

農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座 (第9回 JARUS 型生物膜法の維持管理 (その1))

1. はじめに

農業集落排水事業において、生物膜法は導入期から成熟期に掛けて数多く採択され、その割合は農業集落排水処理施設全体の約 45%を占めています。

JARUS 型生物膜法の代表的な処理方式は接触ばっ気槽の前段に嫌気性ろ床槽を有する JARUS-Ⅲ型で、実に生物膜法の半数以上を占めています。次に多いのが接触ばっ気槽の前段に沈殿分離槽を有する JARUS-Ⅰ型で生物膜法全体の約 4 分の 1 になります。今回はそのどちらの処理方式にも共通する生物膜法の代表的な処理水槽である接触ばっ気槽についてお話をします。

2. 生物膜法の処理の特徴

表－1 にJARUS 型生物膜法の主な水槽と処理方式の関係を示します。

表－1 JARUS 型の生物膜法

主な水槽	JARUS 型	摘要
沈殿分離槽	Ⅰ、S 型	
接触ばっ気槽		
嫌気性ろ床槽	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ型	
接触ばっ気槽		
嫌気性ろ床槽	Ⅲ _G 、Ⅲ _R 、Ⅳ _S 、Ⅳ _H 型	活性汚泥併用型
接触ばっ気槽		

なお、活性汚泥併用型とは、沈殿槽から接触ばっ気槽第 1 室に活性汚泥が戻る返送ラインを設ける

ことで活性汚泥を維持し、接触ばっ気槽に生物膜と活性汚泥が共存する状況で処理を行う処理方式です。N-BOD や pH の低下で処理水質が悪化した施設やサカマキガイ等の繁殖によって生物膜が捕食され処理性能が不安定になった施設の改築あるいはそれらに対応するために開発された処理方式です。

生物膜法は、浮遊生物法と比較し低負荷の処理に優れた性能を示す処理方式です。一方、流入負荷の変動に対応するのが苦手な、特に負荷が急に高くなると処理が不十分になり一時的に水質が悪化することもあるので、流入させる汚水量をできるだけ均等にする流量調整が必要です。

接触ろ材は、嫌気性ろ床槽と接触ばっ気槽で異なるのが一般的です。嫌気性ろ床槽では、懸濁物質の除去に有利な不規則に充填できるボール状ろ材が多く採用されています。一方、接触ばっ気槽では、均等な水流を形成させるため規則的に充填できる筒状（網状骨格）やひも状のろ材が採用されています。写真－1 は、JARUS 型で採用されている接触ろ材の例です。



写真－1 接触ろ材の例

生物膜法で窒素を除去する場合は、接触ばっ気槽（硝化槽）から嫌気性ろ床槽（脱窒槽）に硝化液を循環させる循環脱窒法が一般的です。接触ばっ気槽のばっ気を一定時間停止する間欠ばっ気法は、次項で説明する理由からあまりお勧めできません。

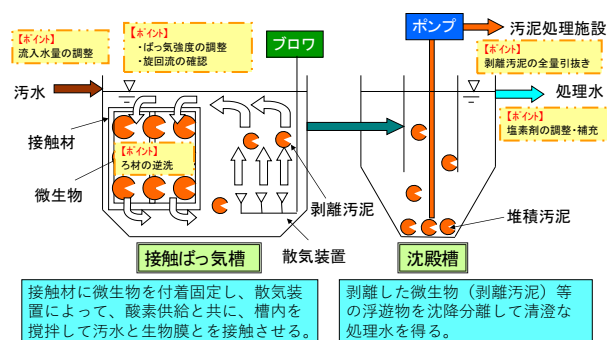


図-1 接触ばっ気槽の概念図

3. 接触ばっ気槽の特徴

JARUS 型の生物膜法には、必ず接触ばっ気槽があります。接触ばっ気槽内には接触ろ材があり、微生物は接触ろ材の表面に付着し増殖します。微生物の栄養と酸素は、通常は散気装置によって形成された水流（旋回流）によって供給されます。処理に関わる微生物は接触ろ材に付着しており、接触ろ材から剥がれた微生物（剥離汚泥）は処理に関わらないため、沈殿槽の底部に堆積（固液分離）し堆積汚泥として定期的に引き抜かれ汚泥処理施設に送られます。

