

# 論文

## 間欠曝気式回分活性汚泥法による湖沼流入汚水の処理効果

井上 充\*、平野浩二\*、稲森悠平\*\*

(\*神奈川県環境科学センター水質環境部、\*\*国立環境研究所地域環境研究グループ)

### Treatment Efficiency of Polluted Channel Water into Lakes by Sequencing Batch Activated Sludge Treatment Process with Intermittent Aeration

Mituru INOUE\*, Kouji HIRANO\* and Yuhei INAMORI\*\*

(\*Water Quality Division, Kanagawa Environmental Research Center,

\*\*Regional Environment Group, National Institute for Environmental Studies)

#### 1. はじめに

相模湖・津久井湖は年々湖周辺からの生活排水等の窒素及びりんの入流増大によって富栄養化が進み、水温が上昇する夏季では水の華が発生するなど水質の悪化<sup>1)</sup>をもたらしている。本湖は利水上特に重要のある湖であるために、早急な富栄養化対策が望まれている。

そこで、水路を流れて湖沼へ流入する生活雑排水等の汚水の浄化方法について、室内実験で検討を進めてきた結果、従来法よりさらに安定的に有機物質、窒素及びりんを高率に除去可能な間欠曝気式回分活性汚泥法を開発<sup>2)</sup>した。

この成果を基に相模湖町小原地域の約70世帯の生活雑排水及び一部事業所排水等が排出され、湖へ流入している水路のそばに試作した処理装置を設置して、この水路のBOD、T-N(全窒素)及びT-P(全リン)の処理効果についての検討を行った。

当水路を流れる汚水の水量は1日約72m<sup>3</sup>であり、一日の水質は、時間帯によりBODが2.5~230mg/l、T-Nが1.0~18mg/l及びT-Pが0.21~1.6mg/l<sup>3)</sup>の間で変動している。この水路を流れる汚水の全量を処理することを考え、濃度の高い時間

帯の汚水は間欠曝気式回分活性汚泥法により、濃度の低い時間帯の汚水は接触酸化法により処理することとし、処理装置を改善しながら除去率の向上を図ったところ、良好な処理結果<sup>3)</sup>が得られた。

今回はさらに間欠曝気式回分活性汚泥法について、1日のサイクル数を変えた(1サイクルの処理時間を変える)場合等、種々の運転方法による処理効果について検討したので報告する。

#### 2. 方法

##### 2.1 測定項目及び方法

BODはアジ化ナトリウム変法<sup>4)</sup>、SSはガラス繊維濾紙法<sup>4)</sup>、NH<sub>4</sub>-N(アンモニア性窒素)はインドフェノール法<sup>4)</sup>、T-N(全窒素)は熱分解法<sup>4)</sup>、T-P(全リン)はペルオキシ二硫酸カリウム分解・モリブデン青(アスコルビン酸)法<sup>4)</sup>及びMLSSはガラス繊維濾紙法<sup>5)</sup>で行った。

