

下水処理場における生物学的脱りん法の基礎的操作因子

嶋津暉之 木村賢史 志村真理*
*多摩環境保全事務所
三好康彦

1 はじめに

現在、東京都内から東京湾に流入する窒素・りん荷量のうち、下水処理場から排出されるものが全体の6～7割を占めている。今後、下水道の普及率が上昇するに従って、下水処理場の占める割合はますます増大していくものと予想される。東京湾の富栄養化対策の成否は下水処理場からの流入負荷をどのように削減していくかにかかっている。

窒素とりんのうち、りんについては下水処理場への導入が技術的に可能な除去方法がいくつか提案されている。凝集沈殿法、接触脱りん法、フォストリップ法、凝集剤添加法、生物学的脱りん法等である。このうち、嫌気好気法とも言われる生物学的脱りん法は嫌気槽を好気槽の前段に設けることにより、高濃度のりんを含む活性汚泥を得る方法で、薬品を使用せず、大幅な設備改善を必要としない。最も導入しやすいりん除去技術の一つであるが、この方法について二つの問題点が指摘されている。一つは活性汚泥に過剰に吸収されたりんは再溶出しやすく、汚泥の処理方法を改善しないと、りん除去率が

低下すること、今一つは流入水の水量・水質の変動を受けて、りん除去率が不安定になりやすいことである。

東久留米市下谷下水処理場ではバルキング対策を主たる目的として1985年10月から嫌気好気法を全面的に導入している。筆者らは今回、本処理場において生物学的脱りん法の基礎的操作因子を明らかにするための実験を行った。この実験により、生物学的脱りん法のりん除去率を向上させる方法、すなわち、最初沈殿池でのりん溶出を抑制する方法と引抜き汚泥の適切な処理方法並びにりん除去率の時間的な不安定要因を解消する方法が明らかとなったので、その結果を報告する。

2 実験対象施設の現状

(1) 処理のフローと諸元

下谷処理場の処理のフローと施設諸元を図1と表1に示す。本処理場は第1及び第2施設からなる2系統並列の下水処理場で、平均的な処理能力は7400m³/日である。本処理場では嫌気好気法の導入にあたって、第1、

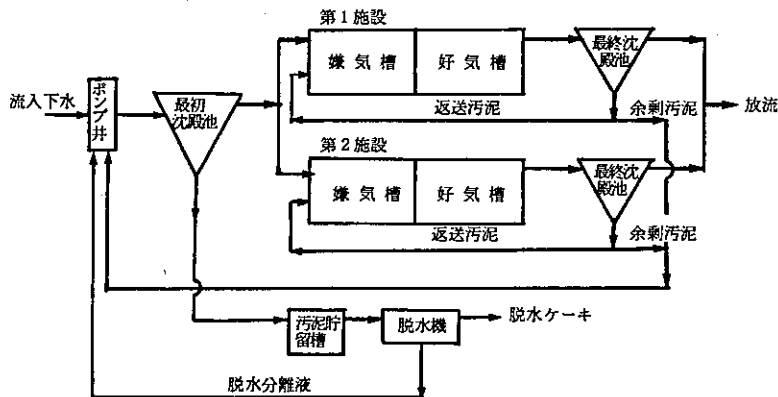


図1 下谷処理場のフローシート

表1 下谷処理場の施設諸元

| | 表面積 | 容量 |
|-------|---|-----------------------|
| 最初沈殿池 | 276 m ² | 690 m ³ |
| 嫌気槽 | 125 m ² ×2 | 500 m ³ ×2 |
| 好気槽 | 125 m ² ×2 | 500 m ³ ×2 |
| 最終沈殿池 | 172 m ² ×2 | 585 m ³ ×2 |
| 処理水量 | 6,200 m ³ /日 (5,700~7,300 m ³ /日) | |
| 雨水処理 | 分流式 | |

第2施設のばっ気槽をそれぞれ半分に仕切り、前段を弱ばっ気槽（嫌気槽）、後段を強ばっ気槽（好気槽）としている。嫌気槽から好気槽への液の流動は仕切り板下端の約1 m²の開口部を通して行われる。嫌気槽は二施設とも散気管32本のうち、2本を残して槽内攪拌のためのばっ気のみを行い、好気槽は嫌気好気法導入の前に比べて約2倍のばっ気強度に高めている。

本処理場の流入水の平均水質は表2に示すとおりで、下水処理場の標準的な流入水質である。

(2) 現行の汚泥処理方式とりんの挙動

図1に示したとおり、現在、本処理場では、最終沈殿池から引き抜いた余剰汚泥を最初沈殿池の前にあるポンプ井に返送し、最初沈殿池で流入水中のSS（浮遊物質）と一緒に、余剰汚泥を再沈殿させている。そして、最初沈殿池から引き抜いた混合汚泥を汚泥貯留槽に送り、1日貯留した後、汚泥脱水機にかけている。余剰汚泥を最初沈殿池に戻す方式は下水処理場共通の汚泥処理法で、

表2 流入水の平均水質

| | |
|---|----------|
| pH | 6.9 |
| BOD | 130 mg/ℓ |
| COD | 90 mg/ℓ |
| SS | 90 mg/ℓ |
| T-N | 25 |
| NH ₄ -N | 10 |
| NO ₂ -N + NO ₃ -N | 2.5 |
| T-P | 3.5 |

