

N-7

硝化・脱窒・ろ過一体型ろ床法による下水高度処理

前澤工業株式会社 中央研究所
宇都宮大学 工学部 応用化学科
同上

○石川 進
遠藤裕香、壽々木孝慎
沼澤聡明、柿井一男

1. はじめに

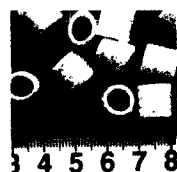
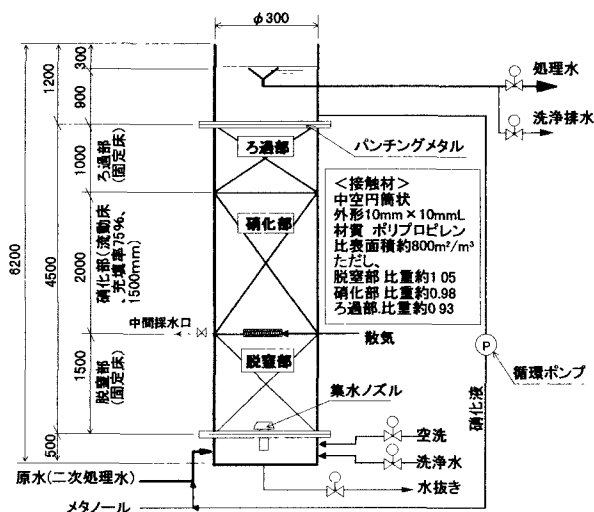
硝化・脱窒・ろ過一体型ろ床を考案し、実際の下水二次処理水(最終沈殿池越流水)および一次処理水(最初沈殿池越流水)を原水として実験を行った。図-1および図-2に示した様に、上向流処理であり、下から、脱窒部、硝化部、ろ過部となっており、処理水の一部は、硝化液として脱窒部に循環している。脱窒の水素供与体には、二次処理水を原水とした場合はメタノールを添加し、一次処理水の場合は原水中の有機物を利用した。充填した接触材は、写真-1に示した様に表面が凸凹していて多数の空孔を有している。この接触材は直径4mmから20mmまで製作可能であるが、ろ過機能を有し、且つ洗浄が容易なことに配慮して、直径10mm×長さ10mmのものをを用いた。なお、各部(脱窒部、硝化部、ろ過部)に充填した接触材は比重が異なり、脱窒部は沈殿した状態の固定床(比重約1.05)、硝化部は散気による流動床(比重約0.98)、ろ過部は浮上した状態の固定床(比重約0.93)である。

2. 実験方法

2.1 二次処理水を原水とした高度処理実験(三次処理実験)

図-1に示した構造の硝化・脱窒・ろ過一体型ろ床のパイロットプラント(直径300mmカラム)をA下水処理場内に設置し、二次処理水(最終沈殿池越流水)を原水として実験を行った。

運転条件を表-1に示した。Run 1～Run 3は、通水速度100m/日で、メタノール添加量を増加させ、脱窒率の増加を目的とした期間である。Run 4～Run 5は、通水速度50m/日とし、硝化率および脱窒率の向上を目的とした期間である。Run 6は、原水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低下したため、通水速度を100m/日とした期間である。なお、循環率は、全ての期間で100%とした。ろ床の洗浄は、1日に1回、空洗および水洗を行った。



<外観>
φ10mm×長さ10mm、
発泡ポリプロピレン



<接触材表面の電子顕微鏡写真>

写真-1 実験に用いた接触材

表一1 運轉条件(三次処理の場合)