##### 2.2 処理方法

###### 2.2.1 処理方法の概要

処理方法の概要及び生物処理装置のフローシートは図1、2に示す通りである。汚水は写真1及び図

3に示すように水路直下に設置した汚水受槽で受け、枯葉等を除去した後、写真2に示すように延長

約53mの塩ビ製の導水管で1m<sup>3</sup>の沈砂槽のタンクまで自然流下させた。

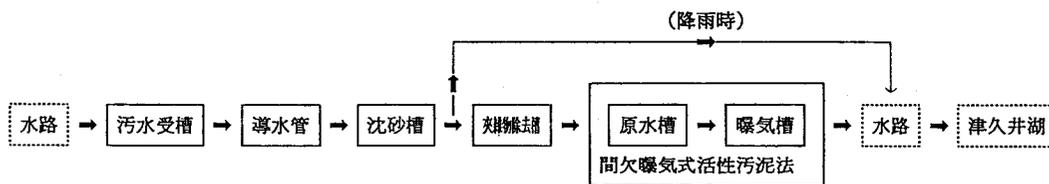


図1 生物処理方法の概要

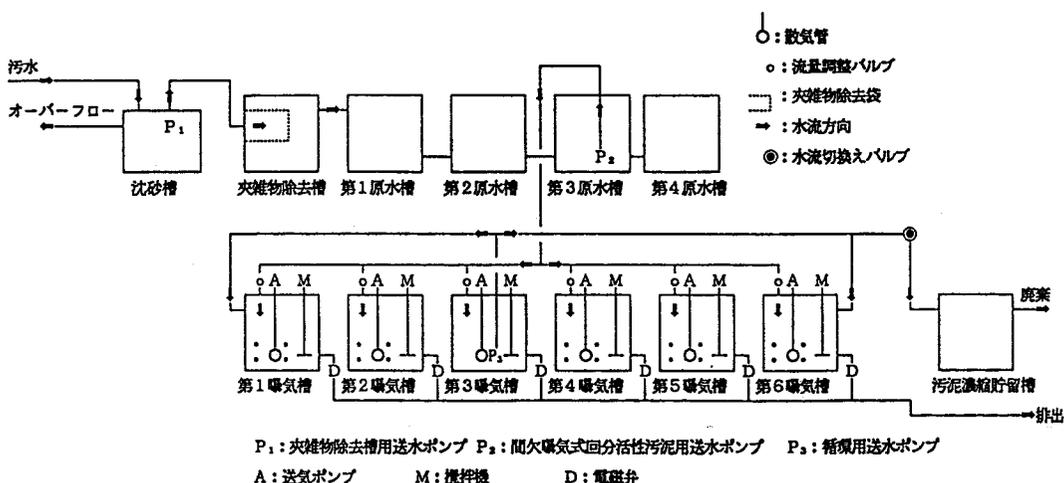


図2 生物処理装置のフローシート

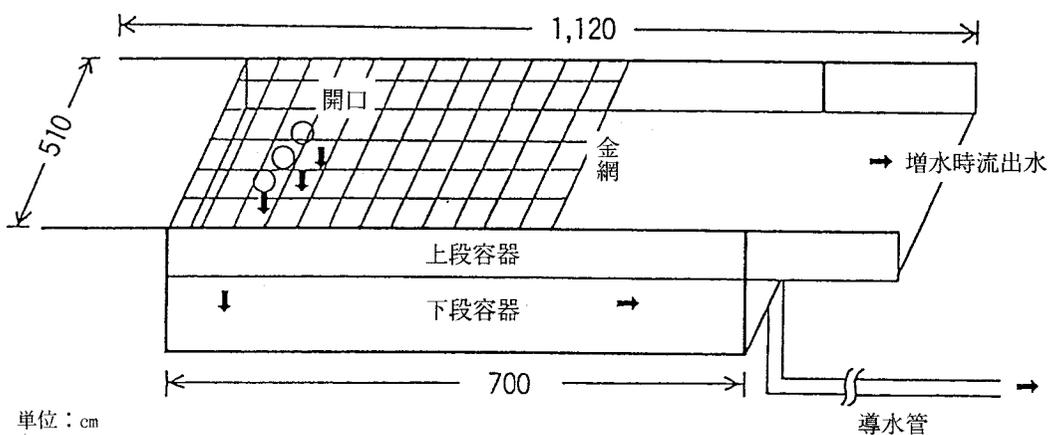


図3 汚水受槽

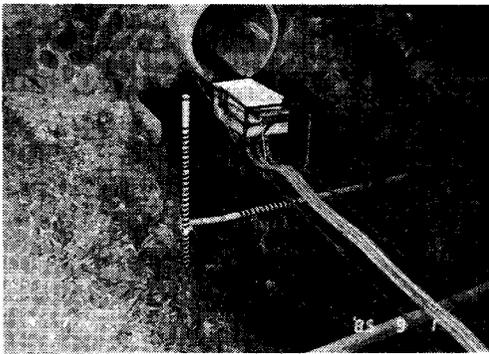


写真1 汚水受槽

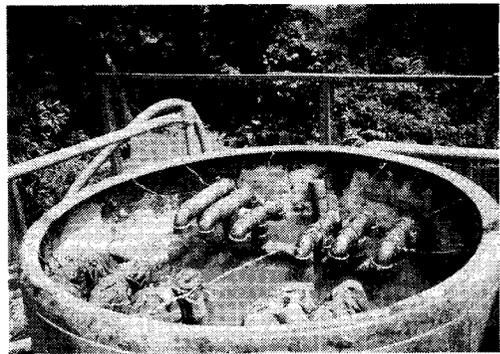


写真3 夾雑物除去袋

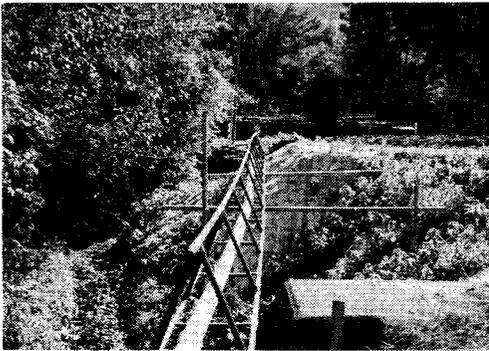


写真2 導水管

また汚水受槽の上段容器には開口があり、通常の汚水以外はほとんど流入しない構造になっている。これは降雨時等で増水した汚水を極力排除することで処理装置への土砂の侵入を極力抑さえるためである。