接触ばっ気槽内の微生物量は浮遊生物法の 1/4～1/2 あるいはそれ以下とかなり少なく、微生物は接触ろ材にしかいないため槽内の微生物濃度は均等ではありません。そのため、単にばっ気を停止させても、接触ばっ気槽内の溶存酸素濃度はなかなか低下しません。接触ばっ気槽で脱窒反応を進行させるためには、散気装置とは別の方法で槽内を撹拌したり、活性汚泥併用型のように微生物量を多くする等の工夫が必要になります。

図-1 に接触ばっ気槽（+沈殿槽）の概念図を示します。

JARUS 型の生物膜法でも、接触ばっ気槽の硝化液を嫌気性ろ床槽に返送する循環脱窒法で窒素を除去しています。循環脱窒法の窒素除去率は、硝化液の循環率に依存します。脱窒型の JARUS-Ⅱ型やⅣ型の処理水 T-N 濃度は 20mg/L なので、流入汚水の T-N 濃度を 43mg/L とすると、循環率を 200% で窒素除去率 67%、処理水窒素濃度 14.3mg/L となり目標水質を達成することになります。表-2 に硝化液の循環率と窒素除去率及び処理水窒素濃度の関係を示します。

表-2 硝化液の循環率と窒素除去率の関係

硝化液循環率 (%)	窒素除去率 (%)	処理水窒素濃度 (mg/L)
0	0	43.0
50	33	28.7
100	50	21.5
200	67	14.3
300	75	10.8
400	80	8.6

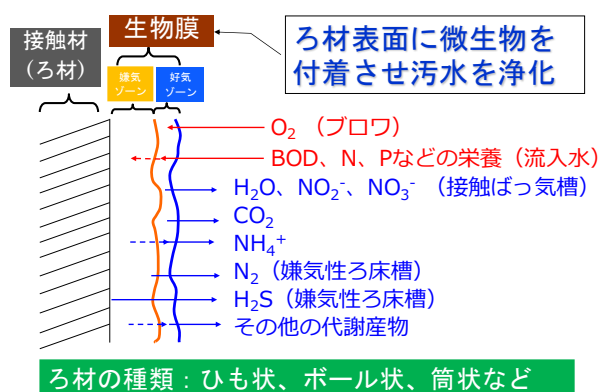
4. 生物膜の特徴

接触ろ材に付着した微生物を生物膜と呼びます。微生物は、処理に伴い増殖し生物膜の厚さも増して

いきますが、増える速度はばっ気強度によって違います。ばっ気強度が大きくても生物膜は次第に成長し厚くなるので接触ろ材が閉塞しないうちに接触ろ材を直接散気する逆洗操作を行う必要があります。

生物膜がどんなに厚くなっても、酸素が供給される生物膜の厚さは表面から $200\mu\text{m}$ (0.2mm) 程度の深さ（好気ゾーン）までといわれています。それより深い生物膜（嫌気ゾーン）には酸素が供給されません。嫌気ゾーンでは条件が揃えば脱窒反応が進行してもおかしくありませんが、条件となる有機物や硝酸性窒素等の物質移動が効率的でないため、接触ばっ気槽で脱窒機能を見込むことはありません。

処理に関わる主な物質と生物膜の関係を、図－２に示します。



図－２ 生物膜と処理に関わる物質の関係

5. 接触ばっ気槽の維持管理

接触ばっ気槽は、維持管理上の測定項目や操作要因が限られています。そのため、接触ばっ気槽の維持管理では、今の処理状況がどのような状態なのか、

さらに今後どのような状態になり得るのかという処理状況の把握が最も重要になります。図－３は、接触ばっ気槽の状態（フェーズ）をⅠからⅥに分類し水質の傾向とフェーズ間の関係を矢印で示したものです。

