

農業集落排水処理施設の維持管理基礎講座

(第4回 汚泥管理と微生物(その1))

1. はじめに

汚泥管理と聞くと、何を想像されるでしょうか？
汚泥の系外搬出でしょうか、あるいはSV₃₀の測定、それともMLSS濃度の調整でしょうか。そもそも、汚泥管理とは、汚泥の何を管理し何に注意が必要なのでしょうか？汚泥とはご承知の通り、微生物(より正確には、微生物と小動物(後生動物))の集合体です(以下、「微生物と小動物(後生動物)」を微生物等という。)ばっ気槽や回分槽等の生物反応槽でまさに汚水を処理している活性汚泥も、ちょっと髪の毛や繊維質のゴミが目立ち臭気が気になる汚泥処理設備(汚泥濃縮槽や汚泥濃縮貯留槽、汚泥貯留槽)の汚泥も、顕微鏡で観察するとその正体は微生物等に他なりません。つまり、汚泥管理とは、「微生物等の量を調整したり、微生物等の健康状態(微生物等の構成や年齢)を管理する」ことなのです。

微生物等を相手にしているのですから、微生物等のことを知っているか知らないかは、汚泥管理を行う上でとても大きな差になるはずです。もしかしたら、SV₃₀の測定や返送汚泥量の調整、余剰汚泥引抜量の調整等、普段何気なく行ってきた作業や目にしていた現象についても、改めて微生物等の視点で考えると、何か新たな理由や必要性に気付くかもしれません。

今回は、SV₃₀試験でフロックを観察するとき、どうしても必要になるフロックを形成する細菌につ

いて話をしたいと思います。

2. 汚泥管理とフロックの観察

汚泥管理では、活性汚泥を静置すると固液分離するという現象を活用し、微生物等の量や濃度を調整しています。では、なぜ活性汚泥は静置すると固液分離し、上澄みができるのでしょうか。理由はもうお判りのとおり、活性汚泥がフロックという塊でできているからです。フロックは僅かですが水より重いので静置すると静かに沈降し、フロックが沈降した後は微生物等がほとんどいない清澄な上澄みが残ります。フロックは微生物等の集合体ですが、このフロックの出来不出来が、処理水質に大きな影響を与えます。どんなに上手に酸化処理や窒素除去ができていても、最後の固液分離で失敗したら、処理水は台無しになってしまいます。

汚泥管理では、SV₃₀の測定や汚泥量の調整時にフロックを観察し、フロックが良好な状態を保てるよう管理することが求められます。また、フロックの状態は、ばっ気時間等の運転条件を決める重要な情報にもなります。フロックの状態を正しく判断し、運転条件に反映できれば、安定した処理性能を維持する運転管理にも一役買うことができます。

3. 活性汚泥の構成員

図-1は、活性汚泥を構成する生物を示した図です。活性汚泥は、主に細菌類と原生動物、小動物から構成されており、細菌類は性状によって凝集性細菌と非凝集性細菌、糸状性細菌の3つに分類されて

います。性状によって3つに分類された細菌類は、いずれも有機物を除去するという点では同じですが、固液分離性という能力では良否が分かれ大きな違いがあります。

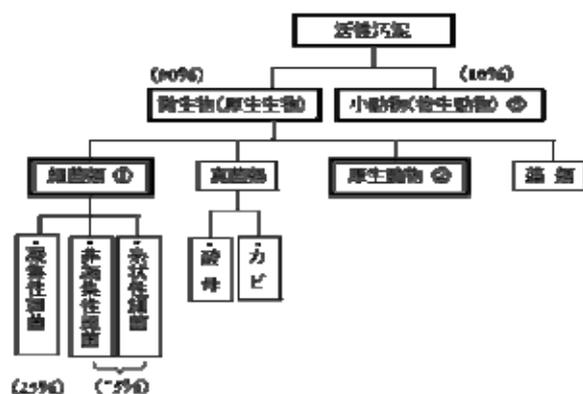


図 - 1 活性汚泥の構成員

非凝集性細菌とは、どんな条件下でも凝集能を示さず、単独だとただひたすら浮遊し続ける細菌のことをいいます。非凝集性細菌は、自らはフロック形成を行えない細菌で、納豆菌(枯草菌)やヨーグルトの乳酸菌、糞便性大腸菌のように身近にいる細菌の多くはこの非凝集性細菌になります。

糸状性細菌とは、糸状の形態をした細菌の総称です。JARUS型でも、膨化(バルキング)現象を引き起こす原因の1つであり、沈殿槽や回分槽において活性汚泥の固液分離性能を悪化させるため、人気のない細菌と言えます。糸状性細菌は、種類(属)が少ない細菌であるにも拘わらず、なぜか多くの種類が排水処理に出現するやっかいな細菌ともいえます。細長く糸状体である糸状性細菌は、桿菌か球菌かラセン菌の形態であるフロックを形成している細菌(フロック形成細菌)と比較し表面積が大き

