

2-2-7 浅槽式反応槽での窒素削減に向けた新たな取り組みについて

西部第一下水道事務所 落合水再生センター 水質管理係
佐藤麻貴、太田裕誌（現 東京都下水道サービス）、松下勝一、松田寛子
伊藤潤子、岡崎敏之（現 西部第一下水道事務所お客様サービス課）、関口郁子

1. はじめに

落合水再生センター（以下、落合セ）は、晴天時には約 32 万 m³/日を標準法で生物処理し、全量を砂ろ過したのちに神田川及び城南三河川（渋谷川・古川、目黒川、呑川）に放流している。これらの河川は都心部の人口密集地域を流れる中小河川であり、当該河川は上流からの河川水量が少ないため、落合セの放流水質が直ちに河川水質に影響を及ぼす特徴がある。また、放流水質のさらなる向上は避けて通れない課題である。しかしながら、放流水質向上のために高度処理法等を導入するには、処理能力や敷地に余裕がないことを鑑みると容易なことではない。また、東京都で開発した「新たな高度処理技術」¹⁾は、深槽式反応槽での処理技術のため、施設の大部分が浅槽式反応槽である落合セには導入困難である。そこで、浅槽式反応槽の一部を用いて新たな取り組みを行ったところ、従来よりも窒素削減が見られたので、本稿で報告をする。

2. 調査背景

落合セでは、図 1 に示す水処理フローのように、余剰汚泥を第一沈殿池に戻している。このため、硝化促進型制限曝気（疑似 A0）運転によるりん除去を行うと、汚泥に取り込まれたりんが第一沈殿池で再溶出してしまうため、継続的にりん除去を行うとりんが系内を循環して活性汚泥中のりん含有量が増加し続ける。汚泥中のりん含有量が 5%を超えとりん除去が限界となる場合が多く、最終的に放流水の全りん濃度が基準値を超えるおそれがある。そのため、落合セでは疑似 A0 法等によるりん除去を行っていない。

一方、放流水質の向上には窒素の削減も重要であることから、新たな取り組みとして「中段制限曝気法」、「ステップ流入脱窒法」の 2 つを試みた。

中段制限曝気法とは、反応槽中段の前半分を制限曝気することで擬似的な無酸素槽を設けて内生脱窒させ、残りを好気槽とし硝化を行う処理法である。一般的な硝化内生脱窒法との大きな違いは、①流入下水ではなく第一沈殿池流出水（以下、沈殿下水）を処理する、②反応槽全体のうち無酸素槽の割合が少ない、③硝化途中の段階で無酸素状態にすることで内生脱窒を促す、④後段好気槽は再曝気が目的ではなく完全硝化を目的としている、の 4 点である。

ステップ流入脱窒法とは、脱窒を効率的に進行させることを目的として、中段制限曝気法の制限曝気部に沈殿下水をステップ流入させる処理法である。

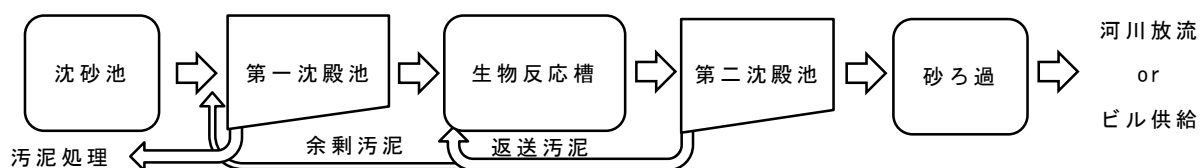


図 1 落合水再生センター水処理フロー

3. 調査内容

3.1 窒素削減調査

調査にあたっての水処理条件を表1に、調査の概略図を図2、図3に示す。

反応槽5号・7号は制限曝気をするC回路前段までに十分に硝化させるため、A～B回路の送風比率を標準

表1 ステップ流入脱窒法と中段制限曝気法の実施調査での水処理条件

		5号槽 ステップ 流入脱窒法	6号槽 標準法	7号槽 中段制限 曝気法
DO制御設定		D回路：1.5mg/L		
MLSS濃度		1,000～1,200mg/L		
A:B:C:D送風比率		15:35:20:30	10:30:35:25	15:35:20:30
制限曝気部分		C回路前段	なし	C回路前段
流入扉 開度	A回路	120 (60+60)	200(100+100)	200(100+100)
	C回路	80 (80)	0 (0)	0 (0)