Run No	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6
実験期間	99/1/19~1/26	99/1/28~2/9	99/2/16~3/25	99/5/24~6/14	99/6/21~9/10	99/9/13~9/20
通水速度(m/日)	100	100	100	50	50	100
循環水速度(m/日)	100	100	100	50	50	100
散気速度(m/日)	233	150	200	300	200	300
メタノール添加量(mg/l-原水)	15.0	30.0	50.0	100.0	80.0	66.0
NH ₄ -N容積負荷(上部3m)(kg-N/m ³ /日)	0.54	0.65	0.72	0.22	0.08	0.02
水温(°C)	原水	16.1	16.3	16.0	22.3	23.7
	中間水	14.0	14.3	14.8	23.7	25.7
	処理水	14.1	14.7	15.2	24.3	26.4
pH	原水	7.1	7.1	7.1	6.8	6.4
	中間水	6.8	6.9	6.9	6.8	6.6
	処理水	6.6	6.8	6.9	6.5	6.6
DO(mg/l)	原水	5.4	4.6	4.9	2.7	3.2
	中間水	3.4	2.2	1.5	0.4	0.8
	処理水	8.5	7.2	7.8	7.3	7.2
ORP(mV)	原水	157.3	99.0	135.8	151.5	118.7
	中間水	155.7	112.5	124.2	67.3	84.3
	処理水	158.7	145.5	144.5	186.5	141.8
アルカリ度(mg-CaCO ₃ /l)	原水	125.6	135.0	135.8	—	74.0
	中間水	86.3	123.7	124.8	—	—
	処理水	62.8	101.6	103.6	—	—
メタノール添加比率 [※]		0.31	1.09	1.92	2.55	2.23

※ メタノールの添加比率 = (実際のメタノール添加量) ÷ (必要メタノール量)

ただし、必要メタノール量は、 $(\text{NO}_3\text{-N}) \times 2.47 + (\text{NO}_2\text{-N}) \times 1.53 + \text{DO} \times 0.87$ として算出(McCarty式)

2.2 一次処理水を原水とした高度処理実験(二次処理実験)

図-2 に、二次処理実験の場合のろ床構造を示す。図-1 のろ床を改造したものである。ろ床の洗浄をより確実且つ容易にするために、硝化部と脱窒部に仕切り板を設け中間排水を行い、支持層も設けた。なお、ろ床の洗浄は、空洗および水洗とし、2 日に 1 回行った。

表-2 に運転条件を示した。通水速度を 25m/日、硝化液の循環率は 200%に設定した。

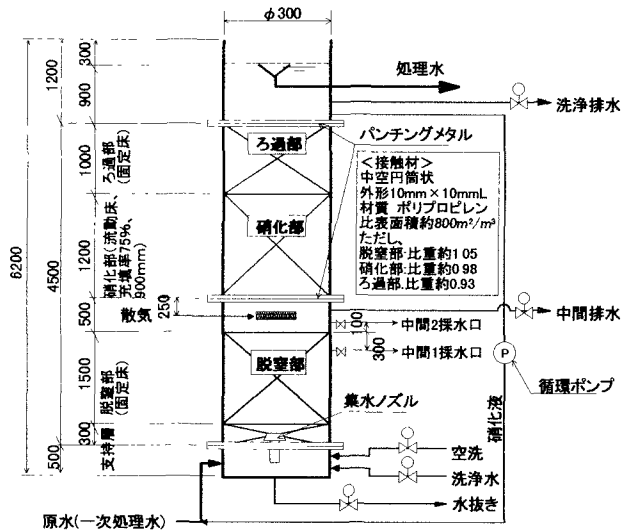


表-2 運転条件(二次処理の場合)

(実験期間) 2001/7/12-9/20)

通水速度(m/日)		25
循環水(m/日)		50
散気強度(m/日)		200
BOD容積負荷(kg-BOD/m ³ /日)	全体(37m)	0.691
NH ₄ -N容積負荷(kg-N/m ³ /日)	上部(22m)	0.216
NO ₃ -N容積負荷(kg-N/m ³ /日)	下部(12m)	0.276
水温(℃)	原水	22.7
	中間1水	25.9
	中間2水	26.2
	処理水	27.0
pH	原水	6.84
	中間1水	6.85
	中間2水	6.81
	処理水	7.28
DO(mg/l)	原水	0.53
	中間1水	0.44
	中間2水	2.07
	処理水	6.55
ORP(mV)	原水	-109
	中間1水	-41
	中間2水	-10
	処理水	65
アルカリ度(mg-CaCO ₃ /l)	原水	135.8
	中間1水	95.6
	中間2水	71.5
	処理水	55.9