都内の下水処理場のほとんどがこの方式を採用している。余剰汚泥を最初沈殿池に返送する主な理由は、余剰汚泥を最初沈殿池で再沈降させることにより、その汚泥濃度を高めることと余剰汚泥の吸着能を利用して流入水中の有機物を最初沈殿池で極力落とすことにある。

図2は現行の汚泥処理方式による生物学的脱りん法の効果を見たものである。余剰汚泥のりん含有率は4%で、標準法の2倍以上の値を示しており、汚泥がりんに過剰に吸収する状態が認められる。しかし、放流水のT-P（全りん）は午前中は0.7 mg/ℓ以下で、生物学的脱りん法の効果が見られるが、13時以降、大幅に上昇して17時には3 mg/ℓに達している。日平均T-Pは1.5 mg/ℓである。標準法の下水処理場の処理水T-Pが通常1.5~2 mg/ℓであるから、わずかな改善である。

なお、処理水T-Pの大きな時間変動は生物学的脱りん法特有の現象で、標準法の場合は通常、10~20%の変動である。

同図に示す最初沈殿池越流水（以下、初沈越流水と記す）のPO₄-P（りん酸態りん）の動きを見ると、7時以降、大幅に増加しており、強ばっ気槽で吸収しきれないりんの供給が13時以降の放流水りん濃度の上昇を引き起こしている。ただし、余剰汚泥の返送は11時から21時までであるから、この最初沈殿池では余剰汚泥が返送さ

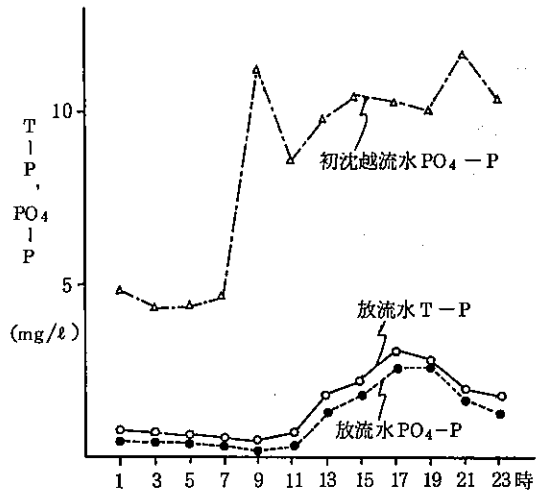


図2 りん濃度の時間変化
(汚泥対策なし 1988.3.16
水温15℃, 余剰汚泥のりん含有率5.0%)

れる前からりんの溶出が始まっている。これは後出の図13に示すように8時頃からの流入水の水量増加とBOD（生物化学的酸素消費量）の上昇で最初沈殿池の堆積汚泥の嫌気化が急速に進み、初沈越流水のりん濃度が上昇したことを意味している。したがって、りんの溶出は、余剰汚泥が最初沈殿池に流入する過程よりも、最初沈殿池に一度堆積してから進行するものが多いと考えられる。

このように、余剰汚泥を最初沈殿池に戻す現行方式では、汚泥に過剰吸収されたりんの大半が水系に回帰してりん除去率が大幅に低下することがある。

本研究では以上述べた現状を踏まえ、最初に余剰汚泥からのりん溶出を防ぐ方法について、続いてその他の操作因子について実験を行った。

3 実験及び結果と考察

(1) 最初沈殿池におけるりん溶出の抑制

ア 余剰汚泥分離の効果

りんの溶出を防ぐため、余剰汚泥を最初沈殿池に返送せず、汚泥貯留槽に投入し、最初沈殿池からは流入水中のSSが沈降した分のみを引き抜く方法を試みた。余剰汚泥は汚泥貯留槽で最初沈殿池の引抜き汚泥（以下、初沈汚泥と記す）と混合した上で、脱水機に送った。嫌気性の強い初沈汚泥との混合で、余剰汚泥中のりんが再放出される可能性があるため、汚泥貯留槽のばっ気を行った。

図3はこの方式に改めてから5日後の結果を示したものである。初沈越流水 PO_4-P は2~3 mg/ℓで、前出の図2と比べて著しく低い。それを反映して放流水T-Pは0.2~0.4 mg/ℓの範囲に落ち着いている（日平均0.3 mg/ℓ）。このように、余剰汚泥を最初沈殿池に戻さずに、汚泥貯留槽に直接投入すれば、生物学的脱りん法のりん除去効果は大幅に改善される。

図4はこの実験のりんの収支を示したものである。脱水ケーキの搬出によるりん除去量は処理水量1ℓ当たり2.8mgで、流入水と放流水のT-Pの差にほぼ等しく、りんの収支は概ね一致している。しかし、脱水分離液に含まれるりん量は比較的大きく、余剰汚泥中りんの約1/4に及んでいる。これは汚泥貯留槽のばっ気でりんの溶出を防ぎ得なかったことを意味する。この時は流入水の平均T-Pが平常より低かったため、放流水T-Pが0.3mg/ℓまで低下したが、流入水T-Pが平常通りの

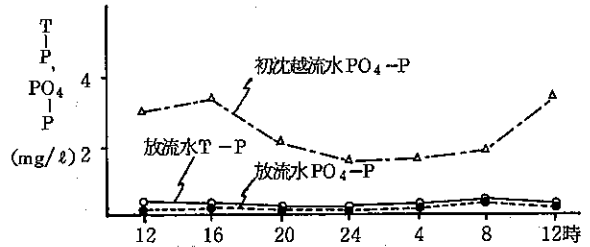


図3 りん濃度の時間変化
(余剰汚泥の分離 1986.6.14~15
水温20℃, 余剰汚泥のりん含有率3.7%)

