌気化が進行している状態であった。処理水BODは120mg/Lと大幅に性能基準値を超過する結果となった。

表-1 ばっ気停止前後の生物相の検鏡結果

分類	微生物名		
	ばっ気停止前(通常運転)	ばっ気停止後	
原生動物等	優占種	<i>Rotaria</i> sp.	
	その他	<i>Vorticella</i> sp.	<i>Caenomorpha</i> sp.
		<i>Epistylis</i> sp.	<i>Pleuromonas</i> sp.
		<i>Euglypha</i> sp.	<i>Euglypha</i> sp.
		<i>Litonotus</i> sp.	<i>Rotaria</i> sp.
	<i>Amoeba</i> sp.		
フロック・生物膜の状態	細菌等		<i>Beggiatoa</i> sp.(優占)
			分散状細菌(優占)
			桿菌(優占)
			ラセン菌
	凝集・付着状況	生物膜の形成が認められた。また、検鏡時の生物膜の圧密性は良好であった。	生物膜の形成は認められたが、黒色を呈し嫌気化が進行していた。

(4) 流動担体と担体押え面の生物相の比較

これまで例示してきた生物相は、主に流動担体に付着した生物膜の検鏡結果であるが、本調査施設のように流動担体を容易に採取できる施設は少ない。そこで、他の施設でも容

易に流動担体と同等の生物膜が採取でき、生物相による処理状況の裏づけが得られる採取場所を複数回調査した。その結果、最も流動担体と近似していたのが担体流動槽上部の担体押え面に付着している生物膜であった。その際の採取場所は、できるだけ一次処理槽からの微生物の持ち込みを回避するため、二次処理槽への移流口より遠距離の処理水槽に近い場所（2～4箇所）とした。検鏡結果の一例を表-2に示したが、優占種および伴生種共にほぼ同等の生物相となっていた。ただし、*Sphaerotilus*属が流動担体では伴生種、担体押え面では優占種となった。これは、担体押え面上部の生物膜がやや肥厚化していたことによる差異と考えられる。以上のことを踏まえて採取し、検鏡を行えば十分に有効な採取場所であると言える。

表-2 流動担体と担体押え面における生物相の検鏡結果の比較

分類		微生物名	
		流動担体	担体押え面
原生動物等	優占種	<i>Rotaria</i> sp.	<i>Rotaria</i> sp.
		<i>Amoeba</i> sp.	<i>Amoeba</i> sp.
	その他	<i>Opercularia</i> sp.	<i>Opercularia</i> sp.
		<i>Tetrahymena</i> sp.	<i>Vorticella convallaria</i>
フロック・生物膜の状態	細菌等	<i>Sphaerotilus</i> sp.	<i>Sphaerotilus</i> sp.(優占)
		<i>Beggiatoa</i> sp.	<i>Beggiatoa</i> sp.
		分散状細菌	分散状細菌
	凝集・付着状況	検鏡時の生物膜の圧密性は良好であった。	検鏡時の生物膜の圧密性は良好であった。

4. まとめ

小型の家庭用担体流動床式生物膜法における付着微生物の生物相と処理水質との関係に着目し調査した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 流動担体の生物膜量は、使用開始5日後で2.6mg/cm²付着しており、166日目で調査期間中の最大付着量の21.3mg/cm²となった。このときの処理水BODは12mg/Lと良好であった。
- (2) 生物膜量が最小に近い値の3.4mg/cm²まで減少したときには、処理水BODは25mg/Lに上昇していた。このときの生物相は*Rotaria*属が優占していたが、伴生種に*Amoeba*属が出現しており、生物膜の剥離や付着汚泥が解体しはじめていることが分かった。
- (3) 処理水質が良好時には、輪虫類の*Rotaria*属や縁毛類の*Vorticella*属や*Epistylis*属が優占化し、悪化時には、*Beggiatoa*属や*Caenomorpha*属などが出現することが分かった。
- (4) 処理水質が良好から悪化、あるいは悪化から良好へと移行するときには、裸口類の*Litonotus*属や*Amphileptus*属などが出現していることが分かった。
- (5) 流動担体と担体押え面の生物相の比較結果から、最も流動担体と近似していたのは、担体流動槽上部の担体押え面に付着している生物膜であることが分かった。

参考文献

- 1) 須藤隆一、稲森悠平：図説生物相からみた処理機能の診断、産業用水調査会（1983）
- 2) 千種 薫：微生物による水質管理、産業用水調査会（1996）
- 3) 須藤隆一：水環境保全のための生物学、産業用水調査会（2004）
- 4) 津田隆太、田村美幸：小型浄化槽における微生物についての調査、第25回全国浄化槽技術研究集会講演要旨集（2011）
- 5) 須藤隆一、吉田恵也：浄化槽の生物—その役割と現場判定、月刊浄化槽（2015-2016）