図-2 硝化・脱窒・ろ過一体型ろ床の構造(二次処理の場合)

3. 実験結果および考察

3.1 三次処理実験

三次処理実験の結果を表-3に示した。(a)から(c)についてみると、メタノールの添加量を増加することに

より脱窒率の上昇が認められたが、硝化率の低下も起こった。硝化部およびろ過部において、高い硝化速度を得るためには、散気速度を 200m/日以上とする必要があるが^り、散気速度を速くすると、脱窒部に持ち込まれる DO が多くなる。また、脱窒速度を高くするためには、メタノールの添加量を増やす必要があるが、過剰に添加すると硝化を阻害する。この実験装置では、これらの制御は行っていないこともあり、通水速度 100m/日での窒素除去は困難と考えら

表－3 各実験期間の平均処理水質(三次処理の場合)

(a) 平均水質Run 1 (99/1/19-1/26)					(d) 平均水質Run 4 (99/5/24-6/14)				
	原水	中間水	処理水	除去率(%)		原水	中間水	処理水	除去率(%)
SS (mg/l)	6.4	1.3	1.7	74.2	SS (mg/l)	3.2	—	7.4	-131.3
T-BOD (mg/l)	33.7	—	22.9	32.0	T-BOD (mg/l)	16.6	—	23.8	-43.1
ATU-BOD (mg/l)	5.8	—	6.3	-9.6	ATU-BOD (mg/l)	3.7	52.2	14.5	-296.4
NH ₄ -N (mg/l)	16.2	11.0	7.4	54.1	NH ₄ -N (mg/l)	13.4	6.3	0.3	97.9
NO ₃ -N (mg/l)	1.1	7.7	11.4	—	NO ₃ -N (mg/l)	5.8	2.1	6.8	—
NO ₂ -N (mg/l)	2.6	0.8	0.8	—	NO ₂ -N (mg/l)	1.1	0.3	0.3	—
NO _x -N (mg/l)	3.7	8.5	12.2	—	NO _x -N (mg/l)	6.9	2.4	7.1	—
D-N(総和) (mg/l)	19.9	19.4	19.6	1.3	D-N(総和) (mg/l)	20.3	8.7	7.3	63.8

(b) 平均水質Run 2 (99/1/28-2/9)					(e) 平均水質Run 5 (99/6/21-9/10)				
	原水	中間水	処理水	除去率(%)		原水	中間水	処理水	除去率(%)
SS (mg/l)	9.8	2.1	3.1	68.6	SS (mg/l)	3.7	—	7.6	-108.2
T-BOD (mg/l)	34.2	—	29.1	15.0	T-BOD (mg/l)	5.7	—	6.8	-18.8
ATU-BOD (mg/l)	6.6	—	6.5	2.0	ATU-BOD (mg/l)	2.9	18.7	4.3	-51.0
NH ₄ -N (mg/l)	19.6	16.0	14.1	28.3	NH ₄ -N (mg/l)	4.7	2.3	0.1	98.2
NO ₃ -N (mg/l)	0.8	2.9	5.5	—	NO ₃ -N (mg/l)	7.4	2.9	4.6	—
NO ₂ -N (mg/l)	1.5	0.6	0.4	—	NO ₂ -N (mg/l)	0.3	0.4	0.2	—
NO _x -N (mg/l)	2.3	3.5	5.9	—	NO _x -N (mg/l)	7.7	3.3	4.8	—
D-N(総和) (mg/l)	21.9	19.4	20.0	8.7	D-N(総和) (mg/l)	12.4	5.6	4.9	60.6

