

B-19 アンモニア性窒素除去を目的とした 雨天時下水の生物処理方法の検討

○上門卓矢^{1*}・内田翔¹・山下尚之¹・田中宏明¹・古屋勇治²・田中良春²

¹京都大学大学院工学研究科流域圏総合環境質研究センター（〒520-0811 滋賀県大津市由美浜1-2）

²富士電機水環境システムズ株式会社（〒191-0064 東京都日野市富士町1番地）

* E-mail: taku-ue@biwa.eqc.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年、合流式下水道からの雨天時の未処理、簡易処理放流水による公共用水域の水環境悪化が懸念されている。平成14年より国土交通省を中心に合流式下水道改善事業が進められてきたが、現在の対策は主に、未処理放流量の削減、放流吐口における夾雑物の除去、処理場からの簡易処理放流汚濁負荷量の削減となっている。対策例として、雨水の貯留施設の設置や、処理場における対策として、高速凝集沈殿施設の設置、さらに、既存施設を利用する方法として、雨天時活性汚泥法が実用化されている¹⁾。

しかし、これらの対策の多くは主に夾雑物と固形性物質やSS・BODの除去を対象としており、栄養塩、特に窒素などの溶解性汚濁成分、消毒が難しいウイルス等の除去までは十分には考慮されていない。特に放流先が、閉鎖性水域や水道取水源がある場合は、富栄養化や消毒効果、消毒副生成物の観点から、今後、雨天時における溶解性物質、病原性微生物の除去も重要になると考えられる。そこで、雨天時の溶解性物質の汚染実態把握を調査した結果、合流式下水処理場では、簡易放流時には特にアンモニア性窒素が高濃度で放流されている可能性が高いことが分かった²⁾。放流水中にアンモニア性窒素が高濃度で残留する場合、消毒時に塩素を消費するために、ウイルス等の殺菌効果が低下することが考えられる。

そのため、本研究では、雨天時における処理場からのアンモニア性窒素の汚濁負荷削減を目的に、雨天時流入水に対して、日最大計画処理水量以上を生物処理する対策技術の検討を行った。今回は、循環式硝化脱窒法において、設計流入水量以上で処理を行った場合の、アンモニアの硝化の処理特性についての実験結果を報告する。

2. 実験方法

1) 実験装置概要

実下水処理場に設置し、最初沈殿池処理水を用いた実

験装置を図1に示す。循環式硝化脱窒法を模したベンチスケールの実験プラントは6槽から成る生物反応槽、最終沈殿池、および処理水槽から構成される。流入水および最終沈殿池から返送した返送汚泥は反応槽第1槽にポンプにより流入する。装置の流入水は処理場における最初沈殿池流出水である。余剰汚泥は曝気槽第5槽、6槽より引き抜くこととした。諸元は表1に示す。また、各諸元は、反応槽の水理学的滞留時間は、下水道設計指針に規定された値の範囲となるように設定した。本装置における1Q(1.0 m³/d)流入時の水理学的滞留時間は、無酸素槽、好気槽とも6.5 h、生物反応槽全体で13.0 hとした。また、最終沈殿池からの汚泥流出を防ぐため、水面積負荷は12.5 m³/dと実際の設計指針より小さく設定している。

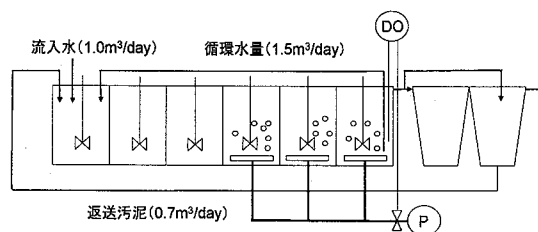


図1 実験装置フロー図

処理方式	循環式硝化脱窒法		
	実容量	90	L/槽
生物反応槽	槽数	6	槽
最終沈殿池	形状	上向流式(正方形)	
	水面積	0.048	m ²
	有効水深	0.7	m
	有効容積	31	L