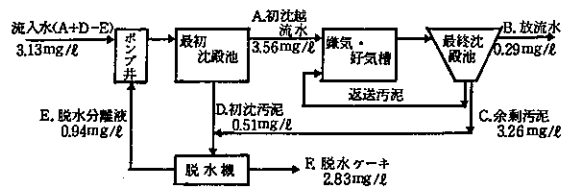


図4 りんの吸収 (1986.6.14~15)
〔りん量を処理水量1ℓ当たりの濃度で示す〕

値になれば、脱水分離液のりん濃度の上昇で放流水T-Pがより高い値になることが予想される。

それゆえ、0.5mg/ℓ以下の放流水T-Pを維持するためには余剰汚泥を初沈汚泥と混合せずに、汚泥脱水機にかける必要がある。また、この実験では余剰汚泥を濃縮せずに脱水機にかけたため、脱水機の運転時間が大幅に延長されるという問題が生じた。この余剰汚泥の濃縮の方法については(2)イで後述する。

イ 汚泥界面引き下げの効果

現行方式による初沈越流水 PO_4-P の上昇は、主として最初沈殿池の堆積汚泥からのりん溶出によるものであるから、堆積汚泥を少なくして汚泥界面を極力低くすれば、その PO_4-P の上昇を押さえることができると考えられる。そこで、余剰汚泥を最初沈殿池に戻しつつ、最初沈殿池の汚泥界面を極力下げる方法を試みた。比較のため、汚泥界面を逆に上昇させた場合についてもりん除去率を調べた。

図5はこの実験の結果を整理したもので、最初沈殿池の汚泥界面と初沈越流水 PO_4-P との関係を示している。汚泥界面が下がると、 PO_4-P が低下する傾向を

み取ることができる。

図6は汚泥界面が最も下がった時(水面下1.7m)のりん濃度の変化を見たものである。初沈越流水 PO_4-P は1.5~3.5mg/lで、アの実験と同程度の低い値である。その結果、放流水T-Pは0.4~0.6mg/l(平均0.5mg/l)で、汚泥界面を極力下げる方法の効果が現れている。

図7はこの時のりんの収支を計算したものである。流入水と放流水の差から見たりん除去量が3.3mg/lであるのに対して、脱水ケーキとして排除されたりん量はそれより小さく、処理水量1l当たり2.7mgである。これは最初沈殿池の引抜き汚泥が少なく、流入りんの一部が最初沈殿池に汚泥として堆積したことを意味する。したがってりんの収支が一致する平衡状態で最初沈殿池でのりん堆積がなくなれば、放流水T-Pが1mg/l近くまで上昇することも予想される。これを防ぐためには、初沈汚泥の引抜き量を多くしつつ、汚泥系から水系へのりんの回帰を極力おさえる方策を講じなければならない。この方策について(2)ウで検討する。

(2) 汚泥の処理方法とりんの除去

ア 汚泥発生量の変化

生物学的脱りん法を導入すると、汚泥の発生量が増加するという報告がある。汚泥発生量の増加は、脱水等の汚泥処理の負担を大きくするので、生物学的脱りん法の導入に当たって、発生量の増加の程度とその対策を検討しておく必要がある。汚泥発生量の増加には二つの意味がある。一つは汚泥の固形物量が増加すること、もう一つは汚泥の体積が増えることである。

まず、汚泥固形物の増加量を理論的に求め、実績値と比較してみた。ばう気槽の一部を嫌気槽にすると、嫌気槽は無酸素状態であるため、活性汚泥の自己酸化が進みにくくなる。酸素や硝酸・亜硝酸がなくても、3価の鉄などの酸化物質を還元することにより、自己酸化の一部が進行することも考えられるが、ここでは嫌気槽で自己酸化が全面停止するという前提で、固形物発生量の変化率を計算した。

活性汚泥の自己酸化率を間接的に求めるため、本処理場の活性汚泥の酸素吸収速度を測定したところ、内生呼吸状態で $0.14kg-O_2/kg-MLSS/日$ (水温 $20^{\circ}C$)であった。この値は既報で示した活性汚泥微生物の酸素消費量b値にほぼ等しい。これは下水処理場では不活性の

