

建設省土木研究所 正会員 清水 俊昭
 “ “ 野池 達也

1. はじめに

近年、湖沼等の閉鎖性水域において顕在化している富栄養化現象は、上水をはじめとする種々の利水上の障害や果観、周辺環境の悪化を惹起するなど、大きな社会問題のひとつとしてその早急な対策が要請されている。こうした富栄養化の抑制には、流入する窒素・リン負荷量の削減が不可欠であり、下水道整備はその最も有効性の高い方策のひとつと考えられる。しかしながら、現在、下水処理方式の主流となっている標準活性汚泥法およびその変法の窒素・リン除去率は20～40%程度であり、流入下水の特性、し尿投入の有無、各処理施設の運転状況等によって大きく変動する可能性がある。そのため、環境基準達成のために厳しい排水基準が課せられた場合には、既存の処理施設の修正・改造、物理化学的な処理施設の増設等による対応が必要となる。

ここでは、既存施設を最小限の改造で有効に活用するという趣旨から、下水中の窒素を内生呼吸を利用して除去する方法を取上げ、これについてパイロットプラント規模で検討した結果について報告する。

2. パイロットプラント実験の概要

パイロットプラント実験は京都市鳥羽処理場内に設置した生物処理実験施設を用いて行った。処理フローを図-1に示す。生物反応槽は4槽に分割（1槽25m³）されており、流入端のオ1槽を好気槽に、続くオ2、3槽を脱窒槽とした。脱窒槽は空気の供給を止め、水中攪拌機によって攪拌を行った。

運転条件を表-1に示す。実験区分Ⅰでは、それ以後の内生呼吸による脱窒法との比較の意味で、下水中の有機物を脱窒に利用する循環法での運転を行った。オ1槽のみを脱窒槽とし、酸化態窒素（NO_x-N）は返送汚泥とともに循環する運転方式を採用した。区分Ⅱ以降は図-1に示す処理フローに切替え、滞留時間を段階的に変更し（8～24時間）、反応時間と処理成績との関係について検討した。

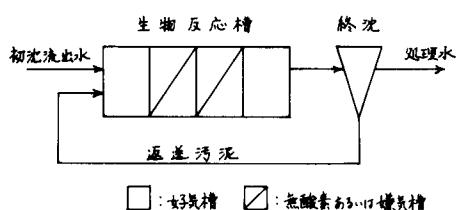


図-1 処理フロー

3. 実験結果と考察

水質分析結果を表-2に示す。区分Ⅱでは、硝化が不十分であったために処理水中に高濃度のNH₄-Nが残留

表-1. 運転条件

区 分	I	II	III	IV
流入水量 m ³ /d	300	300	200	100
滞留時間 hr	8	8	12	24
嫌気槽	2	4	6	12
好気槽	6	4	6	12
汚泥返送率 %	150	50	50	50
空気供給率(好気槽)	12.0	6.7	9.5	11.5
余剰汚泥引抜率 %	1.20	0.48	0.39	0
水温(No4) °C	23.4	25.1	26.1	24.6
pH(No4)	6.93	6.90	6.84	6.68
SVI(No4) ml/g	155	222	122	131
MLSS mg/l	2210	2520	2050	1460
MLVSS mg/l	1580	1780	1320	950
BOD-SS濃度 g/gd	0.093	0.062	0.089	0.129
N-SS負荷 g/kgd	0.030	0.021	0.025	0.037
SRT d	10	13	22	97

表-2. 水質分析結果

	I		II		III		IV	
	流入水	処理水	流入水	処理水	流入水	処理水	流入水	処理水
BOD	68.2	10.6	54.3	35.6	57.6	3.9	66.8	4.1
ATU-BOD		6.3		6.1		3.1		2.8
COD Mn	54.5	18.5	52.0	17.2	43.4	12.1	50.3	12.7
COD Mn・D	36.3	8.7	24.9	8.4	24.7	6.4	32.2	7.9
S	63.2	12.3	64.0	21.2	60.4	22.3	58.8	15.4
K-N	22.05	2.30	16.95	9.32	16.13	1.57	17.46	1.75
K-N・D		0.92		7.70		0.71		0.84
NH ₄ -N	15.6	0.0	13.2	5.8	12.2	0.0	15.5	0.0
NO _x -N		5.8		2.0		6.4		5.5
T-P	2.99	2.18	2.48	2.19	2.30	1.75	3.16	2.47
T-P・D		1.72		1.48		1.58		2.32
アルカリ度	142.3	45.4	109.4	88.4	108.9	42.8	127.5	54.3

・分析頻度：原則として週1回（24時間コンポジットサンプル）
 ・分析方法：下水試験方法（E法）、リンについては混合試薬法）

し、このことが結果として処理水BODを高めている。硝化が進行しないことの最大の原因は、図-2に示されるように、酸素供給能力不足である。生物反応槽に設置されている多孔質散気板の酸素溶解効率(6%)を用いたの酸素収支の試算からも同様のことがいえる。このような状態であつたため、第1槽内では硝化とともに一部脱窒現象が起り、時として第3槽が完全嫌気状態となることになった。