く、希薄な有機物や溶存酸素(DO)を摂取するには有利な形状となっています。そのため、BOD-SS負荷が低いJARUS型の活性汚泥法は、糸状性細菌にとって格好な棲かになっているといえます。

一方、凝集性細菌とは、ある条件下で凝集能を示して、自らフロック形成を行ない沈殿する細菌のことをいいます。活性汚泥中では決して優占種にはならないといわれていますが、抜群の凝集能をもつことからスター的存在である Zoogloea (ズーグレア) という細菌が有名です。

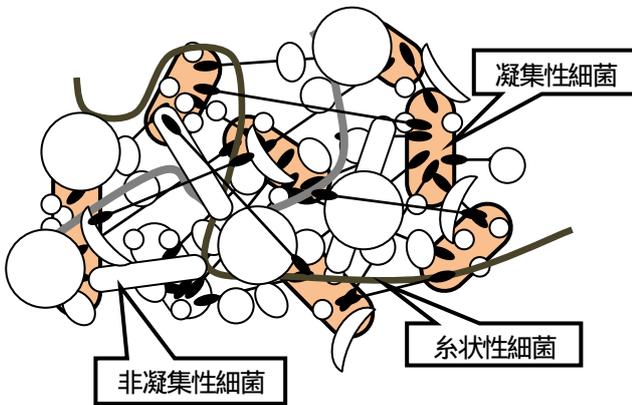
なお、この分類方法は、活性汚泥法での固液分離性に主眼を置いた分類方法であり、生物学的な分類方法ではありません。

4. フロックとは

活性汚泥中のすべて細菌にフロックを形成する能力(フロック形成能)があるわけではありません。フロック形成能をもつ凝集性細菌は全細菌の25%に過ぎないので、活性汚泥中ではむしろ少数派に属します。残りの3/4の細菌は、フロック形成能をもたない非凝集性細菌です。フロックは、凝集能をもつ少数派の凝集性細菌群が非凝集性細菌と一緒に取りこんで形成した塊なのです。そして、活性汚泥が固液分離するのは、このように形成されたフロックがあるからこそなのです。

凝集性細菌の凝集能は、細胞壁の外側に分泌されるクモの糸様で粘着性がある物質によって得られます。この粘着性物質は凝集性細菌の細胞壁全体から分泌され、非凝集性細菌が接触すると凝集性細菌

を中心に放射状に伸びます。非凝集性細菌の桿菌や球菌、糸状性細菌も図 - 2 に示したイメージのように凝集性細菌に粘着されるため、多くの細菌が一緒



の塊になりフロックが形成されます。

図 - 2 活性汚泥のフロックのイメージ

もし、活性汚泥中の細菌類が、非凝集性細菌だけで構成されているとしたら、非凝集性細菌はどんな条件を与えてもフロックを形成せずただ浮遊し分散している細菌なので、活性汚泥を長時間静置しても固液分離することなく、上澄水も得られません。

一方、凝集性細菌も、いつでもどのような状態でも絶えず粘着性物質を分泌しているわけではありません。凝集性細菌が粘着性物質を分泌する時期はある限られた一時期だけです。当然、凝集性細菌が凝集能を示す時期も、その時期だけということになります。実は、粘着性物質は凝集性細菌の細胞内貯蔵物質であり、凝集性細菌が貯蔵物質を蓄えている期間だけ凝集能を示すことになります。粘着性物質の分泌時期は、細菌の菌体令と深い関係があります。図 - 3 に、細菌の増殖曲線にフロック形態の状態を

重ね合わせた図を示します。

図では、横軸に細菌の一生を時間の経過によって、誘導期、対数増殖期、安定期、死滅期の4時期に分け、縦軸には細菌の数を、円内にはフロック形態の状態を示しています。

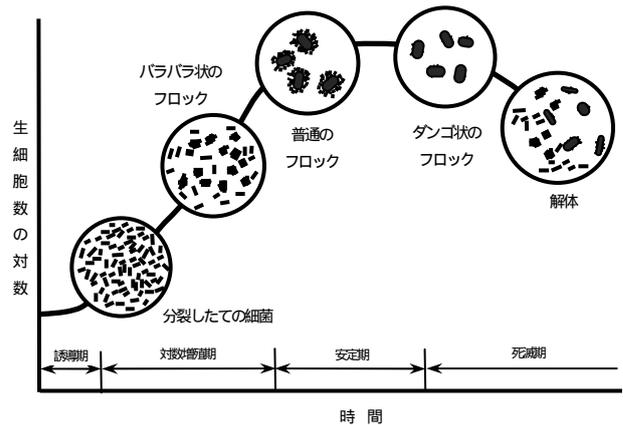


図 - 3 細菌の増殖曲線とフロック形態の状態

(出典：図解 微生物による水質管理 千種 薫)