JARUS 型の接触ばっ気槽は、基本的にフェーズⅡの状態です。フェーズⅡの状態は、いずれフェーズⅢの状態になるため、適切な時期に逆洗操作を行いフェーズⅡの状態に戻す必要があります。流入負荷が低いと、フェーズⅣの状態になりやすく、N-BOD や pH 低下の影響を受けることになります。なお、脱窒型の JARUS 型はフェーズⅥの状態です。

（１）水質測定項目

処理状況の判断に活用できるという点からいえば、維持管理時に必ず測定したほうがよい水質項目は pH と水温そして透視度です。DO はばっ気が正常なら検出されるのは当然であり、数値もある程度高くなるのはあたりまえで、測定した数値で処理状況を判断することはできません。それより ORP のほうが、処理状況を把握するのに適しています。

接触ばっ気槽は酸化処理を行うので、処理の進行に伴い pH は徐々に低くなります。接触ばっ気槽第１室（以下、「第１室」という。）より接触ばっ気槽第２室（以下、「第２室」という。）のほうが低くなるのが一般的です。もし、逆だったら、第２室に目詰まり等のトラブルが発生している疑いがあります。

水温は生物学的処理の基礎情報です。微生物の活

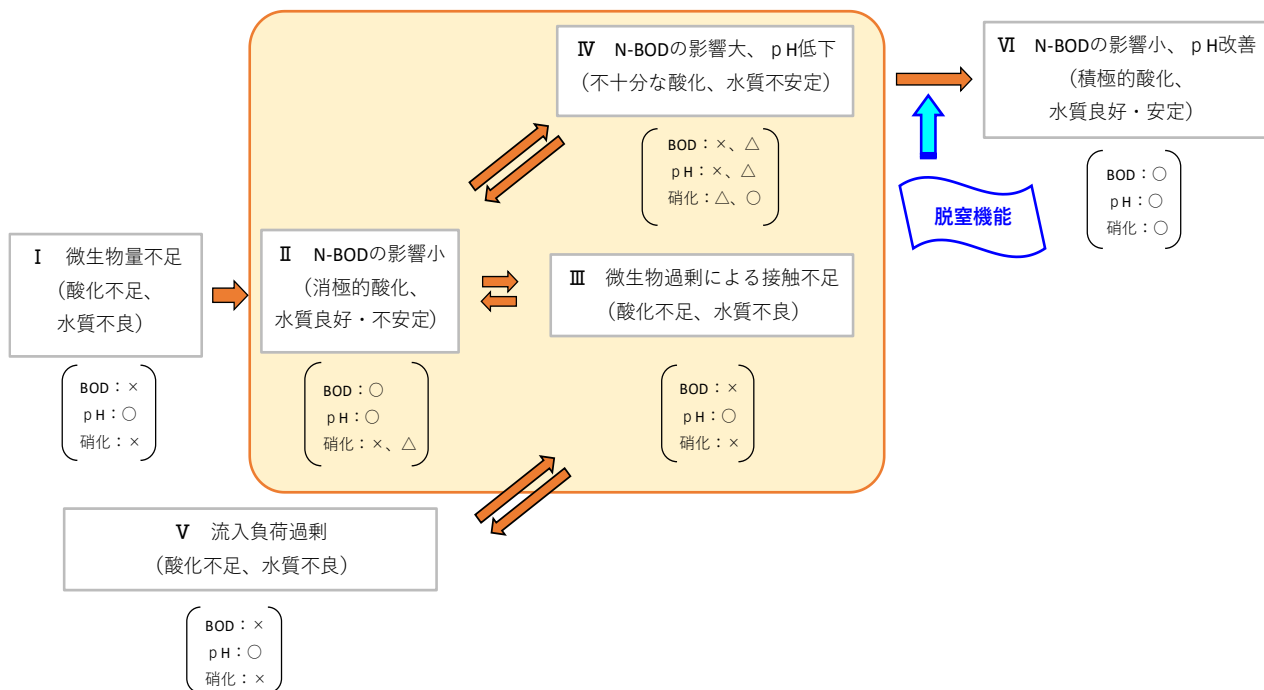


図-3 接触ばっ気槽の状態（フェーズ）と処理の関係

性に影響し、逆洗操作の可否の判断にもなります。水温が 15℃を下回った時期に行う逆洗操作は、微生物の増殖速度が小さくなっているため、やり過ぎに注意して下さい。

透視度は、逆洗操作のタイミングを判断する目安になります。急激に透視度が低下し、その原因が剥離汚泥の場合は、逆洗時期が近づいていると判断できます。また、白濁によって透視度が悪化した場合は、接触ろ材の目詰まりや堆積汚泥の存在、前段の嫌気性ろ床槽等の影響が考えられます。なお、このような状況で接触ろ材内の ORP を測定すると、数値はマイナスを示すはずで

(2) ばっ気強度の設定方法

接触ばっ気槽の運転管理において、維持管理時に把握すべき指標はばっ気強度 ($\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{時})$) だけです。接触ばっ気槽のばっ気状況は、ばっ気風量で

はなくばっ気強度で把握してください。ばっ気強度は、次式によって算出します。

