

日本大学 ○金永魯 田中和博 斉藤利晃
日立プラント建設（株） 美川一洋 江森弘祥

1. はじめに

下水道事業の重点が小規模下水道へと移行するにつれ、オキシデーションディッチ法が小規模な下水処理設備として採用される事例が増えている。しかしながらこの処理方法は、滞留時間が長く広大な敷地を要し、且つ汚泥の管理等が必要である。

これに対し、施設のコンパクト化、維持管理の容易化、窒素処理の高効率化、負荷変動への対応などのコンセプトをもとに、小規模下水処理向けの嫌気-好気性ろ床法を開発した。本法は、SS/BOD除去（最初沈殿池代替機能）及び脱窒処理を行う上向流式の嫌気性ろ床（比重が1よりも小さな合成樹脂製浮上ろ材を採用した）と、硝化菌を高濃度に保持した包括固定化担体を用いた硝化槽の基本プロセスに、仕上げ処理としての好気性ろ床を組み合わせたものであり、最初沈殿池は設けない。

本実験では処理水量1.75m³/dのパイロットプラントによる実下水での連続運転を行い、システム処理性能及び嫌気性ろ床での脱窒特性について若干の知見を得たので報告する。

2. 実験方法

実験装置のフローシートを図1に示す。また、装置仕様を表1に示す。

実験原水は、T浄化センターの沈砂池後の下水を2.5mm目開きスクリーンに通したものをを用いた。また、好気性ろ床の逆洗に必要な洗浄水は水道水を用いた。装置は全て、円筒型の透明PVC製である。嫌気性ろ床には、逆洗用の空気ノズルと、ろ材の流出を防ぐための目開き5mmのスクリーンを上部と下部に設け、10φ×10Lの円筒型発泡性の合成樹脂製浮上ろ材を2mの高さに充填した。硝化槽にはポリエチレングリコール製包括固定化担体をNO.1に20%、NO.2に10%の添加率で投入した。好気性ろ床には有効径2.0mmのアンスラサイトを2mの高さに充填し、下部より曝気をするとともに下向流で処理を行った。

実験の運転条件を表2に示す。実験には2系列を用い、NO.1系列は流量変動運転（日間0.25Q～2.5Qの変動幅とした。）、NO.2系列は流量一定運転（1Q）とした。（以下、NO.1系列をNO.1、NO.2系列をNO.2と略する。）処理水量は1.75m³/d、全反応槽滞留時間（空塔容積基準）はNO.1で5.8h、NO.2で7.4h、である。硝化液循環はNO.1及びNO.2とも一定流量とし、循環比を3（原水流量1.75m³/dに対して）と設定した。

嫌気ろ床の逆洗方法は、ろ材が上部のスクリーンに接して浮上していると流動できないため、スクリーンより20～30cm程度まで水位を下げてから空気による旋回流で攪拌洗浄を行い、排水する工程とした。一方、好気性ろ床は、空気による洗浄と空気と水を同時に用いるラップ洗浄及び水洗浄を組み合わせた工程とした。

なお、実験中の処理性能実験のサンプリングは全て流量比例コンポジットサンプルとし、水質分析は下水道試験法に拠った。

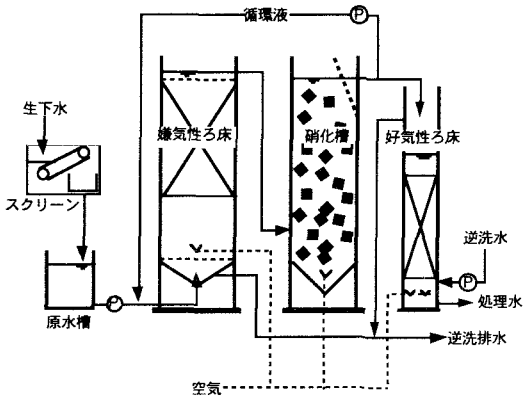


図1 フローシート

表1 装置仕様

	嫌気性ろ床	硝化槽		好気性ろ床
		NO.1	NO.2	
装置有効寸法 (mm)	300φ×3500H	214φ×3300H	300φ×3300H	150φ×3300H
使用ろ材又は担体	発泡ビーズ/樹脂円筒型 (10φ×10L)	包括固定化担体 (3mm角)		アンスラサイト (有効径2.0mm)
ろ層高又は担体添加率	2m	20%	10%	2m
槽内実容積 (L)	238	119	233	58

3. 実験結果と考察

3. 1 システムでの処理性能

連続運転の処理結果を表3に示す。NO.1、NO.2ともSS及びBODの除去率が約97%、T-N除去率が約75%と良好な結果が得られた。また硝化は、20%の担体添加率で1.6hという短い滞留時間（NO.1の一定流量運転）でも安定して行われた。流量変動運転のNO.1と一定流量運転のNO.2での処理性能の差異も認められず、大きな負荷変動に対応できることが確認できた。