法の6号槽よりも高くし、制限曝気をするC回路の送風比率を減らした。なお、各反応槽の流出水量は全槽（5～7号槽）同じになるように調整した。

採水箇所は反応槽流出部であるD回路末端で行い、溶解性全窒素を測定した。

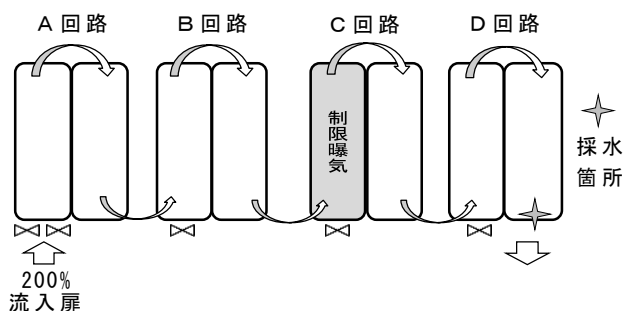


図2 中段制限曝気法調査の概略図

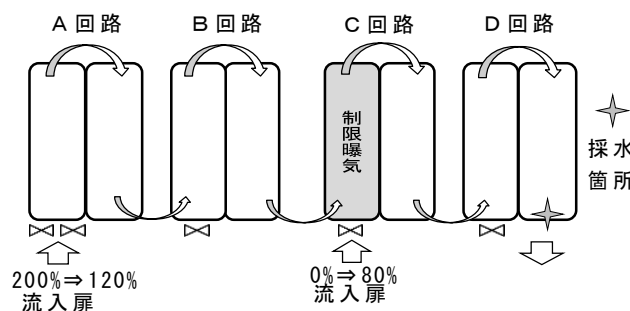


図3 ステップ流入脱窒法調査の概略図

3.2 窒素除去と送風量調査

反応槽の1系（1～4号槽）を基準槽として標準法で継続して処理を行い、2系（5～8号槽）を調査対象槽として処理法を順次変更することで、1系・2系の窒素と送風量の関係を調査した。今回の調査では、反応槽流出部の溶解性全窒素ではなく、二次処理水（第二沈殿池流出水）の全窒素で調査した。系統別で調査した理由は、反応槽個々に水量計が無く系統別でしか水量を把握できないことによる。なお、1系・2系共に同じ水質の沈殿下水が流入する。

4. 調査結果

4.1 窒素削減効果の検証

3.1の条件で行った調査結果を図4に示す。調査当初は降雨の影響により、溶解性全窒素の傾向にバラつきがあった。しかし、9/16以降は傾向が鮮明になり、標準法・中段制限曝気法・ステップ流入脱窒法の順に溶解性全窒素が低くなった。この間、3処理法とも処理水中のアンモニア性窒素が1mg/L以下であり、良好な硝化状況であった。また、りん酸性りん濃度は3処理法とも1mg/L以下であり差はなかった。

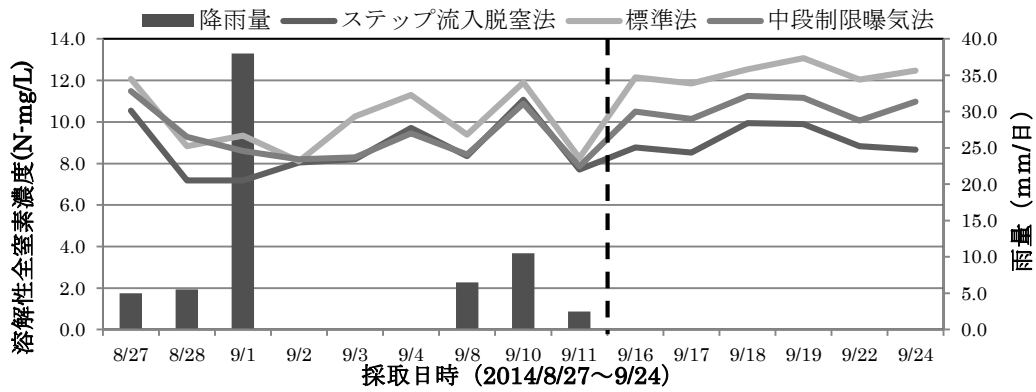


図4 ステップ流入脱窒法と中段制限曝気法及び標準法の窒素処理状況

4.2 窒素除去と送風量の検証

3.2 の条件で行った調査期間における水処理条件、運転状況および全窒素濃度を表 2 に示す。また、1系・2系の二次処理水の全窒素を図 5 に、運転状況のうち、送風倍率比率（2系/1系）の各日の状況を図 6 に示す。なお、Run1（両系とも標準法）において1系の送風倍率が2系より高いのは、1系の2槽が旧来型の散気装置であり、高効率型に更新済である他の6槽よりも送風効率が悪いからである。

表 2 送風量の検証調査での水処理条件、運転状況および全窒素濃度の期間平均
(1系：基準槽、2系：調査槽)