$$\text{ばっ気強度} (\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{時})) =$$

$$\text{ばっ気風量} (\text{m}^3/\text{時}) / \text{ばっ気槽容量} (\text{m}^3)$$

通常、ばっ気強度は $1 \sim 2 \text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{時})$ の範囲で設定します。ばっ気強度は、以下の次項に留意して設定します。

- ① 接触ろ材が目詰まりしない十分な水流（旋回流）で槽内を攪拌する。
- ② 処理状況によって、第1室と第2室で差をつける。
- ③ 第2室は、沈殿槽の状況に応じて調整する。

①は、目視で槽内の水流を観察し判断します。また、逆洗時に腐敗臭が感じられたり、白い汚泥が見られた場合は、ばっ気強度を高くします。

②は、流入負荷にもよりますが、通常は第1室よ

り第2室のばっ気強度を小さく設定します。また、硝化反応の進行を制限する場合は、第2室のばっ気強度をさらに低くします。ただし、接触ろ材の目詰まりには注意が必要です。

③は、沈殿槽でスカムが発生したり、ミジンコが目立つ場合はばっ気強度を高くし、沈殿槽のpHが低い場合はばっ気強度を低くします。

ばっ気強度を頻繁にあるいは数値をこまめに変更する必要はありません。一度、設定したばっ気強度は、何か目的がない限りあるいはトラブルが発生しない限り、変更する必要はありません。浮遊生物法とは異なり酸素供給量は十分なので、接触ばっ気槽のばっ気では、槽内を十分に攪拌することが重要な目的になっています。

もし、ばっ気強度を少し変化させただけで水質に変化が見られる場合は、接触ばっ気槽の目詰まりを疑ってください。逆洗操作を行ってもさらに同じ現象が見られるようなら、逆洗操作そのものが不十分あるいは接触ろ材の目詰まりや堆積している汚泥が動きにくい状況であることが考えられます。

(3) 接触ろ材の逆洗方法

微生物が増殖し厚くなった生物膜は、そのまま放置すると目詰まりの原因になるので、強制的に剥離する必要があります。この操作を逆洗操作と呼び、適切な時期に空気の剪断力で生物膜を剥離（剥離汚泥）させ、接触ばっ気槽から取り除きます。