区分Ⅲでは、流入水量を200 m³/dとすることによって硝化は完全に進むようになった。しかしながら、トータルの窒素除去率は5%にすぎず、循環法(区分Ⅰ、窒素除去率63%)に比較して有利な点が見出せなかった。

区分Ⅳでは、さらに流入水量を100 m³/dに減らし、運転を行ったが、処理水中のT-Nレベルは区分Ⅰとほぼ同程度であったものの流入T-N濃度が低いために除去率で見ると58%と循環法を上回ることができた。なお、区分Ⅳでは脱窒槽に厚さ15~20 cmに及ぶスカムが生成したために余剰汚泥引抜きを0としてもMLSSが漸減し、所定の濃度を維持できない状態となった。このようなスカムが形成された原因については明らかにないが、検鏡の結果では多数の放線菌が観察され、分離培養実験によって混合液中に10⁵オ-グの放線菌の存在が認められた。ただ放線菌の異常な増殖がこのような運転方式に特異的に付随する問題であるのか否かについては検討の余地がある。

今回の結果に基づいて、内生呼吸の利用によってどの程度の窒素除去を期待しうるかを簡単なモデルで推定している。脱窒速度は、脱窒に先立つ曝気時間とともに減衰(図-3)し、脱窒反応自体は0次と仮定すると、脱窒窒素量ΔNは次式で推定される：

$$\Delta N = T_d V(t) X e^{-\beta t} / 1000 \quad (\text{mg-N/L}) \quad (1)$$

ここに、 $T_d = 24 V_a / Q(1+r)$ 、 $T_d = 24 V_d / Q(1+r)$ 、 $V(t)$ ：前曝気時間0での脱窒速度、 X ：MLVSS、 β ：定数を示す。図-4は式(1)に基づいてΔNを試算した結果である。この図から区分Ⅲの条件では流入水量が60 m³/dの場合に最大の除去率を期待できることがわかる。

4. おわりに

内生呼吸を利用した窒素除去法について、その下水処理への通用性をパイロットプラント実験によって検討した結果、(1)高流入負荷の場合、流入端で充分な酸素供給が必要である、(2)低水量負荷時には放線菌の増殖によると考えられるスカムが発生し、処理に影響を及ぼしうる、(3)脱窒窒素量には、流入水量の関数としたときに最大値が存在する可能性がある、ことが明らかになった。

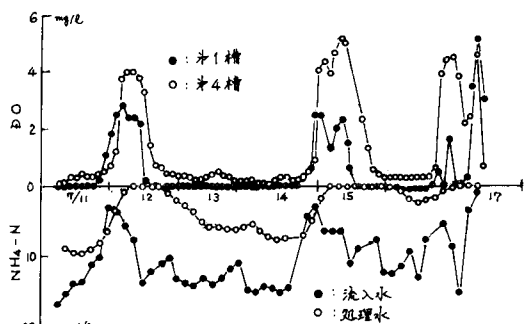


図-2. NH₄-Nと槽内DOとの関係

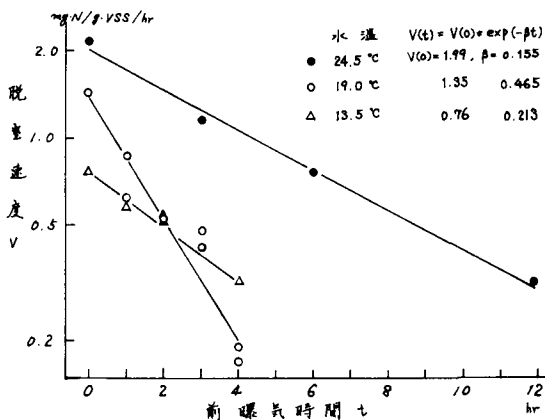


図-3. 脱窒速度と前曝気時間との関係

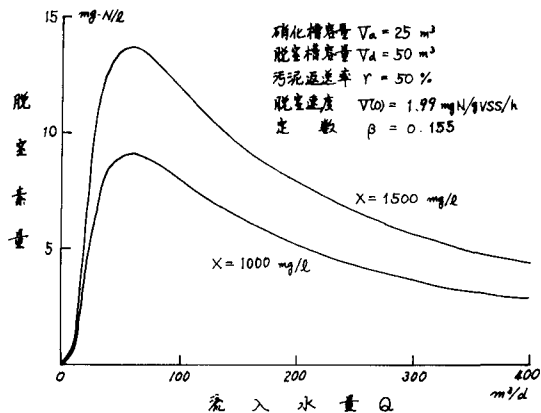


図-4. 流入水量と除去される窒素量との関係