

ステップ脱窒を用いた固定床循環式硝化脱窒法

日本大学大学院 学生会員 ○吉村 友次郎 日本大学大学院 学生会員 武田 明仁
日本大学大学院 学生会員 田母神 維孝 日本大学大学院 学生会員 福田 友一
山岡工業（株） 山岡 和男 日本大学工学部 正会員 西村 孝

1. はじめに

固定床循環式硝化脱窒法は、浮上ろ材に硝化・脱窒細菌を付着させた生物膜ろ過による窒素除去技術である。前年度までの研究で初期運転方法を確立することが出来たので、本年度は硝化及び脱窒性能の改善について検討した。

完全硝化達成後の脱窒槽では槽全体が有効に利用されておらず槽下部での脱窒となっている。そこで、脱窒槽でより多くの BOD を消費させ、硝化槽への BOD 流入負荷を低減させることで硝化ゾーンの拡大及び脱窒性能の向上を目指した。固定床では液は移動するが細菌はほとんど移動しないので、槽全体を有効に利用するため硝化液のみ脱窒槽への分割注入（以下、ステップ脱窒）を導入した。さらに、硝化液だけでなく原水も分割注入して運転を行った。その結果について報告する。

2. 実験方法（図-1・表-1 参照）

本実験では、硝化槽 2m（0.2m×10 層）・脱窒槽 1m(0.2m×5 層)を塔状に組み、全長 4m の縦型の実験装置を用意した。担体は硝化槽・脱窒槽ともに直径 4mm の浮上ろ材を用いた。

原水は一般の都市下水を想定した人工下水を用い、BOD 濃度 200mg/l となるように酢酸ナトリウムを、T-N 濃度 40mg/l となるように塩化アンモニウムとポリペプトンを配合した。槽内水温は 20±1℃となるよう温度コントロールした。逆洗はろ過機能の回復を目的とし、1 層 0.2m の逆洗ユニットを全層に設け、水洗及び空水洗を 1 回/日行った。

通水方式は原水を脱窒槽下部から流入させ、硝化槽上部より処理水を得る上向流方式で行った。

循環変更前までは原水 Qs と循環水 3Qs を混合させ、脱窒槽下部より流入（ステップ脱窒導入前）させた。それを循環変更後ではステップ脱窒とする為、脱窒槽下部から原水 Qs と循環水 2Qs を混合流入させ、脱窒槽 3 層目から循環水 1Qs を流入（ステップ脱窒 I）させた。次の実験では、脱窒槽下部から原水 2/3Qs と循環水 2Qs を混合流入させ、脱窒槽 2 層目から原水 1/3Qs と循環水 1Qs を混合流入（ステップ脱窒 II）させた。ただし、原水と循環水の総量は変えていない。

3. 結果及び考察

3.1 NH₄-N 経日変化（ステップ脱窒導入前）（図-2・4 参照）

定常運転に移行後、汚泥の付着操作を行った結果、一時的に硝化が悪化したが、その後は安定して完全硝化が継続した。ただ、縦方向水質分析を行った結果、

キーワード：窒素除去、浮上ろ材、生物膜ろ過、固定床型処理、循環式硝化脱窒法、ステップ脱窒

連絡先：〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学工学部西村研究室 TEL 024-956-8723

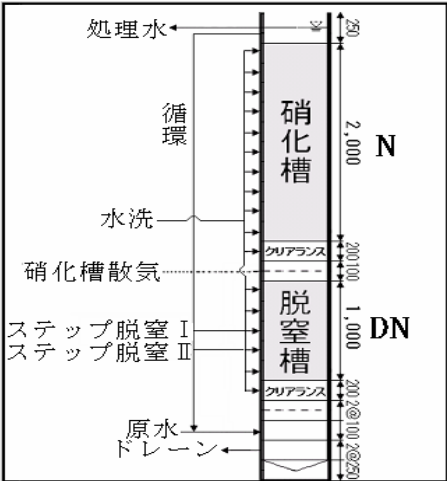


図-1 実験装置概略図

表-1 実験装置仕様

反応槽形式		硝化槽(N)	脱窒槽(DN)
装置寸法	(mm)	78 φ × 4,000H	
原水流量	(l/d)	Qs (50.0)	
循環流量	(l/d)	3Qs (150.0)	
ろ材高さ	(mm)	2,000	1,000
ろ過面積	(m ²)	4.78 × 10 ⁻³	
反応槽容積	(m ³)	9.56 × 10 ⁻³	4.78 × 10 ⁻³
通水速度	(m/d)	10.5	
滞留時間	(hr)	4.6	2.3

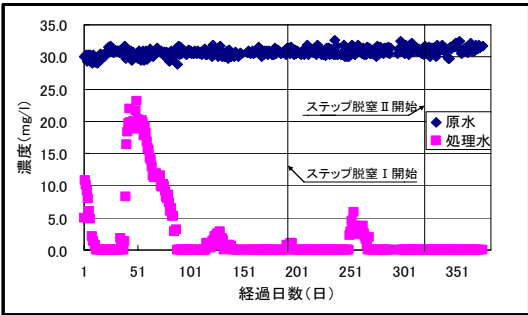


図-2 NH₄-N 経日変化

完全硝化しているが、硝化槽に余裕のない状態であった。

3.2 $\text{NH}_4\text{-N}$ 経日変化 (ステップ脱窒 I) (図-2・4 参照)

安定して完全硝化が継続した。また、縦方向水質分析の結果、硝化槽 7 層目(硝化槽下部から 1.4m)で完全硝化に至っており、硝化槽に余裕を持たせることが可能となった。

3.2 $\text{NH}_4\text{-N}$ 経日変化 (ステップ脱窒 II) (図-2・4 参照)

