

2-3-2 浅槽反応タンク散気設備更新工事に伴う対応について

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理担当
 多田 琴音 (現 施設管理部環境管理課)
 中川 遼太郎、小山 祐樹、高橋 由香里、横田 智之
 森田 健史 (現 森ヶ崎水再生センター)
 生井 智仁 (現 水道局)、

1 はじめに

芝浦水再生センターは83万 m³/日の処理能力(令和4年度実績 543,330 m³/日)があり、図1に示すように5系列の反応タンクから構成されている。このうち浅槽反応タンクは、6槽からなる設計処理水量15万 m³/日の標準活性汚泥法の系列であるが、散気設備が更新の時期を迎えており、令和5年度より年度毎に1槽ずつ更新する予定としている。更新に当たっては、1槽排水した場合、老朽化にともない隣接する槽からの水圧により仕切り壁が倒壊する恐れがあることから、排水せずに潜水士が水中施工で工事を行う。

更新初年度の今年度の浅槽1号槽の工事において、反応タンク内の活性汚泥を置換する際に様々な課題が発生した。これらの課題に対する対応と、更新後に実施した性能調査の結果について報告する。

2 施設概要

浅槽反応タンクの平面図を図2、断面図を図3、仕様を表1に示す。槽内は隔壁がないが、A~D各回路は槽仕切壁で分けられている。散気水深が浅いことから、更新後の酸素移動効率 η_1 (清水基準、DO 0 mg/L) の設計値は16%である。



図1 センター平面図と反応タンク系列

表1 反応タンク仕様 (1槽当たり)

処理方式	標準活性汚泥法	
処理能力	25,000 m ³ /日	
槽容積	8,790 m ³	
有効水深	4.1 m	
散気水深	3.6 m	
散気方式	片側旋回流	
散気装置	(更新前)	(更新後)
	セルポール散気筒	メンブレンパイプ式 超微細気泡散気装置

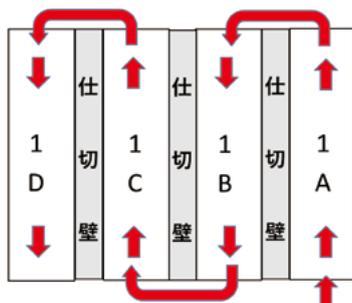


図2 反応タンク平面図

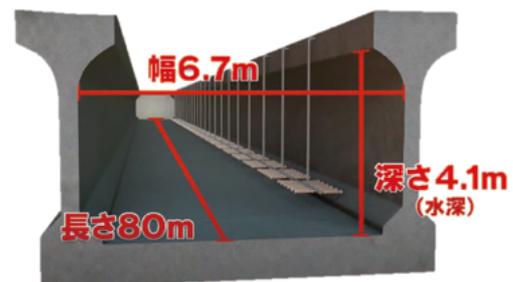


図3 反応タンク断面図 (1回路分)

3 水中施工置換方法の検討（課題①）

本工事では潜水土が水中施工を行うため、反応タンク内を SS 濃度の低い水に置換する必要がある。当初、最低風量で曝気しながら約 1,000 m³/日の雑用水を供給して置換する予定であったが、押し出し流れを仮定すると流れ方向の流速が約 0.04 cm/秒となり、最低風量で確保される底部流速 10 cm/秒より小さいため、旋回流に負けて活性汚泥の置換が進まない可能性があった。そこで、水量に制約がある雑用水に代わり、制約がない反応タンク流入水で一斉に置換し、SS 濃度を下げる方針とした。ただし、工事後の立上げ時に未処理水が反応タンクから流出することが想定されたため、反応タンク流入水のみを曝気して NH₄-N を処理できるか、テーブル実験にて確認を行った。

3.1 方法

浅槽反応タンク流入水 2 L を 18 日間曝気し、無機性窒素の変化を測定した。浅槽反応タンク流入水は、余剰汚泥の初沈戻しに由来する硝化細菌が混入している可能性があるため、同様に初沈戻しの影響を受ける東系最初沈殿池 1 号流出水と影響を受けない 3 号流出水についても曝気し、流入下水中の硝化細菌の硝化能力についても調べた。

結果無機性窒素濃度の推移を図 4~6 に示す。いずれの試料も、NH₄-N 濃度の減少と同時に NO₂-N が生成し、NO₂-N 濃度がピークに達した後に NO₃-N の生成が始まった。18 日後には全ての試料で完全硝化となり、流入下水のみでも硝化能力があることが確認できた。図 5 と図 6 を比較すると、NO₂-N 濃度がピークに達するまでの日数はあまり変わらないのに対し、その後完全硝化となるまでの日数が初沈戻しの影響がある試料の方が短く、初沈戻しによる亜硝酸酸化細菌の循環を確認できた。また、いずれの試料についても、曝気後 SS 濃度は曝気前（40mg/L 程度）と同等か低く、流入水曝気でも SS 濃度及び NH₄-N 濃度が低い水を得られることがわかった。