表1 実験装置諸元

2) 実験条件

前述した実験装置を用いて、雨天時下水を想定した生物処理実験を行った。実験における装置の運転条件を表2に示す。各実験では、実下水処理場の反応槽内の活性汚泥を実験装置へ移し、標準運転条件で約1日以上運転

を行ったあと、流入水量、運転条件を変更した。

表2 実験条件

運転条件		12月7日 RUN-1	12月12日 RUN-2A	12月13日 RUN-2B
流入水量(m ³ /d)		5.0	4.0	4.0
循環水量(m ³ /d)		1.5	6.0	6.0
返送汚泥量(m ³ /d)		3.5	2.8	2.8
容量(L)	無酸素槽	270	0	180
	好気槽	270	540	360
	反応槽合計	540	540	540
	沈殿池	62	62	62
滞留時間(h)	無酸素槽	1.3	0.0	1.1
	好気槽	1.3	3.2	2.2
	反応槽合計	2.6	3.2	3.2
	沈殿池	0.3	0.4	0.4
沈殿池水面積負荷(m ³ /m ² /d)		62.5	60.0	50.0
設計基準(m ³ /m ² /d)	15-25			
((社)日本下水道協会:下水道計画・設計指針と解説)				

2-1) RUN1

RUN-1 (図2) では、処理方法を変更せずに流入水量を標準運転の5倍(5Q)まで増加させた。循環水量・返送汚泥量についても同様に標準運転の5倍とした。実験継続時間は最大で180分とした。

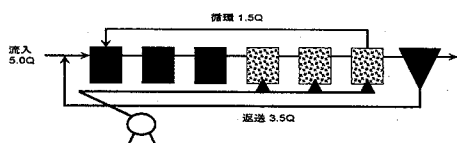


図2 RUN-1の運転条件

2-2) RUN-2A

RUN-2A (図3) では、流入水量を標準運転の4倍(4Q)まで増加させ、反応槽6槽全てを好気槽とした。循環水量・返送汚泥量についても同様に標準運転の4倍とした。実験継続時間は最大で300分とした。

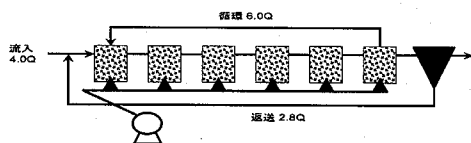


図3 RUN-2Aの運転条件

2-3) RUN-2B

RUN-2B (図4) では、流入水量を標準運転の4倍(4Q)まで増加させ、第2槽、第3槽の散気管(曝気装置)を第1槽に設置し、第1槽の曝気量をRUN-2Aの3倍とした。実験継続時間は最大で240分とした。

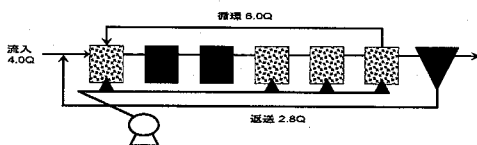


図4 RUN-2Bの運転条件

また、各実験において、初沈流出水、第1~6槽、最終沈殿池流出水(放流水)にて採水を行い、水質を分析した。採水間隔は30分ないし60分で、測定項目は、MLSS、BOD、SS、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nとした。

3. 実験結果および考察

1) RUN1

流入水量を標準運転条件の5倍に増加した運転において、運転条件変更後60分後に最終沈殿池からのSS流出が確認された。そのため、返送汚泥量を標準運転条件の5倍に増加させて、180分後まで運転を継続した。MLSS、NH₄-N、NO_x-Nの結果を図5に示す。MLSSは全ての反応槽にて実験開始後より、20~25%濃度低下した。これは、沈殿池からSSが流出したためと考えられる。