各単位プロセスごとの水質変化の平均値を図2に示す。流入原水中のSS及びBODの90%が嫌気性ろ床で除去されている。嫌気性ろ床は多量のSSを捕捉しても、ろ過抵抗が急激に上昇するようなことはなく、3～4日に1回程度の逆洗を行うことによりろ過抵抗1m以内に保つことができた。また、SS及びBODの除去と同時に脱窒も良好に行われ、嫌気性ろ床流出水NOx-N濃度0.8mg/L、脱窒速度0.23kg-N/m³/d（ろ層容積あたり）という結果を得た。またこの時、嫌気性ろ床流出水のDOはほぼ0mg/L、ORPは-200mv程度であり、脱窒に適した環境を保っていたと思われる。

次に、NO.1における流量変動運転時の日間水質変化を図3に示す。最下段の図は小規模下水処理場における典型的な下水流入パターンに基づき設定したものである。処理水水質は時間的に変動が見られるが、一定流量実験の処理水質と比べ、同等ないしはそれ以下の値であり流量変動による処理水質の悪化は認められなかった。

表2 運転条件

		嫌気性ろ床	硝化槽		好気性ろ床
			NO.1	NO.2	
処理水量(m ³ /d)		175 (1Qとする)			
運転方法	NO.1	流量変動運転(0.25Q~2.5Q)			
	NO.2	一定流量運転 (1Q)			
ろ過速度 (m/d) *		25	—		100
反応槽滞留時間 (h) *		3.31	1.65	3.24	0.81
ろ層内滞留時間 (h) *		1.92			0.50
空気量 (L/min)		—	20		2~3
硝化液循環比 (—) *		3.0			

*原水1Qベースで算出

表3 連続運転処理結果

	H8/2/23~8/13			H8/2/23~5/24		
	NO.1 (流量変動)			NO.2 (流量一定)		
	流入原水	処理水	除去率 (%)	流入原水	処理水	除去率 (%)
水温 (℃)	21.2 (25.8-16.2)	21.3 (29.7-13.5)	—	18.3 (21.8-16.2)	16.2 (24-12.8)	—
アルカリ度	180.8 (206-167)	90 (111-68)	—	183.8 (206-167)	90.8 (138-72)	—
SS (mg/L)	220.9 (430-106)	5.36 (8-5)	97.3 (98.7-95.3)	233.4 (430-63)	5.3 (9-5)	97.4 (98.7-95.1)
T-BOD (mg/L)	200.9 (347-53.2)	7 (13.5-2)	96.1 (98.6-92.1)	222 (366-80.7)	6 (12.3-4.1)	97 (98.9-93.5)
S-BOD (mg/L)	27.8 (46.6-12.4)	4.3 (10.3-1.2)	—	27.5 (42.8-12.4)	4 (6.1-1.0)	—
T-N (mg/L)	36.3 (50-24.2)	9.3 (15.3-3.6)	74 (90-50.6)	37.9 (50-28)	8.9 (12.2-7.4)	76.1 (81.9-60.6)
K _N -N (mg/L)	36 (50-24)	1.8 (2.8-1)	—	37.5 (50-28)	1.8 (2.6-1.0)	—
NH ₄ -N (mg/L)	20.6 (30-14)	0.3 (1.4-0)	98.8 (100-83)	21.5 (30-17)	0.1 (0.16-0.06)	99.5 (99.8-99.2)
NO ₂ -N (mg/L)	0.03 (0.4-0)	0.4 (1.5-0)	—	0.06 (0.3-0)	0.7 (2.5-0)	—
NO ₃ -N (mg/L)	0.24 (4.3-0)	7.1 (12-3.2)	—	0.4 (4.3-0)	6.4 (8.4-3.6)	—
透視度 (cm)	—	82 (100-33)	—	—	77.8 (100-48)	—

* () 内は最大値-最小値を示す

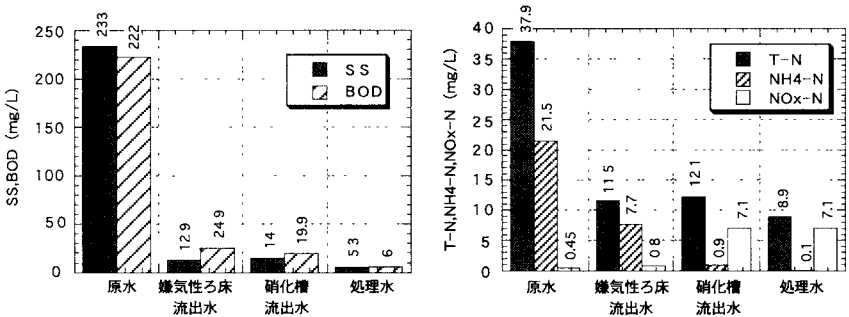


図2 各単位プロセスごとの水質変化

3. 2 嫌気性ろ床での脱窒特性

NOx-N負荷量と脱窒速度（ろ層容積あたり）との関係を図4に示す。この図から、嫌気性ろ床では0.25kg-N/m³/d程度の負荷まではほぼ完全に脱窒が行われており、最大で0.3kg-N/m³/d程度の脱窒速度が得られていることが分かる。この負荷は、活性汚泥循環法との容積当たりの脱窒速度の約2～3倍の値である。