1～2 m³/ (m³・時) 程度のばっ気強度では、ばっ気強度の強弱に関わらず付着する生物膜は処理とともに厚くなっていきます。逆洗操作ではばっ気強

度を十分に引き上げて（3～4 m³/ (m³・時) 以上）、生物膜を確実に剥離させる必要があります。また、剥離汚泥はできるだけ多くを槽外に排出させ汚泥処理施設に移送することが必要です。剥離汚泥の移送が不十分だと折角剥離させた汚泥が再び生物膜に補足されてしまい逆洗効果が不十分になってしまうこともあります。思うように剥離汚泥を槽外に移送できない場合は、ばっ気強度を2～3 m³/ (m³・時) に抑えて長時間（一昼夜程度）逆洗を継続させ剥離汚泥を沈殿槽まで移送する方法もあります。

逆洗操作は行うことが目的ではなく、肥厚化した生物膜を剥離することが目的です。逆洗を行っても生物膜の肥厚化が改善しなければ、目的を達成したことになりません。

6. 接触ばっ気槽のトラブルと対策例

(1) 発泡現象

接触ばっ気槽で見られる発泡現象の特徴は、泡は白色できめが細かく散水すると簡単に消泡することです。石鹸の泡によく似ていますが、発泡の原因物質は石鹸ではなく低級脂肪酸（有機酸）です。低級脂肪酸は有機物の分解過程で生成される中間生成物で、微生物にとっては易分解性物質です。有機酸の生成量が微生物量に対して少ない場合は直ちに分解されるので発泡現象は認められませんが、多い場合は食いつ残しが出て発泡原因物質になります。

以下に、対策を示します。

- ① ばっ気強度を上げる。（一時的に発泡量が増えるので注意が必要）

② 嫌気性ろ床槽や沈殿分離槽の清掃を行う。

③ 流量調整ポンプの稼働時間が連続的になるように汚水計量槽の三角堰の水量を調整する。

発泡現象は酸化処理が進行すれば量が減るので、第1室（写真－1）より第2室（写真－2）の方が少なくなっているはずですが、第1室に発泡現象が認められても第2室で認められないなら、酸化処理は十分と判断できます。



写真－2 接触ばっ気槽第1室における発泡現象



写真－3 接触ばっ気槽第2室における発泡現象

（2）処理水 BOD 濃度が高い

有機物由来の BOD 濃度が高い場合は、前項の発泡現象と同じ対策を行います。窒素由来の N-BOD が原因の場合は、硝化反応の抑制を行うか、完全硝化を目指すかで対応が異なります。N-BOD の検出条件は、2つあります。その両方が揃って初めて N-BOD が検出されます。その条件は、以下のとおりで、→印はその対応策です。

① 硝化細菌（亜硝酸菌と硝酸菌）が増殖している。

→ばっ気強度を低くする。特に、第2室のばっ気強度を低くする。

② アンモニア性窒素が残存している。

→（1）の発泡現象と同じ対応をする。

硝化液の返送ラインを使用する。

硝化反応の抑制は①の条件をなくす対応で、完全硝化を目指す場合は②の条件をなくす対応になります。

なお、完全硝化を目指す場合は、処理水 pH が低下する現象にも注意が必要です。

（3）処理水 pH が低い

処理水 pH が低くなり 5.8 を下回るかどうかは、流入汚水の M-アルカリ度の数値に依存します。M-アルカリ度は pH の緩衝作用の大きさを示す指標になりますが、30mg/L 以下になるとその緩衝作用が低くなるといわれています。アンモニア性窒素が硝化反応で硝酸性窒素になると、窒素 1 mg/L 当たり M-アルカリ度が 7.14mg/L 消費されます。仮に 30mg/L のアンモニア性窒素が硝酸性窒素に硝化されたら、M-アルカリ度は 214.2mg/L 消費されることになります。流入汚水の M-アルカリ度は一般に

150~200mg/L なので、M-アルカリ度が 150mg/L の場合 17mg/L のアンモニア性窒素が硝化されると M-アルカリ度は 28.6mg/L と 30mg/L を切ってしまう。

これ以上の硝化を進行させるためには、M-アルカリ度を回復（窒素 1mg/L 当たり M-アルカリ度が 3.57mg/L）させる脱窒反応を組み込むことが必要になります。