沈砂槽で土砂等を沈降させた後、送水ポンプで2 m<sup>3</sup>の夾雑物除去槽へ送水した。また降雨等で平常時以上の汚水が流入した場合は送水量以上の汚水は、沈砂槽の上部に付設したオーバーフロー管から水路へ排出した。

夾雑物除去槽内には写真3及び図4に示すように目開き1 mmのナイロン製の夾雑物除去袋(450mm<sup>W</sup>×650mm<sup>L</sup>)24袋を分岐した塩ビ管の先に各々付設して、1 mm以上の夾雑物を除去した。

夾雑物除去槽の上澄水はオーバーフローして原水槽へ流入し、濃度の高い汚水は間欠曝気式回分活性汚泥法で処理し、処理水は水路へ排出した。

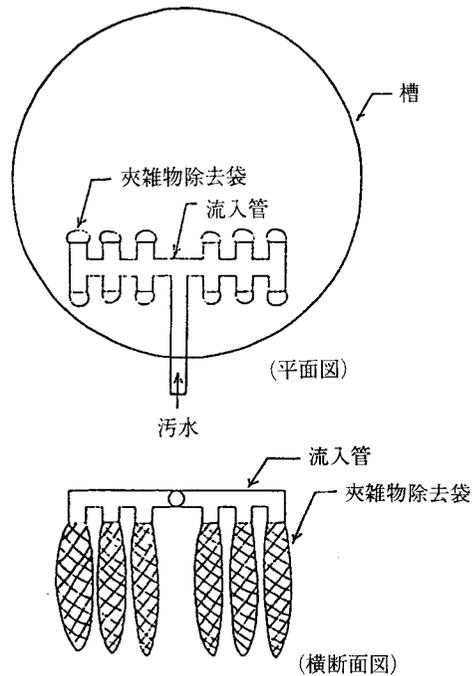


図4 夾雑物除去袋設置状況

### 2.2.2 間欠曝気式回分活性汚泥処理装置

本装置は写真4に示すように2 m<sup>3</sup>の原水槽4槽と2 m<sup>3</sup>の曝気槽6槽で構成した。なお、原水槽の各槽は底面から5 cmの位置で塩ビ管で連結し、各槽の水位が常に一定に保たれるようにした。また曝気槽の各槽も同様に連結した。

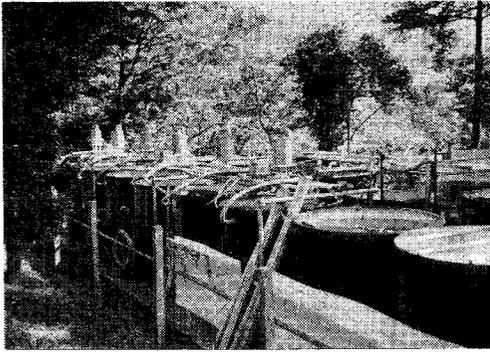


写真4 処理装置

曝気槽には攪拌機、送気ポンプ及び散気管が付設されており、送気ポンプは1槽当たり約80 l/分の空気を送気するようにした。散気管は合成樹脂製の多孔性散気管を用いた。