反応槽内水温とNOx-N除去率との関係を図5、ろ過抵抗とNOx-N除去率との関係を図6に示す。両図より、

水温やろ過抵抗はあまり脱窒性能の影響因子ではないことが分かる。ろ過抵抗がろ材のSS保持量と関連していると考えれば、嫌気性ろ床では、BOD-SS負荷（或いはNOx-N負荷）がある範囲において変化しても脱窒性能はあまり影響を受けないと考えられる。このことは、逆洗後の脱窒性能を示した図7からも考察できる。逆洗により、ろ床内の約半分近くの汚泥を排出したにも関わらず、脱窒性能の低下は認められず、NOx-N除去率は逆洗した以後も約90%と安定して行われている。逆洗で排出される汚泥も脱窒性能を有することを確認しており、図7の結果は、排出されず残った汚泥とろ材の付着生物がある割合で脱窒に寄与していることを示唆するものである。詳細については現在検討中であり、次回報告する。

4. まとめ

本実験により以下の結果が得られた。

(1) 反応槽滞留時間5.8h、処理水量1.75m³/dの処理実験を行った結果、SS及びBOD除去率97%以上、T-N除去率75%以上の結果が得られた。また、0.25～2.5Qの流量変動を与えた場合でも処理結果に対する影響はほとんど見られなかった。したがって、本プロセスは、極めて短時間でSS及びBODとT-Nの除去が行え、負荷変動にも対応できるプロセスであることが分かった。

(2) 嫌気性ろ床において、最大0.3kg-N/m³/dの脱窒速度を得ることができた。また、脱窒性能は水温やろ過抵抗にほとんど影響を受けず、逆洗を行い排泥しても安定した脱窒が行えた。

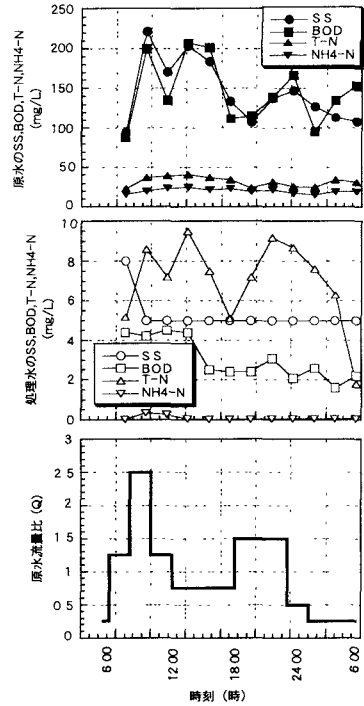


図3 流量変動運転時の日間水質変動

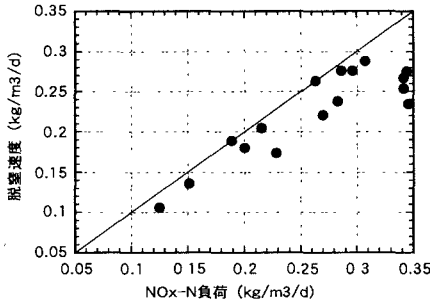


図4 NOx-N負荷量と脱窒速度との関係

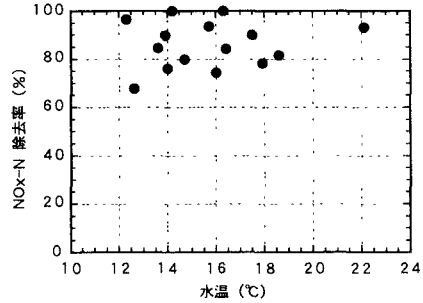


図5 水温とNOx-N除去率との関係

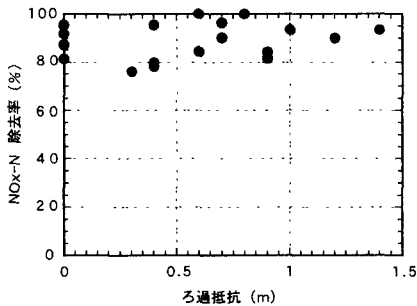


図6 ろ過抵抗とNOx-N除去率との関係

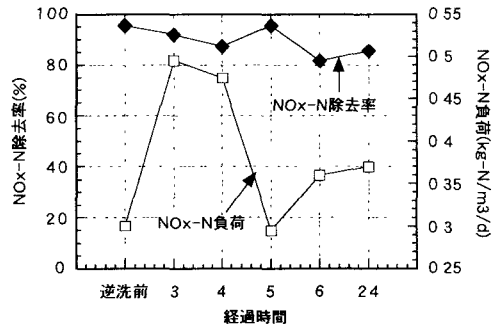


図7 逆洗後の脱窒性能