(c) 平均水質Run 3 (99/2/16-3/25)					(f) 平均水質Run 6 (99/9/13-9/20)				
	原水	中間水	処理水	除去率(%)		原水	中間水	処理水	除去率(%)
SS (mg/l)	7.6	10.7	4.8	36.1	SS (mg/l)	4.1	—	9.0	-119.5
T-BOD (mg/l)	28.5	—	27.6	3.4	T-BOD (mg/l)	3.0	—	7.4	-146.7
ATU-BOD (mg/l)	4.3	—	4.0	5.2	ATU-BOD (mg/l)	1.8	25.6	6.5	-268.6
NH ₄ -N (mg/l)	21.5	17.4	14.2	33.9	NH ₄ -N (mg/l)	0.6	0.2	0.1	77.7
NO ₃ -N (mg/l)	1.5	3.7	4.7	—	NO ₃ -N (mg/l)	13.7	3.5	1.1	—
NO ₂ -N (mg/l)	0.8	0.3	0.6	—	NO ₂ -N (mg/l)	0.1	0.3	0.0	—
NO _x -N (mg/l)	2.3	4.0	5.2	—	NO _x -N (mg/l)	13.8	3.7	1.1	—
D-N(総和) (mg/l)	23.7	21.4	19.4	18.1	D-N(総和) (mg/l)	14.4	4.0	1.2	91.5

れた。なお、ろ材としては大きなサイズを用いているが、良好な SS 除去が行われた。(d)および(e)は、通水速度を 50m/日とした場合である。良好な窒素除去が行われた。(f)は、原水中の NH₄-N 濃度が低下(二次処理施設において硝化が進行)し、NO_x-N が増加した期間である。通水速度を 100m/日としても、良好な脱窒処理が行われた。

3.2 二次処理実験

二次処理実験の結果を表－4 に示した。水温約 25℃、通水速度 25m/日、硝化液循環率 200%条件であるが、硝化率 95.2%、T-N 除去率 66.8%を達成した。なお、この時、好気部(2.2m として)での硝化速度は 0.21 kg-N/m³/日、脱窒部(中間 1 までの 1.2m として)での脱窒速度は 0.28 kg-N/m³/日となる。また、SS および BOD の除去率も高い値を示した。

4. まとめ

硝化・脱窒・ろ過一体型ろ床を考案し、実際の下水二次処理水(三次処理)および一次処理水(二次処理)を原水としてパイロットスケールの実験を行った。三次処理においては、特別な制御は行わず、メタノール添加、通水速度 50m/日、循環率 100%の条件で、二次処理においては、通水速度 25m/日、循環率 200%の条件で、良好な窒素除去が行われた。開発された硝化・脱窒・ろ過一体型ろ床は、ろ床の洗浄が容易であり、シンプルな構造であることから、特に、小規模施設では有望と考えている。現在、通水速度 35m/日、循環率 200%の条件での二次処理実験を実施している。凝集剤添加による窒素・リンの同時除去も行う予定である。

<参考文献>

石川 進、馬場郁子、鈴木辰彦、柿井一男、白樫高史：下水三次処理用の 2 床式好気性ろ床に関する研究、環境工学研究論文集、Vol. 37、pp. 29-40(2000)

表－4 平均水質(二次処理の場合)

		原水	中間1水	中間2水	処理水	除去率(%)
SS	mg/l	49.9	13.6	12.6	4.8	90.4
T-BOD	mg/l	102.3	26.2	31.1	11.1	89.2
ATU-BOD	mg/l	100.1	33.5	32.5	9.1	90.9
T-N	mg/l	27.9	11.3	13.0	9.3	66.8
D-N*	mg/l	19.1	9.0	8.4	7.5	60.7
NH ₄ -N	mg/l	19.0	7.7	3.9	0.9	95.2
NO ₃ -N	mg/l	0.1	1.0	4.3	6.4	—
NO ₂ -N	mg/l	0.03	0.29	0.16	0.22	—
NO _x -N	mg/l	0.08	1.32	4.47	6.59	—
T-P	mg/l	4.42	3.59	3.82	3.39	23.3
Ort-P	mg/l	3.04	2.84	2.76	2.74	9.9

D-N* = NH₄-N+NO₃-N+NO₂-N