原水槽から曝気槽への原水は流量調整バルブと付設した塩ビ製分岐管で分配して、各曝気槽へ均一に流入させた。

ここで嫌気反応及び好気反応を行い反応終了後、汚泥を沈降させた後の上澄水は曝気槽1槽に付き1.1m<sup>3</sup>/時が排出されるように槽の中心より若干下に設置した電磁弁の開閉により排出した。

### 2.2.3 間欠曝気式回分活性汚泥法による処理方法

間欠曝気式回分活性汚泥処理法の基本的運転方法の概要を図5に示す。1サイクルは原水の流入開始時より上澄水排出終了時までとした。

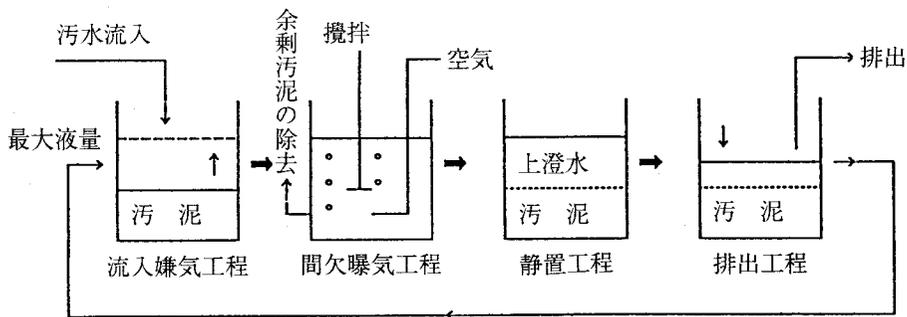


図5 間欠曝気式回分活性汚泥法の基本的運転方法の概要

1サイクルは流入嫌気工程、間欠曝気工程、静置工程及び排出工程の計4工程からなる。流入嫌気工程は原水の流入の終了と同時に攪拌のみによる嫌気反応を行い、間欠曝気工程は曝気を行う好気反応及び攪拌のみを行う嫌気反応を交互に2回繰り返す。静置工程は汚泥を沈降させ、排出工程は上澄水を排出するようにした。

曝気槽内の液量は流入嫌気工程終了時で2 m<sup>3</sup>、排出工程終了時で0.9 m<sup>3</sup>あり、引き抜き比は0.55である。なお、種汚泥としては、し尿処理場の汚泥を約1.5 m<sup>3</sup>使用した。

汚泥の引き抜きは上澄水排出後、一旦自動運転を停止して、循環ポンプで第3曝気槽の沈殿汚泥を汚泥濃縮貯留槽へ排泥することにより行った。

汚泥を引き抜いた後、他槽から第3曝気槽へ汚泥の補充等を行うため、運転を再開し、曝気槽が原水で満たされ、さらに曝気が開始された時点で再度循環ポンプを稼働させた。その際、処理液が汚泥濃縮貯留槽に送られないようにした。

第1曝気槽及び第6曝気槽に送水された処理液は、各曝気槽で曝気混合攪拌を受けながら元の第3曝気槽に戻した。この循環操作を一定時間行って全槽の汚泥濃度を一定にした。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 サイクル数別の処理効果

1日3サイクル、4サイクル及び5サイクルの間欠曝気式回分活性汚泥法で運転した場合の処理効果について調べた。

1日3サイクルの運転方法は、図6の運転法Iに示す通り、流入嫌気工程75分、間欠曝気工程3時間でその内曝気45分及び攪拌60分を交互に3回繰り返し、その後静置工程60分、排出工程30分を行った。1サイクルの処理時間は計8時間であった。