安定して完全硝化が継続した。また、縦方向水質分析の結果、硝化槽 6 層目(硝化槽下部から 1.2m)で完全硝化に至っており、ステップ脱窒 I の時よりも、さらに、硝化槽に余裕を持たせた状態での運転となった。

3.3 T-N 除去率 (表-2 参照) ステップ脱窒 I と導入前では T-N 除去率での大きな変化は見られなかったが、ステップ脱窒 II では除去率が上昇した。これは、原水を分割することにより脱窒槽全体で脱窒出来るようになったものと思われる。

3.5 脱窒槽 CODcr 除去率 (図-3 参照) 脱窒槽上部での CODcr 除去率を比較すると、ステップ脱窒導入前では 60%程度であったのに対して、I 導入後では 80%程度と上昇し、II 導入後では、初期は、70%程度に低下したが、現在では再び 80%程度に上昇している。これは、ステップ脱窒 II は原水も注入するため槽内の菌体変化が大きいと考えられ、槽上部でも脱窒出来るような環境になるのに時間を要したと推定される。

3.6 脱窒速度 (図-4 参照) 平均脱窒速度(脱窒槽全体の脱窒速度)は、ステップ脱窒導入前は、 $0.16\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 、I 導入後は、 $0.15\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 、II 導入後は、 $0.16\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ となった。最大脱窒速度は 0m ~ 0.4m の位置で求めると、導入前は $0.31\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ であり、I 導入後は $0.33\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 、II 導入後は、 $0.37\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ となった。平均脱窒速度には、大きな変化は見られなかったが、最大脱窒速度を幾分大きくすることが出来た。しかし、CODcr の消費には大きな差があり安定した硝化につながった。

3.7 硝化速度 (図-4 参照) 平均硝化速度(硝化槽下部から完全硝化した位置)は、ステップ脱窒導入前は、 $0.12\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 、I 導入後は、 $0.17\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 、II 導入後は、 $0.27\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ となった。最大硝化速度は 0.4m までが BOD 酸化に使われている為、導入前と I 導入後は、0.4m ~ 1.4m で、II 導入後は、0.4 ~ 1.0m で求めたところ、導入前は $0.17\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ となり、I 導入後は $0.22\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 、II 導入後は、 $0.27\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ となった。これは、脱窒槽 CODcr 除去率が上昇し、硝化槽下部への流入 BOD 負荷が低下した事で、硝化開始位置が下がり、これに伴い完全硝化する位置も低下した。

表-2 平均水質

水質項目	サンプル	原水	処理水		
			ステップ前	ステップ I	ステップ II
pH	(-)	7.0	7.8	7.7	7.9
アルカリ度	(mg/l)	164.5	161.5	153.3	140.6
BOD	(mg/l)	185.8	4.5	5.4	2.6
COD _{Cr}	(mg/l)	274.3	15.0	12.7	12.0
COD _{Mn}	(mg/l)	20.7	5.5	5.4	3.0
T-N	(mg/l)	39.2	8.5	8.9	8.0
$\text{NH}_4\text{-N}$	(mg/l)	30.9	0.0	0.0	0.0
Org-N	(mg/l)	8.3	1.0	1.0	0.8
$\text{NO}_x\text{-N}$	(mg/l)	—	7.5	7.9	7.2
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	(mg/l)	5.9	5.7	5.3	5.2
SS	(mg/l)	—	1.3	1.1	1.2
BOD 除去率 (%)		—	97.6	97.1	98.6
COD _{Cr} 除去率 (%)		—	94.5	95.4	95.6
T-N 除去率 (%)		—	78.3	77.3	79.6

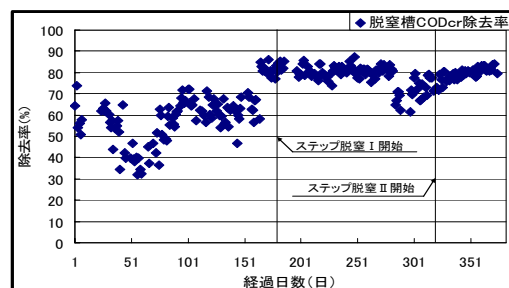


図-3 脱窒槽 CODcr 除去率

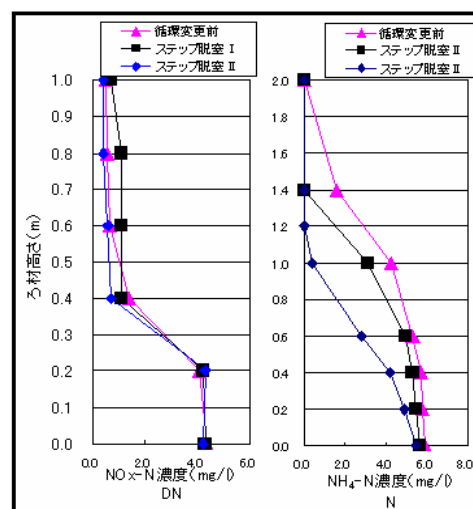


図-4 縦方向水質分析

4. まとめ

ステップ脱窒の導入により、脱窒槽上部での CODcr 除去率を 20%程度上昇させることが出来た。また、これにより硝化槽への負荷が低減され、硝化開始位置が早まり、硝化槽に余裕を持たせ安定させることが出来た。固定床の場合は、細菌が移動しない為全層均一に細菌を付着させるために硝化液及び原水を分割注入する事が有効な手段であることが分かった。さらに、脱酸素槽を設置し、脱窒槽への硝化液の持込み DO を削減し、BOD が脱窒に有効に使われるように更なる性能の向上を図りたい。