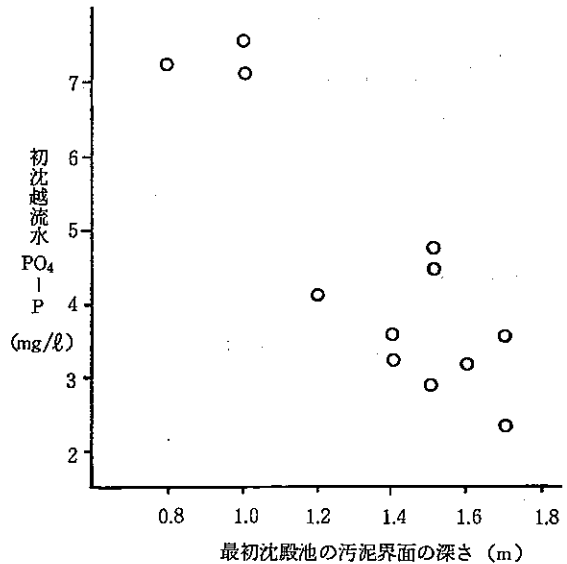


図5 最初沈殿池の汚泥界面とりん濃度の関係(日平均)
〔最初沈殿池の水深2.7m〕

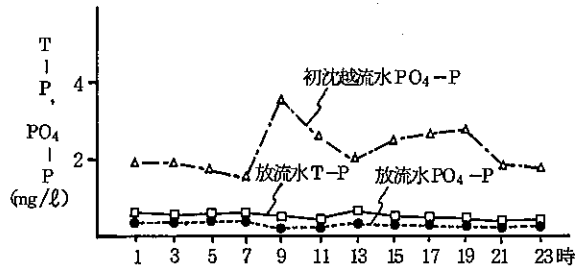


図6 りん濃度の時間変化
(最初沈殿池の汚泥界面 1.7m, 1988.5.25)
(水温 $19^{\circ}C$, 余剰汚泥のりん含有率4.0%)

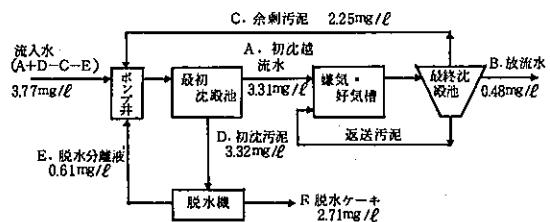


図7 りんの収支(1988.5.25)

SSが最初沈殿池で沈降し、ばっ気槽の活性汚泥がほとんど微生物のみで構成されていることを意味する。このb値と既報から水温別の自己酸化率 βt を求め($\beta t = b/1.42$)、処理水量 1 m^3 当たりの余剰汚泥固形物増加量を計算すると、次のようになる。

$$\text{冬 (12}^\circ\text{C)} \quad 1000\text{ m}^3 \times 2000\text{ g/m}^3 \times 0.05 \text{ (1/日)} \div 6200\text{ m}^3/\text{日} = 16\text{ g/m}^3$$

$$\text{夏 (22}^\circ\text{C)} \quad 1000\text{ m}^3 \times 2000\text{ g/m}^3 \times 0.12 \text{ (1/日)} \div 6200\text{ m}^3/\text{日} = 38\text{ g/m}^3$$

図8は同処理場で2施設のうち、1施設のみに嫌気好気法を導入していた時期と、2施設に全面導入した時期の余剰汚泥固形物量の実績値を示したものである。両者の差は平均で 5 g/m^3 、差が負になった部分を除く平均は 13 g/m^3 である。全施設分として2倍すると、 $10\sim 26\text{ g/m}^3$ で、この実績値は上記の計算値に近い。

本処理場の汚泥固形物量は余剰汚泥が平均 75 g/m^3 、初沈汚泥が 35 g/m^3 で、合わせて 110 g/m^3 である。したがって、嫌気好気法の導入による汚泥固形物の増加率は $10\sim 25\%$ であると推測される。ただし、この増加率は嫌気槽の滞留時間によって変化し、嫌気槽容量を小さくすれば、増加率は比例的に小さな値になる。

一方、汚泥体積の増加は生物学的脱りん法の導入そのものより、脱りん効果を向上させるための汚泥処理方法の変更起因するものが大きい。(I)アで試みた余剰汚泥の分離に伴い、余剰汚泥量が $54\text{ m}^3/\text{日}$ 、初沈汚泥が $11\text{ m}^3/\text{日}$ で、合わせて $65\text{ m}^3/\text{日}$ の汚泥の脱水処理が必要となった。変更前の脱水汚泥量が $40\text{ m}^3/\text{日}$ であったから、汚泥体積の増加率は 60% になる。

以上のように、生物学的脱りん法の導入による汚泥固形物の増加率は差程大きくないが、それに付随する汚泥処理方法の変更で汚泥体積が 50% 以上増加し、そのままでは汚泥脱水機の運転時間の大幅な延長が必要となる。これに対処する方法を次に述べる。

イ 余剰汚泥の濃縮

余剰汚泥からのりんの溶出を防ぐためには、汚泥濃縮機により、引き抜き後の余剰汚泥を速やかに濃縮することが望ましい。しかし、汚泥濃縮機の導入は或る程度の設備投資が必要であるので(本処理場の規模の場合、 $4,000\sim 5,000$ 万円)、次善の策として、余剰汚泥を静置して重力濃縮を行う方法を検討した。

図9は余剰汚泥を1時間ばっ気した後、メスシリン

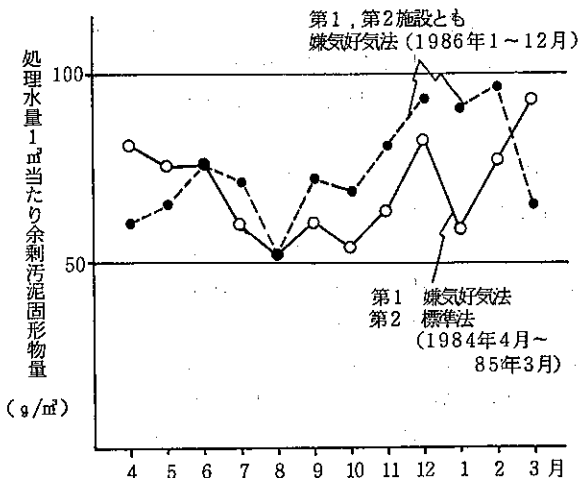


図8 嫌気好気法全面導入に伴う余剰汚泥量の変化

ダーに入れて静置し、汚泥の沈降速度と上澄水のりん濃度の変化を測定したものである。8時間の静置で汚泥界面は初期値の 40% まで下がり、汚泥は 2.5 倍に濃縮されている。8時間後の上澄水の $\text{PO}_4\text{-P}$ は 10 mg/l で、余剰汚泥中のりんの 4% が溶け出している。この溶出量は十分に低い値で、上澄水を水処理系に戻しても、処理水りん濃度の上昇は 0.1 mg/l 以下にとどまる。