（４）サカマキガイによる生物膜の捕食

サカマキガイのように卵塊を形成する生物は、排水処理で出現する微生物のように処理の進行に伴い自然発生的に出現することはなく、例えば、

- ① 流入管路に不明水が流れ込んでいて流入汚水とともに進入した。
- ② 成体が放流管から遡上して進入した。
- ③ 施工時の水張りに使用した河川水等に生息していた。

等の進入経路があり、接触ばっ気槽等で増殖し出現した生物です。

サカマキガイの駆除対策は、

- ① 接触ばっ気槽等に生息している成体と卵塊を駆除する。
- ② サカマキガイが増殖しづらい環境を作り出す。

の２本立ての対応が必要になります。また、より効果的な駆除対策を行うには、サカマキガイの生態を理解することも必要です。

駆除対策を行う上で、役立つサカマキガイの生態を以下に示します。

- ① 貝殻のフチにある薄い外套膜で呼吸（有肺類）し、

水中の溶存酸素を利用することも水面に出て直接空気を呼吸することもできるといわれています。

- ② ひとつの貝に雌雄の生殖器を持ち（雌雄同体）、２匹居れば精子を交換し受精することができます。また、一匹でも受精（自家受精）が起こる場合があるといわれています。

- ③ 卵はゼラチン質の卵塊で、接触ろ材や壁面などに産み付けます。卵は約２週間でふ化し、稚貝は３～４ヶ月で成熟し、寿命は約１年といわれています。

- ④ 成体は１～２日ごとに卵塊を１個産卵し、１つの卵塊に数十～１００個の卵があります。産卵時期は一年中ですが、気温が低い冬季は産卵しなくなります。

このことから、ばっ気を停止するとサカマキガイは、酸欠状態を嫌い壁面に出てきたり水面に浮いてくるので、網等ですくい取って駆除することができますが、卵は生き延びるため完全に駆除することはできないことがわかります。また、薬剤を散布する場合は、繁殖期といわれる春（４月）から秋（１０月）にかけて繰り返し定期的（２～３ヶ月に１回）に散布すると、効率よく卵からふ化したサカマキガイも駆除できることがわかります。

サカマキガイの駆除に効果があるといわれている具体的な駆除方法を示します。なお、サカマキガイが処理施設に進入した経路の調査は事前に行ってください。

① アンモニア性窒素の中毒

サカマキガイは、他の貝類同様アンモニア性窒素に敏感であり濃度が高くなると中毒死します。そこで、硫安（硫酸アンモニウム）等の薬剤を散布し一時的にアンモニア性窒素濃度を高くする駆除方法があ

ります。槽内のアンモニア性窒素濃度は高い程効果がありますが、散布後の水質への影響を考慮すると数十 mg/L を目安に散布し発生状況に応じて濃度を調整するのがよいでしょう。また、サカマキガイはアルカリ性を好まないため、pH を 8～9 程度（pH が 8 を越えると毒性の強いアンモニア（NH₃）の割合が高くなる）にすると駆除効果が上がります。

② 化学薬剤の散布

使用される薬剤は、硫酸銅や塩化アルミニウムが一般的です。薬剤はサカマキガイだけに毒性があるわけではなく、他の水生動物にも毒性があるため散布する場所や濃度には十分な配慮が必要です。放流口付近や下流に養殖場等がある場合は、事前に魚毒性（急性毒性 LD₅₀ 等）を調査し散布による影響について検討する必要があります。サカマキガイの生存率は、大きさによって異なるため、大きい成体が多い場合は濃度を高くしたり長い時間薬剤に暴露させる必要があります。

③ 市販駆除剤の使用

市販の駆除剤を使用する場合は、使用上の注意に従い散布するとともに、効果を確実にするため、繰り返し散布するようにして下さい。

上記駆除作業の前日から接触ばっ気槽のばっ気を停止させ、槽内を酸欠にしサカマキガイを弱らせると薬剤への抵抗力が弱くなり効果的に駆除できます。

以上、主な駆除方法を示しましたが、駆除方法の選定には、放流先の環境に対する危険性を回避することが重要です。また、作業はサカマキ貝の繁殖時期と言われている春と秋にかけて、サカマキガイの個体数、