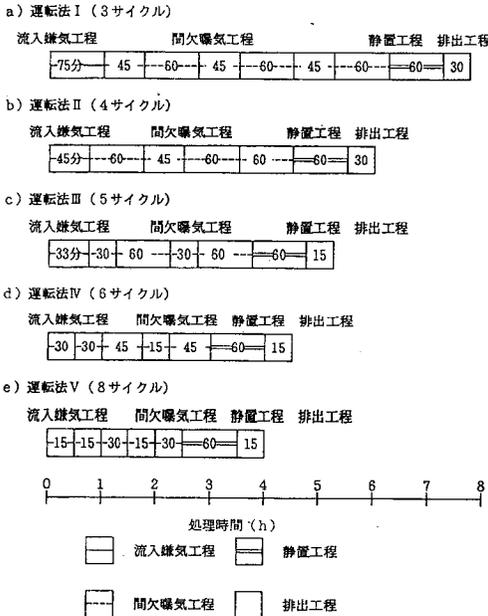


図6 間欠曝気式回分活性汚泥法の運転方法

この結果、原水の平均濃度はBODが54mg/l、T-Nが8.5mg/l及びT-Pが1.1mg/lで平均除去率はBODが93%、T-Nが88%及びT-Pが90%と処理効果は良好であった。また処理水の平均値はBODが4.0mg/l、T-Nが1.0mg/l及びT-Pが0.11mg/lであった。

処理経過時のNH<sub>4</sub>-N及びT-N濃度変化を調べたところ、図7に示すような減衰曲線を示し、間欠曝気工程開始時から工程終了時のNH<sub>4</sub>-N濃度変化はほぼ直線的に減少し、工程終了時のNH<sub>4</sub>-N濃度が0.1mg/lとなり硝化反応及び脱窒反応がNH<sub>4</sub>-N制御<sup>3)</sup>による良好な反応過程を経ていることが認められた。

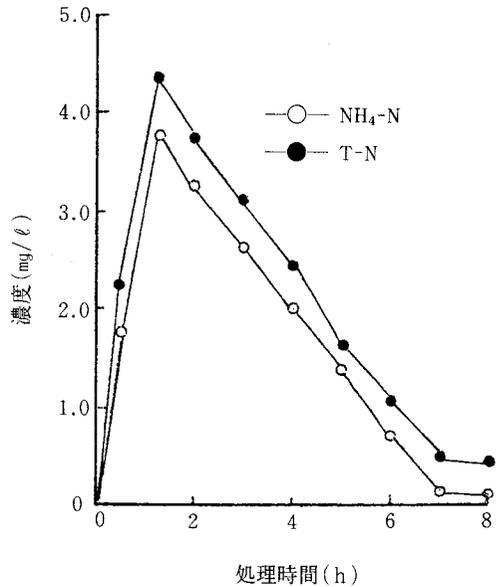


図7 運転法IにおけるNH<sub>4</sub>-Nの経時変化

次に1回の処理時間を2時間減らした1日4サイクルの運転方法の処理効果を調べた。運転方法は図6の運転法IIに示し、処理結果を表1に示す。

表1 1日4サイクルの処理効果

処理時間	採水場所	BOD	T-N	T-P
15:00	原水 (mg/l)	44	7.2	1.0
	処理水 (mg/l)	3.2	1.4	0.09
21:00	除去率 (%)	93	81	91
21:00	原水 (mg/l)	54	5.1	0.85
	処理水 (mg/l)	3.4	1.5	0.10
3:00	原水 (mg/l)	70	7.5	1.2
	処理水 (mg/l)	6.0	1.7	0.12
9:00	除去率 (%)	91	77	90
9:00	原水 (mg/l)	52	6.7	0.75
	処理水 (mg/l)	5.1	1.2	0.15
15:00	除去率 (%)	90	82	80
範囲 (平均値)	原水 (mg/l)	44~70 (55)	5.1~7.5 (6.6)	0.75~1.2 (0.95)
	処理水 (mg/l)	3.2~6.0 (4.4)	1.2~1.7 (1.5)	0.09~0.15 (0.12)
	除去率 (%)	90~94 (92)	71~82 (78)	80~91 (87)

平均除去率はBODが92%、T-Nが78%及びT-Pが87%となり、運転法Ⅰと比べて若干低下したが、処理水の平均濃度はBODが4.4mg/l、T-Nが1.5mg/l及びT-Pが0.12mg/lとほぼ良好な値を示していた。

さらに図6の運転法Ⅲに示すように1回の処理時間を1時間28分減らした1日5サイクルの運転で行ったところ、平均除去率はさらにBODが19%、T-Nが29%及びT-Pが19%低下し、平均除去率はBODが73%、T-Nが52%及びT-Pが68%となった。処理水の平均濃度はBODが15mg/l、T-Nが4.4mg/l及びT-Pが0.42mg/lと低下した。