また、NH₄-Nについては、標準運転においては、好気状態の4、5槽目で完全に硝化されており、処理水濃度もほぼ検出下限未満であったが、運転変更後180分で処理水濃度が6.6 mg/Lに上昇した。これは、好気槽において、MLSSの低下と水理学的滞留時間(HRT)の減少により硝化が十分に進まなかったためと考えられる。また、BODでは実験開始前は5 mg/L程度であったが、180分後の放流水中濃度が上昇し26 mg/Lと濃度が上昇した。

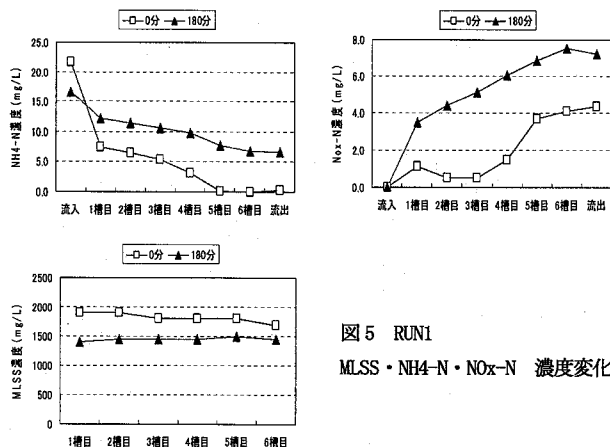


図5 RUN1

MLSS・NH₄-N・NO_x-N 濃度変化

2) RUN-2A

標準運転状態から流入水量を4倍に増加させ、同時に循環水流量、返送汚泥流量を標準運転条件の4倍に増加させた。また、標準運転の好気槽に加え、前段3槽の脱窒槽をすべて好気槽とし、全面曝気に運転を切り替えた。RUN-2AにおけるMLSS、NH₄-N、NO_x-Nの結果を図6に示す。MLSS濃度は約2500mg/L前後で実験開始~終了に至るまで濃度の低下は見られなかった。

NH₄-N濃度については、前段3槽を曝気に切り替えたことにより、RUN1と異なり、1槽目から硝化が進み、5槽目で完全に硝化が終了していることが確認された。

一方で、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度変化から分かるように、無酸素槽が消滅したことにより、脱窒反応は進行しなかった。BOD は 10 mg/L 以下で推移し、最終沈殿池からの汚泥流出は確認されなかった。

3) RUN-2B

標準運転状態より流入水量を4倍に増加させ、共に循環水流量、返送汚泥流量も標準運転条件の4倍に増加させた。また、標準運転の好気槽に加え、脱窒槽1槽目を好気槽とした運転に切り替えた(2, 3槽目は脱窒槽)。1槽目には、散気管を3本設置し、3倍の風量で曝気を行った。他の好気槽への送風量は RUN-2A と同様とした。RUN-2B における MLSS、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x\text{-N}$ の結果を図7に示す。MLSS は約 $2,200 \text{ mg/L}$ 前後で実験開始から終了に至るまで、ほぼ一定であった。

また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度については、1~3槽目では、硝化は見られなかった。4~6槽目では、硝化が進んでいたが、処理水濃度が 1.9 mg/L とアンモニア性窒素がわずかに残留する結果となった。RUN-2B では、第2槽、第3槽が無酸素であったため、硝化が十分進まなかったと考えられる。 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度変化を見ると、2, 3槽目でわずかに脱窒反応が見られる程度であった。また、BOD 濃度は、約 20 mg/L 前後を推移した。