この測定結果から、余剰汚泥の処理対策として、次の方法を提案することができる。まず、引き抜き後の余剰汚泥を $4\sim 5$ 時間単位で貯留槽に貯め、ばっ気を継続する。次にばっ気を中断して8時間静置する。8時間後、上澄水を排除して最初沈殿池に返送し、その後、残った汚泥のばっ気を続け、順次、汚泥脱水機に送る。この方式は余剰汚泥専用の貯留槽(本処理場の規模ならば、 40 m^3 程度のを2基)、散気装置、ポンプを設置するだけでよく、汚泥濃縮機の導入と比べれば、その数分の一の費用で済むと思われる。

このように、余剰汚泥を初沈汚泥と混ぜずに、上述の方法で濃縮して脱水すれば、(I)アで示したりん除去効果、処理水 T-P 0.5 mg/l 以下を維持することが可能と考えられる。

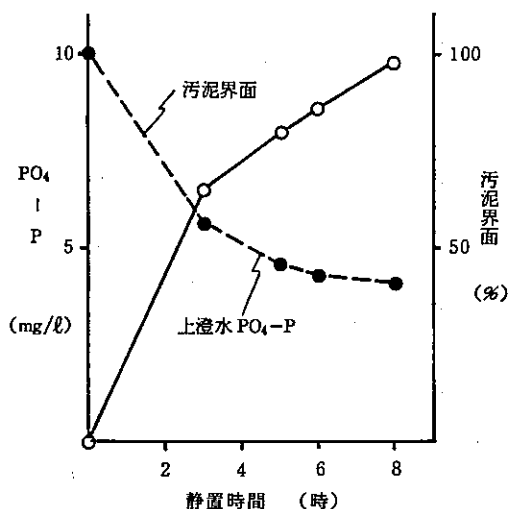


図9 余剰汚泥の沈降とりん溶出(例)
 (余剰汚泥の初期値: MLSS 7570 mg/ℓ,
 T-P 256 mg/ℓ)
 (メスシリンダーの高さ: 35cm)

ウ 混合汚泥のばっ気

(1)イで示した最初沈殿池の汚泥界面を下げる方法は、高濃度のりんを含む脱水分離液の返送により、りん除去率が低下することが懸念される。すなわち、最初沈殿池底部で流入水中の有機性SSとの混合により余剰汚泥が嫌気状態になり、その混合汚泥の脱水で高濃度のりんを含む液が分離されることが予想される。

この対策として、混合汚泥をばっ気して好気状態を保ち、りんを再吸収させる方法が考えられる。図10は最初沈殿池から引き抜いた混合汚泥をばっ気した場合、 PO_4-P がどのように吸収されていくかを実験室的に検討した結果である。約24時間のばっ気で初期 PO_4-P の60~100%が吸収されている。りん吸収率に変動が見られるのは、混合汚泥中の余剰汚泥の比率と余剰汚泥の腐敗化の進行度がその時々で異なるからであると推測される。この結果を踏まえて、本処理場でも汚泥貯留槽で混合汚泥のばっ気を行ったが、りんを再吸収させることができなかった。これは、この貯留槽のばっ気がパイプに穴を開けた簡易なもので行われているため、酸素供給量が不足をきたしたからである。

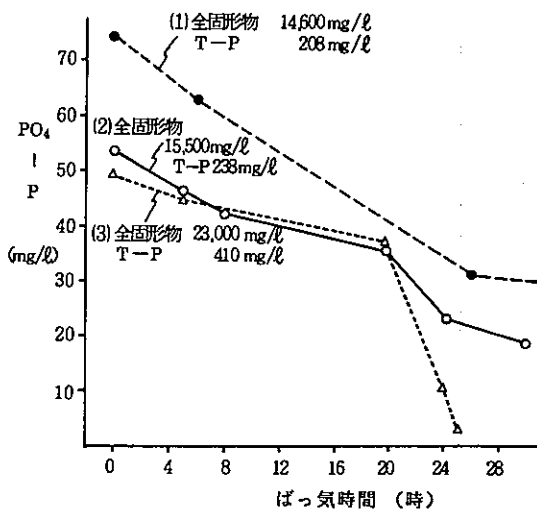


図10 混合汚泥のりん吸収(水温20℃)

したがって、汚泥貯留槽に効率的な散気装置を設置して十分な酸素を供給すれば、一昼夜のばっ気で、混合汚泥中の余剰汚泥は最初沈殿池底部で放出したりんの大半を再吸収するものと考えられる。ただし、余剰汚泥のりん吸収能が保持されている新鮮な混合汚泥であることが前提条件である。