処理経過時のNH<sub>4</sub>-N及びT-N濃度変化を調べたところ、間欠曝気工程終了時にはまだNH<sub>4</sub>-Nが2.1mg/l残存しており、硝化反応及び脱窒反応がNH<sub>4</sub>-N制御による良好な反応過程を経ていないことが認められた。

硝化反応が進まない原因の一つとして好気反応時間の総時間が短いため空気量が不足していることも考えられたため、さらに空気量を25%増量した100ℓ/分で行ったところ槽内の泡立ちがさかんに泡が槽外へ流出するようになったため実験を中止した。

以上のことから、1日のサイクル数が4以下の運転で行えばほぼ良好に処理を行えることがわかった。

### 3.2.2 前処理操作を付加した場合の処理効果

サイクル数別の処理効果に関する実験では1日5サイクル以上になると除去率の低下が見られるようになった。これは曝気槽の全容量及び原水量が一定であるためサイクル数が多くなるにしたがって1日あたりの曝気槽への流入負荷量が高くなり、1回あたりの処理時間も短くなるため除去率が低下したためと考えられる。例えばサイクル数別の1日のBOD流入負荷量を求めると3サイクルで0.18kg/day、4サイクルで0.24kg/day、5サイクルで0.31kg/dayとなった。

そこで、原水を曝気槽へ流入する前に接触酸化処理等の簡易な前処理操作を行うことにより流入負荷量を低くすれば、除去率は向上するものと考えられる。図8に示すように接触材を充填した2㎡の接触

材充填原水槽4槽を前処理用及び貯留用としての機能をもたせるように設置した。

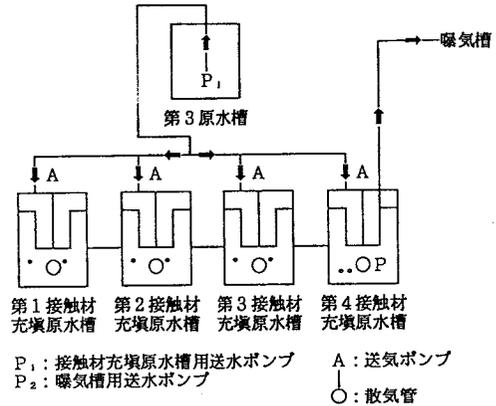


図8 接触材充填による原水槽の改善と処理フロー

原水槽から接触材充填原水槽へ1サイクル分の処理に必要な原水を約6.6m<sup>3</sup>送水し、間欠曝気式回分活性汚泥法で運転法Ⅲにより1日5サイクルで処理した。

この結果、接触酸化処理が2時間の場合では接触材充填原水槽への1日の流入負荷量0.31kg/dayに対して、そのうち約36%が除去され曝気槽へのBOD流入負荷量は0.20kg/dayに減少した。また、前処理操作を行わなかった運転方法Ⅲと比べて、平均除去率でBODが13%、T-Nで11%及びT-Pで9.0%向上した。

さらに接触酸化処理が3時間の場合では、接触材充填原水槽への1日のBOD流入負荷量が0.32kg/dayに対し、そのうち約42%が除去され曝気槽へのBOD流入負荷量は0.13kg/dayと著しく減少した。処理効果は表2に示すようにBODが4.0%、T-Nが7.0%及びT-Pが4.0%向上してBODが90%、T-Nが70%及びT-Pが81%と良好な結果が得られた。

しかし、接触酸化処理が4時間とさらに長くして行った場合ではBODの除去率が若干向上しただけで、T-P及びT-Nの除去率は向上しなかった。このことは、前処理操作で約55%のBODを除去したため、脱りん及び脱窒素処理の際に必要な有機物が不足してT-N及びT-Pの除去効果に影響を与えたものと考えられる。