大きさにより投入量も変化させることが必要になるだけでなく、作業回数も複数回必要となるため、詳細に関しては事前に専門家（JARUS 等）に相談すると良いでしょう。

サカマキガイが問題になるのは、サカマキガイが接触ばっ気槽に生息しているからではなく、極端に増殖し接触ろ材の生物膜を食い散らかし処理機能が低下したり、多量の排泄物が原因で水質が悪化する場合です。サカマキガイが進入しても繁殖しにくい環境をつくるのが大切であり、ブロワの「ON/OFF」を組み入れ酸欠状態を作~~る~~等、運転条件を工夫することが有効です。例えば、タイマーを設置しブロワを「ON/OFF」できるようにし、明方の 3 : 00 から 7 : 00 までの 4 時間ブロワを止めます。毎日この状態が継続されれば、肺呼吸をするサカマキガイには好適な環境ではなく増殖しにくい環境になるはずですが。

薬品で生息しているサカマキガイを防除した後、間欠ばっ気を組み入れて生き残ったサカマキガイや新たに進入したサカマキガイの繁殖を抑えることで処理性能への影響を軽減する方法も検討して下さい。

（５）ミジンコの大量発生

農業集落排水処理施設で出現するミジンコは、一般的“ミジンコ”と“ケンミジンコ”の２種類です。見分け方は簡単で、浮いているミジンコの色が白なら“ケンミジンコ”で、赤味を帯びていたら“ミジンコ”（以下、併せて単に「ミジンコ」という。）になります。

ミジンコは、排水処理で出現する生物の頂点に位置する小動物（後生動物）であり、生物膜（細菌や原生

動物等)を捕食して増殖しています。通常は生物膜内に生息しその姿を現すことはありませんが、エサ(細菌や原生動物等)のない水面にミジンコがいるにはそれなりの理由があります。ミジンコは生物膜内の酸素を使って呼吸しています。生物膜内に酸素があればそのまま留まりエサを捕食しますが、酸素がなくなり呼吸困難な状態になってしまいやむなく水面に避難し呼吸している状態が、大量発生というわけです。ミジンコにしてみれば水面に浮上したらエサ(汚泥)がありませんが、生きるための選択としてエサより酸素を選んだ結果といえます。

対応策はまず接触ばっ気槽から行い、その次に沈殿槽を行います。

① 接触ばっ気槽の水面にミジンコが大量発生していたら、接触ろ材のどこかが閉塞しているか、槽底部(四隅)に汚泥が堆積しているはずなので、それを意識した逆洗作業を行います。

② 沈殿槽底部に汚泥が堆積している場合は、まずそれを引き抜きさらに汚泥の引き抜き回数を増やして下さい。引抜き時間を長くするより引抜き回数を増やすほうがより効果的です。沈殿槽の施工上の問題で、ある部分に汚泥が偏って存在することもあるので、このような場合は物理的(水流や長物)に汚泥の固まりを破壊するようにして下さい。

もし、沈殿槽底部に汚泥がそれ程堆積していない状態になってもまだミジンコが発生するようなら、

③ 接触ばっ気槽第2室のばっ気強度を高くし沈殿槽で汚泥が嫌気状態になりにくくすることで改

善する場合もあります。

沈殿槽の水面にいるミジンコがどうしても気になる場合は、ミジンコを直接すくい取る方法もありますが、①及び②の対策を実施しないでやっても、効果はありません。なお、底部からミジンコが浮いてこなくなれば、処理水とともに自然に流されてしまうのでほっといてもミジンコはいなくなるはずです。

7. おわりに

今回は、JARUS型生物膜法の嫌気性ろ床槽の維持管理とⅢ型改良運転についてお話しします。