(1)イで述べた最初沈殿池の汚泥界面の引き下げと上に述べた混合汚泥の十分なばっ気を行えば、処理水T-Pは0.5mg/ℓ前後に維持される。ただし、汚泥界面のコントロールの不安定さを考慮すれば、0.5~1 mg/ℓがこの方法で確保できる処理水のりん濃度であると考えられる。

(3) りん除去率不安定要因の検討

ア 嫌気槽と好気槽におけるりんの挙動

図11に初沈越流水 PO_4-P と放流水 PO_4-P との関係を示す。初沈越流水 PO_4-P が上昇すると、放流水 PO_4-P も高くなるが、逆に、初沈越流水の値が小さくなくても放流水の方は必ずしも十分に低い値にならない。このことは初沈越流水のりん濃度以外の要因が放流水のりん濃度に影響していることを意味している。

図12はりん除去率低下時のりんの挙動を調べたものである。同図(1)を見ると、放流水T-Pの変動が大きく、ピーク時には1.5mg/ℓまで上昇している(平均0.8mg/ℓ)。一方、初沈越流水 PO_4-P は2~4 mg/ℓ

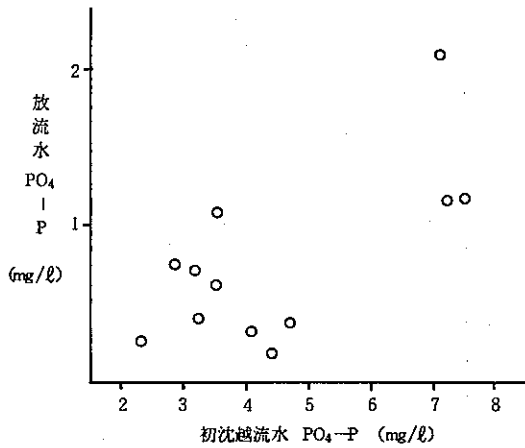


図11 初沈越流水と放流水のりん濃度の関係 (日平均)

で、りん除去率低下の原因は初沈越流水のりん濃度の上昇ではない。次に、同図(2)を見ると、嫌気槽の PO_4-P は大きな変動を示し、特に第2施設の場合、ピーク時には $17\sim 18\text{ mg}/\ell$ まで上昇している。その影響を受けて第2施設の好気槽の PO_4-P もピーク時には $3\text{ mg}/\ell$ になり、これが放流水 $T-P$ の上昇を引き起こしている。このように、りん除去率低下の原因は、嫌気槽の PO_4-P が急激に上昇し、好気槽でその高濃度の PO_4-P を吸収しきれなかったことにある。この嫌気槽における PO_4-P の上昇は図13に示す流入水の水量増加と BOD 濃度の上昇に対応している。

嫌気槽での PO_4-P の急激な上昇によるりん除去率の低下を防ぐためには、嫌気槽と好気槽でそれぞれりの放出と吸収がどのように行われるか、放出・吸収の速度とその支配要因を明らかにする必要がある。そこで、本処理場の活性汚泥を用いて、りん放出速度と吸収速度を測定し、その支配要因を検討した。

イ りん放出速度

図14は本処理場の活性汚泥のりん放出速度を測定した結果の一例である。この測定結果から次の傾向を読み取ることができた。① $MLSS$ 1 kg 当たりのりん放出速度は時間の経過とともに低下していく。②水温が高くなると、放出速度が大きく増加する。 5°C の上昇で約1.4倍になる。③放出速度は BOD 濃度の影響も受け、その濃度上昇とともに大きくなるが、その影響度合いは BOD

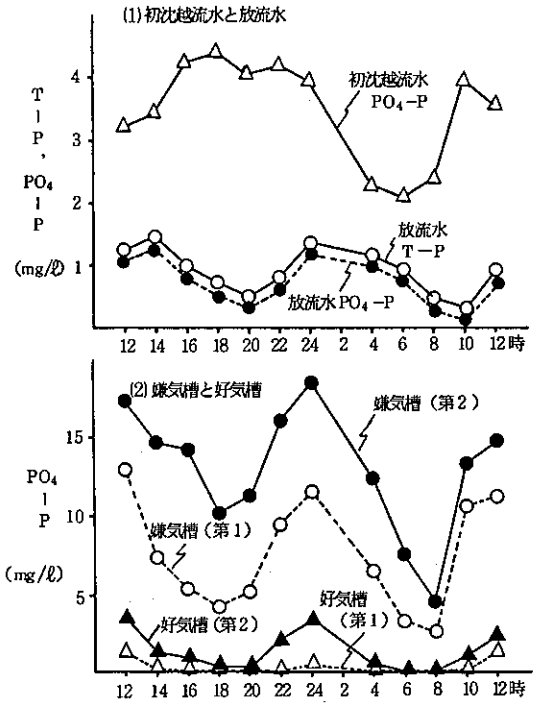


図12 りん除去率低下時のりんの挙動

(1988.7.14~15
水温 21°C 、最初沈殿池の汚泥界面 1.4 m)

濃度の上昇とともに小さくなる。

以上の傾向を踏まえて測定データを整理したところ、りん放出速度を概ね次式で表せることが分かった。

$$R_p = 1.07^{t-20} \cdot 40 \log(0.02L_b + 1) \cdot \log(0.4T + 1) \dots\dots\dots (1)$$