表2 前処理操作3時間と  
1日5サイクル併用の処理効果

処理時間	採水場所	BOD	T-N	T-P
13:00	原水 (mg/l)	49	9.7	1.2
	処理水 (mg/l)	5.9	2.8	0.21
17:48	除去率 (%)	88	71	82
17:48	原水 (mg/l)	53	10	1.3
	処理水 (mg/l)	5.8	2.9	0.23
22:36	除去率 (%)	89	72	82
22:36	原水 (mg/l)	72	10	1.3
	処理水 (mg/l)	6.5	3.5	0.29
3:24	除去率 (%)	91	66	78
3:24	原水 (mg/l)	61	8.7	1.1
	処理水 (mg/l)	6.1	2.7	0.19
8:12	除去率 (%)	90	69	83
8:12	原水 (mg/l)	45	9.3	0.94
	処理水 (mg/l)	6.3	2.5	0.17
13:00	除去率 (%)	86	73	82
範囲 (平均値)	原水 (mg/l)	45~72 (59)	8.7~10 (8.9)	0.94~1.3 (1.1)
	処理水 (mg/l)	5.8~6.5 (6.1)	2.5~3.5 (2.9)	0.17~0.29 (0.22)
	除去率 (%)	86~91 (90)	66~73 (70)	78~83 (81)

次に接触酸化処理が3時間の前処理操作後に1日6サイクルの間欠曝気式回分活性汚泥法で処理した場合の処理結果を表3に示す。1日6サイクルの運転方法は図6の運転法IVに示す通りである。

この結果、原水の平均水質はBODが66mg/l、T-Nが8.7mg/l及びT-Pが1.3mg/lで平均除去率はBODが78%、T-Nが62%及びT-Pが68%で、処理水の平均水質はBODが15mg/l、T-Nが3.3mg/l及びT-Pが0.41mg/lであった。

次に接触酸化処理が2時間の前処理操作後に1日8サイクルの間欠曝気式回分活性汚泥法で処理した。運転方法を図6の運転法Vに示す。この結果、平均除去率はBODが69%、T-Nが40%及びT-Pが51%で、処理水の平均値はBODが19mg/l、T-Nが3.6mg/l及びT-Pが0.53mg/lであった。運転法Vの場合は除去率は低下したが1サイクルの処理時間が短いことで、少ない敷地面積で多くの汚水が処理できるため、T-N及びT-Pの除去率をそれほ

表3 前処理操作3時間と  
1日6サイクル併用の処理効果

処理時間	採水場所	BOD	T-N	T-P
13:00	原水 (mg/l)	60	7.7	1.5
	処理水 (mg/l)	12	3.0	0.46
17:00	除去率 (%)	80	61	70
17:00	原水 (mg/l)	68	8.1	1.3
	処理水 (mg/l)	15	2.9	0.40
21:00	除去率 (%)	78	64	69
21:00	原水 (mg/l)	70	8.5	1.0
	処理水 (mg/l)	19	3.3	0.32
1:00	除去率 (%)	73	61	68
1:00	原水 (mg/l)	60	9.7	0.94
	処理水 (mg/l)	12	3.5	0.30
5:00	除去率 (%)	80	64	68
5:00	原水 (mg/l)	58	8.6	1.4
	処理水 (mg/l)	11	3.0	0.42
9:00	除去率 (%)	81	65	70
9:00	原水 (mg/l)	78	9.8	1.6
	処理水 (mg/l)	21	4.0	0.60
13:00	除去率 (%)	73	59	62
範囲 (平均値)	原水 (mg/l)	58~78 (66)	7.7~9.8 (8.7)	0.94~1.6 (1.3)
	処理水 (mg/l)	11~21 (15)	2.9~4.0 (3.3)	0.30~0.60 (0.41)
	除去率 (%)	86~91 (78)	59~65 (62)	62~70 (68)

ど期待しない地域での処理対策としては有効であると考えられる。

以上のことから、間欠曝気式回分活性汚泥法のサイクル数が多くなると、1日あたりの処理能力は向上するが、逆に1日の流入負荷量が多くなることや1サイクルの処理時間が短くなるため除去率は低下することがわかった。

しかし、原水のBOD流入負荷量が高い場合は原水を接触酸化処理等で一旦低下させてから、処理を行うと、1サイクルの処理時間がある程度短くなくてもBOD、T-N及びT-Pを良好に処理できることがわかった。