(1) 分裂したての細菌

誘導期や対数増殖期の始めのころの増殖したての凝集性細菌は貯蔵物質をもっていないため、粘着物質を分泌していません。そのため、フロックは形成されず、細菌類は分散状態で自由自在に浮遊しているだけです。もちろん、凝集性細菌も存在しているのですが、非凝集性細菌だけが存在している状態とまったく同じです。

JARUS 型の施設でいえば、立ち上げ時の活性汚泥の状態に相当します。

(2) バラバラ状のフロック

対数増殖期中頃から粘着性物質を分泌する凝集性細菌類が出現し始め、一部でフロックの形成が

みられるようになります。細菌類の凝集が始まったこの時期は、フロックの形成がほんの一部な状態であるため全体のフロックの状態はまだバラバラ状です。

JARUS 型の施設でいえば、BOD-SS 負荷が急激に高くなったときの活性汚泥の状態に相当します。

(3) 普通のフロック

対数増殖期の後半になると粘着性物質を分泌する凝集性細菌類の数が増えて、半数以上が凝集能をもつようになるのでフロックも大きくなり、非凝集性細菌も何らかの影響をうけてフロックの境界面に集まってきます。

JARUS 型の施設では、処理が安定しているときに良く観察される活性汚泥の状態に相当します。

(4) ダンゴ状のフロック

対数増殖期の後半や安定期に入ると凝集性細菌類のすべてが粘着性物質を分泌するようになるので、しっかりとした大きなフロックが形成されます。活性汚泥は、最良の固液分離性を示し、沈殿槽や回分槽では清澄で透明な上澄水が得られます。ほとんどの凝集性細菌が対数増殖期の後半から安定期にかけて凝集能を示すので、この時期に相当する流入負荷で運転できれば、固液分離性が優れた活性汚泥による処理ができることになります。

JARUS 型施設では、残念ながらこの負荷で運転することは難しいのですが、実は標準活性汚泥法の BOD-SS 負荷 $0.2 \sim 0.4 \text{ kg-BOD} / (\text{kg-SS} \cdot \text{日})$ がその負荷に相当します。

なお、個体数が少なく優占種にはならない

Zoogloea は、この安定期に入ってからやっと粘着性物質を分泌する凝集性細菌なのですが、粘着性物質の粘着力が強いために活性汚泥には必須の細菌といえます。

(5) 解体

凝集性細菌にとって粘着性物質はあくまでも貯蔵物質であり、丁度、人が余分に摂取したカロリーをグリコーゲンや脂肪、アミノ酸といった物質にして体内に蓄え、飢餓に備えるメカニズムと同じ役割を持っています。負荷が低くなりエサ（有機物）が取れなくなると生命を維持するため、凝集性細菌は貯蔵物質を消費する内生呼吸を開始します。その結果、粘着性物質は次第に減少し最終的には全て消失してしまいます。粘着性物質がなくなると細菌類はふたたびバラバラになり、自由に浮遊する状態に戻ってしまいます。このように、一度フロックを形成したのち、細菌がふたたびバラバラになる状態を解体と呼びます。

JARUS 型施設では BOD-SS 負荷が計画より低い状態で運転している施設も多く、このような施設では活性汚泥のフロックが解体状態になっており、固液分離性が良くない状態が慢性的に認められます。

5. 活性汚泥の固液分離性

活性汚泥の固液分離性を良好にするには、活性汚泥のフロックを図 - 3 で示した普通のフロックあるいはダンゴ状のフロックにする必要があります。そのためには、凝集性細菌に凝集能を発揮してもら

うことが必要なのですが、バラバラ状のフロックや解体の状態にしないことも同じく重要になります。

一方、JARUS 型施設では、BOD-SS 負荷の関係でダンゴ状のフロックにすることは難しいので、普通のフロックの状態が最良なフロックといえます。活性汚泥中の細菌には、誘導期の細菌から死滅期の細菌まで、4 時期の細菌が混在していますが、JARU 型施設では、死滅期の細菌割合が高いことが考えられます。しかし、流入負荷に合わせた MLSS 濃度の調整や間欠ばっ気によるばっ気時間の短縮等で BOD-SS 負荷がより適正になる運転条件にしたり、余剰になった汚泥を確実に引き抜く等の適切な汚泥管理を行うことで、安定期の細菌割合を高くすることは可能です。安定期の細菌割合が高くなると、活性汚泥の固液分離性が改善し処理水質も向上することが期待できます。

フロックの状態を観察し処理状況を判断するには、顕微鏡観察が最も望ましい方法ですが、SV 試験時に観察することもできます。今回は、汚泥管理として日常的に行う SV 試験でフロックを観察するときのポイントと汚泥引抜作業の重要性について、今回の内容を踏まえて話をしたいと思います。

(以上)