R_p : $MLSS$ 1 kg 当たり PO_4-P 放出速度
($\text{g}/\text{kg}/\text{時}$)

t : 水温 ($^\circ\text{C}$)

L_b : BOD 濃度 (mg/ℓ)

T : 攪拌時間 (時)

この式から、嫌気槽におけるりの放出がどのように行われるかを推測することができる。

ウ りん吸収速度

図15はりん吸収速度を測定した結果の一例である。この測定結果から読み取れるりん吸収の傾向は次のとおりである。① $MLSS$ 1 kg 当たりのりん吸収速度は水温が

高いほど大きく、5℃の上昇で1.3倍強くなる。②ばっ気開始直後は吸収速度が大きく、ばっ気時間が長くなるにつれて、吸収速度が次第に小さくなっていく。③吸収速度は初期のPO₄-P濃度の影響を受け、初期PO₄-Pが高いと、ばっ気を長時間行っても、PO₄-Pの一部が残留する。

村上 はりんの吸収が指数関数 e^{-KT} (T: ばっ気時間, K: 比吸収速度定数) に従うこと、そして、定数Kは水温によってあまり変化しないという報告を行っているが、今回の測定データではそのような傾向は見られなかった。ばっ気時間だけでなく、水温と初期PO₄-Pの影響が顕著であった。

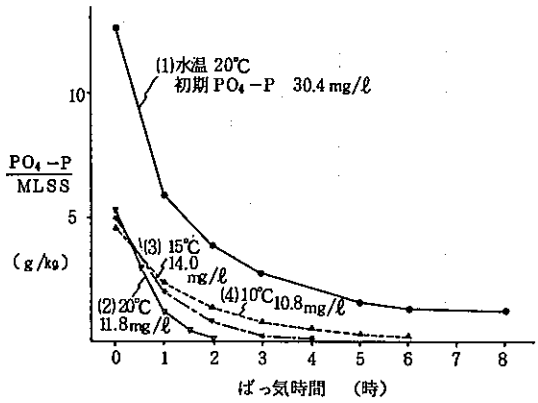


図15 リン吸収速度の測定結果(例)

上述の①~③の傾向を踏まえ、測定データを整理したところ、リン吸収速度を概ね次式で表すことができた。

$$P_0 - P_T = 1.06^{t-20} \cdot 6 \log(P_0 T) \dots\dots\dots (2)$$

P₀: PO₄-P濃度の初期値 (mg/l)

P_T: T時間後のPO₄-P濃度 (mg/l)

t: 水温 (°C)

T: ばっ気時間 (時)

この式から好気槽におけるリン吸収の動きを求めることができる。

エ 嫌気槽と好気槽の必要滞留時間

図16はイとウで求めた式(1)、(2)を使って、流入水ピーク時の嫌気槽のリン放出濃度と、好気槽で吸収できるリン濃度の上限値を計算した結果である。嫌気槽内のBOD濃度は150mg/lとしたが、これはピーク時としても高めの設定である。

本処理場の場合、ピーク時の滞留時間は嫌気槽、好気槽とも約3時間である。同図から嫌気層のリン放出濃度と好気槽の吸収可能リン濃度を読み取ると、両者とも約16mg/lで、嫌気槽内のBOD濃度が150mg/lまで上昇するという条件ではほとんど余裕がなく、流入水からのリンの持ち込みも考慮すれば、未吸収のPO₄-Pが放流水中に残留する。前出の図12において第2施設の嫌気槽で放出されたPO₄-Pを好気槽で吸収しきれず、リン除去率が時間的に不安定になった原因は、この嫌気・好気槽の余裕のない関係にあると判断される。図12の実験を行った時は第1施設に比べて第2施設への流入水の

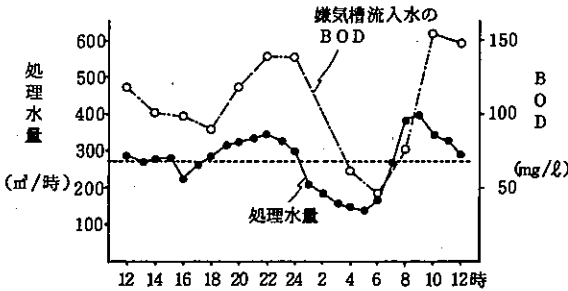


図13 嫌気槽流入水の水量・水質の時間変動

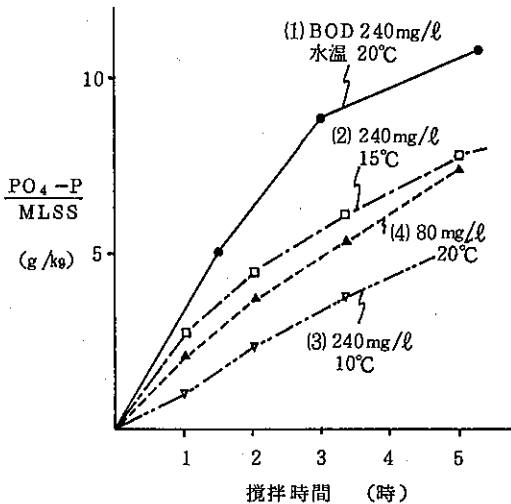


図14 リン放出速度の測定結果(例)