### 3.3 嫌気反応時の無攪拌による処理効果

省エネルギー化をめざすための一つとして嫌気反

応時に行っていた機械攪拌を停止した場合の処理効果について検討した。

処理効果が良好であった運転法のⅠ及びⅡについて嫌気反応時の機械攪拌を停止し、その処理効果を調べた結果、運転法Ⅰ及びⅡの両者共にはほぼBODが5.1%、T-Nが29%及びT-Pが11%の減少がみられ、特にT-N及びT-Pの減少が顕著であった。この時のNH<sub>4</sub>-N及びT-Nの経時変化を調べたところ、NH<sub>4</sub>-Nが2.8mg/ℓ残留し、硝化が十分進んでいないことがわかった。

T-N及びT-Pの除去率が減少した理由として、好気反応から嫌気反応に移行した時点は、まだ多くの溶存酸素が残存しているために脱りん及び脱窒素反応に必要な嫌気状態になっていなかったことがあげられる。

このことは、嫌気反応時に機械攪拌を行い活性汚泥と水中のNH<sub>4</sub>-N等との接触効率を高め、硝化反応等を活発に行わせ溶存酸素を効率的に利用させ速やかに嫌気状態を形成<sup>2)</sup>させ、かつ速やかに嫌気状態になることで嫌気反応時間を長く確保できるようにすることが重要なことを意味している。

なお、嫌気反応時に機械攪拌を行わない場合には硝化等が進みにくいため溶存酸素が減少しにくく、速やかに嫌気状態が形成されにくいためT-N及びT-Pの除去率が低かった。

以上のことから、嫌気反応時に機械攪拌を行わないとT-N及びT-Pの除去率が顕著に低下することがわかった。

#### 4. まとめ

本研究は、約70世帯の生活排水及び一部の事業所排水が流れこんでいる水路のそばに実規模大の間欠曝気式回分活性汚泥法による装置を設置し、本装置により水路を流れる汚水を効率的に処理するための運転方法について検討を加えたものである。得られた成果は以下にまとめたとおりである。

(1) 1日3～5サイクルの間欠曝気式回分活性汚泥法で処理を行なったところ、1日4サイクル以下で処理すれば平均除去率でBODが92%以上、T-Nが78%以上、T-Pが87%以上と良好に処理できることがわかった。

(2) 原水濃度を低くするために原水槽に接触材を充

填し接触酸化処理の前処理操作を3時間行った後、1日5サイクルの間欠曝気式回分活性汚泥法で処理を行なったところ、平均除去率はBODが90%、T-Nが70%及びT-Pが81%と良好な処理結果が得られた。また前処理操作を3時間行った後、1日6サイクルで処理を行なったところBODが78% T-Nが62%及びT-Pが68%と効果的な処理結果が得られた。さらに、前処理操作を2時間で1日8サイクルで処理を行なったところ、BODが69%、T-Nが40%及びT-Pが51%となり全体的に除去率は低下したが、この運転方法は1日の処理量を多くできるためT-N及びT-Pの除去率をそれほど期待しない地域では有効と考えられる。

(3) 1日3及び4サイクルの間欠曝気式回分活性汚泥法について嫌気反応時の機械攪拌を行わなかった場合、BODが5.1%、T-Nが29%及びT-Pが11%の除去率の低下が見られ、特にT-N及びT-Pの除去率の低下が顕著であった。

以上のことから、1日のBOD流入負荷量が高い場合には接触酸化処理等の前処理操作で流入BOD負荷量を低くしてから間欠曝気式回分活性汚泥法で処理を行えば1サイクルの処理時間がある程度短くなくても良好に処理できること、また、嫌気反応時の機械攪拌を行うことが特にT-N及びT-Pの除去率を高める上で必須であることがわかった。

#### 参 考 文 献

- 1) 神奈川県編：わたしたち環境、213、神奈川県環境部(1991)
- 2) 井上 充、平野浩二、稲森悠平：間欠曝気式回分活性汚泥法による生活排水中の窒素、りん、有機物除去のための最適条件の選定、水質汚濁研究、14、5、301-311(1991)
- 3) 井上 充、平野浩二、井口 潔、稲森悠平：生活系排水流入水路汚濁水のバイパス浄化法による処理、用水と廃水、34、5、13-22(1992)
- 4) 日本工業規格協会：JIS K0102 工場排水試験方法(1986)、日本工業標準調査会、東京。
- 5) 日本下水道協会：下水試験方法(1984)、日本下水道協会、東京。