	2系の 処理法	平均送風量 (m ³ /日)		平均処理水量 (m ³ /日)		送風倍率			全窒素 (N・mg/L)		
		1系	2系	1系	2系	1系	2系	比率	1系	2系	削減率 (※)
Run1 (12/15~12/30)	標準法	556,000	429,000	134,200	132,400	4.14	3.24	78.3%	12.2	11.9	—
Run2 (1/9~1/26)	ステップ 流入脱窒法	560,000	463,000	131,100	137,200	4.27	3.37	78.9%	12.7	10.7	13.2%
Run3 (2/10~2/25)	中段制限 曝気法	625,000	487,000	143,800	141,800	4.35	3.43	78.9%	12.0	10.6	9.2%

※削減率は (1系全窒素 - 2系全窒素) ÷ 1系全窒素 × 100 - Run1 (1系全窒素 - 2系全窒素) ÷ 1系全窒素 × 100 の計算式で表す。

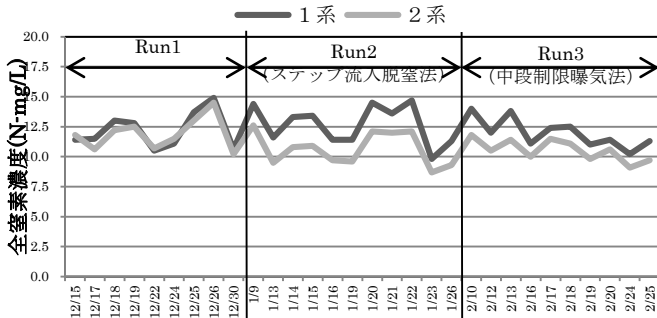


図5 1系・2系二次処理水の全窒素比較
(Run1~Run3)

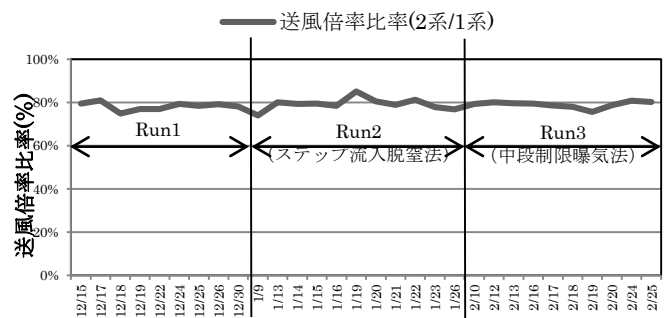


図6 送風倍率比率 (2系/1系)
(Run1~Run3)

図 5 に示すとおり、4.1 の窒素削減効果の検証と同様、ステップ流入脱窒法、中段制限曝気法は標準法に比べて窒素削減効果が高かった。削減率については、ステップ流入脱窒法に切り替えた Run2 が 13.2%、中段制限曝気法に切り替えた Run3 は 9.2%であった（表 2 参照）。ステップ流入脱窒法の窒素削減効果は硝化液循環を 15%増加させたことに相当する。

なお、この間、BOD 容積負荷 $0.45\sim 0.55\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 、HRT $6\sim 7$ 時間、SRT $5\sim 8$ 日、返送汚泥率 $40\sim 60\%$ で 1 系・2 系同様の条件であった。また、両系統において、処理水中のアンモニア性窒素が $1\text{mg}/\text{L}$ 以下であり、低水温期であっても良好な硝化状況であった。

送風量は、表 2 のように Run1～Run3 の送風倍率比率（2 系/1 系）の平均値に差が少ないこと、図 6 のように送風倍率比率（2 系/1 系）がいずれの期間も 80%前後と変化が少ないことから、標準法と同程度の送風量で処理が可能であると判断した。

5. まとめ

浅槽式反応槽での窒素削減に向けた新たな取り組みとして、実施で中段制限曝気法とステップ流入脱窒法を試みたところ、以下の知見が得られた。

- (1) 中段制限曝気法、ステップ流入脱窒法のいずれも窒素削減効果があり、その効果はステップ流入脱窒法の方が大きい。
- (2) 窒素削減を目的とした運転方法であっても、標準法と同等の送風量で処理が可能である。

以上から、標準法施設である落合セにおいて、浅槽式反応槽中段に制限曝気による擬似的な無酸素槽を設けることで、送風量を増やすことなく窒素削減が可能であることが判明した。この結果、硝化液循環に依存しない窒素削減方法の可能性が見出せた。特に、中段制限曝気法は、ステップ流入扉が無い施設でも容易に試すことができるため、多くの処理場への展開が期待できる。

今後は、無酸素槽（制限曝気槽）の位置・滞留時間や MLSS・DO 等の運転条件を精査し、より効果的な窒素削減と経済性運転に繋げていく。

参考文献

- 1) 葛西孝司/他：NO_x 計・NH₄ 計を用いる新たな高度処理技術の開発：同時硝化脱窒処理技術、第 51 回下水道研究発表会講演集、2014