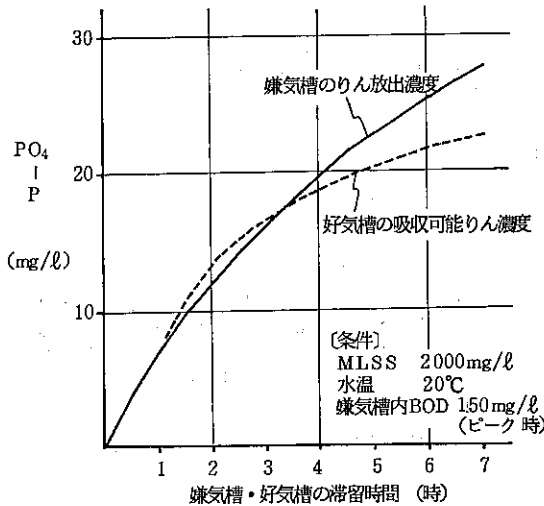


図16 りん放出・吸収濃度の計算結果

割り振りが多く、第2施設嫌気槽のBOD濃度が平常より上昇していたと推測される。流入水の多少の割り振りが影響するほど、本処理場のりん放出と吸収の関係は微妙なバランスの上に成り立っている。

この問題を解消するためには、好気槽の滞留時間を嫌気槽より或る程度長くすべきである。本処理場において仕切り位置を変え、ピーク時の滞留時間を嫌気槽2時間、好気槽4時間とすれば、図16から、りん放出濃度、吸収可能濃度はそれぞれ12mg/l、19mg/lとなり、十分に余裕のある関係が得られる。

また、図16を見ると、滞留時間が長くなるにつれて嫌気槽のりん放出濃度は順調に増加していくが、一方、好気槽の吸収可能りん濃度は滞留時間を長くしてもあまり大きくは増えない。したがって、嫌気槽の滞留時間を大きく取りすぎると、好気槽を大きくしても未吸収の PO_4-P が残留する。嫌気槽はピーク時で4時間以下の滞留時間にとどめるべきである。ただし、りんを過剰吸収する汚泥を生成するための容量として概ね1時間以上の滞留時間は必要である。⁴⁾

以上のことから、嫌気槽の滞留時間はピーク時で1~4時間(一日平均で1.5~6時間)とし、好気槽の滞留時間は嫌気槽よりピーク時で2時間以上(一日平均で3時間以上)長くすることが必要と考えられる。

4 おわりに

生物学的脱りん法の基礎的操作因子に関する今回の実験により、次の諸点が明らかになった。

(1) 下水処理場では通常、余剰汚泥を最初沈殿池に返送する汚泥処理方法がとられているが、この方式では生物学的脱りん法を導入しても、余剰汚泥からのりん再溶出でりん除去率が低下し、処理水T-Pが日平均で1.5mg/lまで上昇することがある。下水処理場の処理水T-Pは通常、1.5~2mg/lであるから、わずかな改善にとどまることが多い。

(2) 余剰汚泥を最初沈殿池に返送することを止めて汚泥貯留槽に直接投入し、最初沈殿池の引抜き汚泥と混ぜずに濃縮し、脱水する方法をとれば、処理水T-Pを0.5mg/l以下に保つことができる。この余剰汚泥濃縮の方法としては、静置するだけの重力濃縮法が最も経済的で、静置の前後にばっ気を行えば、りんの再溶出を防ぐことができる。

(3) 余剰汚泥を最初沈殿池に返送する方式を続ける場合は、最初沈殿池に汚泥が堆積しないよう、汚泥界面を極力、低く保つとともに、最初沈殿池から引き抜いた混合汚泥を十分にばっ気すべきである。この方法により、処理水T-Pを0.5~1mg/lに維持することができる。

(4) 嫌気槽と好気槽の滞留時間が同じ場合は、ピーク時に好気槽でりん吸収が完了せず、処理水T-Pが上昇することがある。生物学的脱りん法によるりん除去の安定性を高めるためには嫌気槽の滞留時間を一日平均で1.5~6時間とし、好気槽の滞留時間を嫌気槽よりも3時間以上長くすることが必要である。

(5) 生物学的脱りん法の導入による汚泥固形物量の増加率は嫌気槽の滞留時間が4時間の下谷処理場で10~25%であったが、嫌気槽の滞留時間を短くすれば、この増加率はこれより小さな値になる。

今回の研究により、下水処理場における生物学的脱りん法導入の条件を示すことができたが、その条件を更に明確なものにするためには、未だ解明されていない生物学的脱りん法の機構を明らかにする必要がある。今後は生物学的脱りん法の機構の解明に重点をおいて研究を進めていきたい。

本研究を進めるに当たり、東久留米市下水道課の倉田成孝氏と下谷処理場職員の方々の多大な協力を得た。ま

た、通日調査の一部は井上互氏（多摩環境保全事務所）と安藤晴夫氏（当研究所水質部）の協力を得た。厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) 嶋津暉之ら：住宅団地汚水処理施設への窒素・りん除去技術適用の可能性（その1），東京都環境科学研究所年報1988，p.90.
- 2) 村上孝雄：嫌気・好気活性汚泥法による生物学的脱りん法，用水と排水，24，10，p.19（1982）.
- 3) 村上孝雄ら：生物学的脱りん・脱窒プロセスの実施設による運転調査，下水道協会誌，20，7，p.62（1983）.
- 4) 古畑義男ら：嫌気好気法によるりんの除去（第一報），東京都下水道局技術調査年報，p.805（1982）.