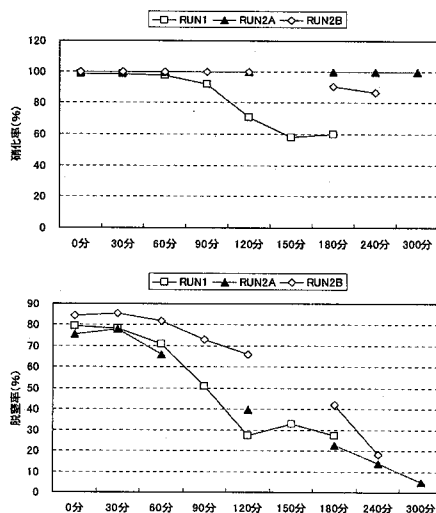


図8 各RUNの硝化率・脱窒率

RUN-1、RUN-2A、RUN-2B の硝化率と脱窒率について、図8にそれぞれ示す。硝化率に関しては、流入水を5倍としたRUN-1では、硝化率の低下が見られた。一方で、流入水量を標準時の4倍にし、全槽曝気を行ったRUN-2Aにおいては、硝化率100%が達成された。RUN-2Bでは硝化率が80%程度に低下し、処理水中にアンモニア性窒素が残留した。また、脱窒率に関しては、RUN-1、RUN-2A、RUN-2Bのいずれにおいても顕著に低下した。全槽を好気槽としたRUN-2Aでは、脱窒率が0%まで低下した。

4. まとめ

以上の結果より最終沈殿池での固液分離が確保される条件下で、循環式硝化脱窒法の脱窒槽を全て好気槽に運転を切り替え、返送汚泥率も流入水量に比例させて増加させた場合、設計流入水量の4倍量まで流入量を増加させても、硝化率100%を達成することができた。それを上回る流入量では、完全硝化できず、BOD の上昇も起こることが分かった。

本実験においては、最終沈殿池の水面積負荷は通常の設計より余裕があるため、流量増大による最終沈殿池からの汚泥の流出は見られなかった。また雨天時の流入水質の変化を考慮した設定を行っていない。このため、今後、より現実的な条件を設定した実験を行うとともに、流量増大時の最終沈殿池からの汚泥流出防止対策を検討し、消毒効果の評価を検討する予定である。

参考文献

- 1) 古川清: 大阪市における雨天時下水活性汚泥処理法について, 下水道協会誌, Vol. 39, No. 475, pp40-44 (2002)
- 2) 内田他: 分合流式下水道の処理場での雨天時水質調査, 第43回下水道研究発表会講演集, pp284-286 (2006)

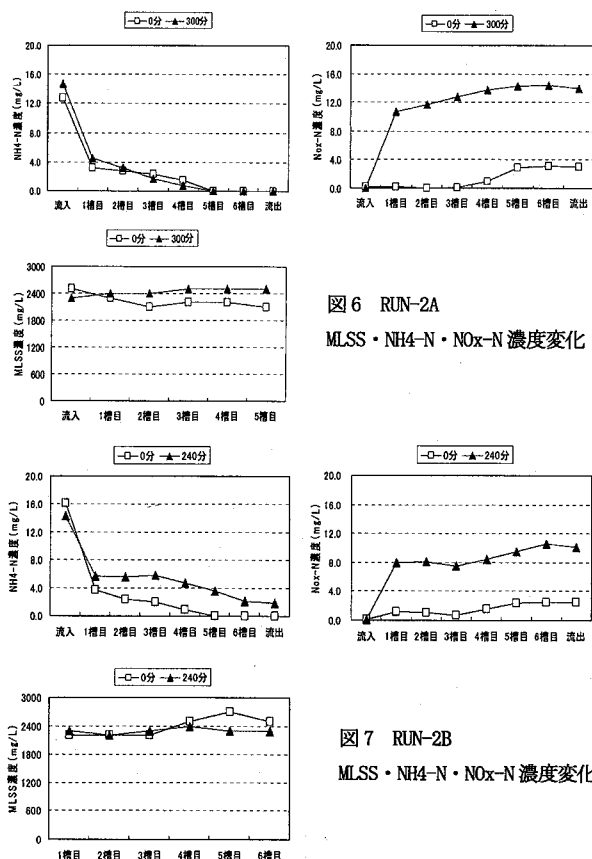


図6 RUN-2A
MLSS・ $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度変化

図7 RUN-2B
MLSS・ $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度変化