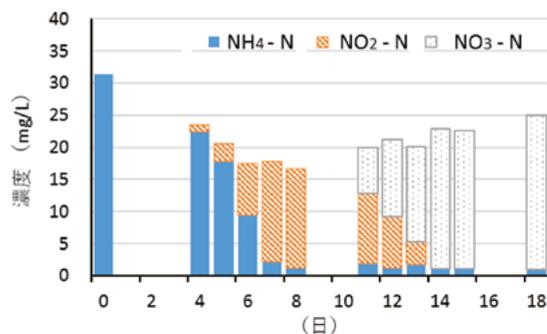


図 4 浅槽反応タンク流入水の無機性窒素濃度の推移（初沈戻し有り）

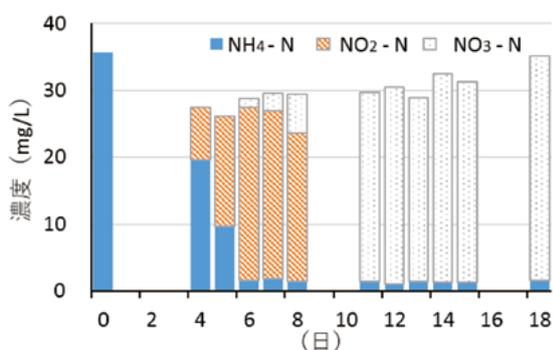


図 5 東系初沈 1 号流出水の無機性窒素濃度の推移（初沈戻し有り）

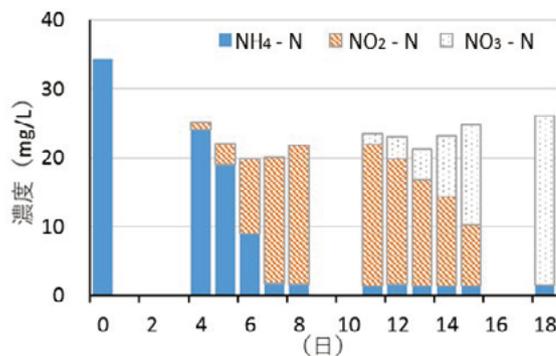


図 6 東系初沈 3 号流出水の無機性窒素濃度の推移（初沈戻し無し）

4 漏水調査（課題②）

4.1 経緯と方法

3.2に基づき、令和5年4月10日に反応タンク流入水への置換作業を実施したが、翌日以降、徐々にMLSS濃度が上昇し、数日後には置換前と同様な状態に戻っていた。また、反応タンク流出水量（以下、流出水量）がゼロとならなかったことから、隣接する2号槽（図7）から活性汚泥が流入している可能性が疑われた。そこで、1-2号槽間について漏水調査を行うとともに、来年度以降の工事を見据え全槽間の漏水調査を行った。

漏水調査は、停止中の1号槽に加えて2～5号槽を1槽ずつ停止（流入扉全閉、返送汚泥停止、最低風量曝気）して停止した反応タンクからの流出水量を把握する調査を主体とし、補足として臭化ナトリウムによるトレーサー調査を行った。

4.2 結果

一例として、1・2号槽停止時の流出水量の推移を図8、1・4号槽停止時の流出水量の推移を図9に示す。1・4号槽停止時には4号槽の流出水量がほぼゼロとなり、3-4号槽間及び4-5号槽間の漏水がないことが確認できた。一方、1・2号槽停止時には2号槽の流出水量が検出され、2-3号槽間に漏水があることが確認できた。停止した反応タンクからの流出水量を図10にまとめる。この結果から、1-2号槽間、2-3号槽間に漏水があることがわかり、補足のトレーサー試験からも同様の結果が示された（図11）。

その後、工事に遅れをきたさないよう雑用水で置換する方針に再度変更し、古い散気装置の撤去を進める一方で設置業者による潜水調査が実施された。潜水調査の結果、西側の各槽を跨ぐ壁と1-2号槽の仕切壁の間に隙間が生じていることが判明したため（図12）、エポキシ樹脂系接着剤で補修し、新規の散気装置を設置完了した。なお、2-3号槽間の亀裂については、来年度の工事に対応する予定である。

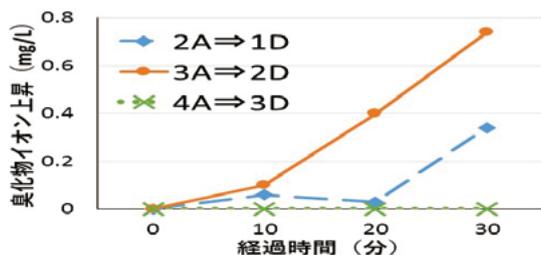


図11 トレーサー調査結果

※「2A⇒1D」は、2Aにトレーサーを投入した際の1Dの検出状況を表す

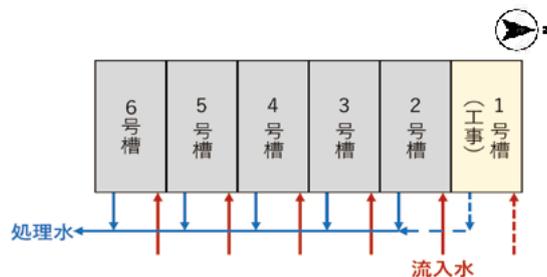


図7 浅槽反応タンクの模式図
(点線は停止中)

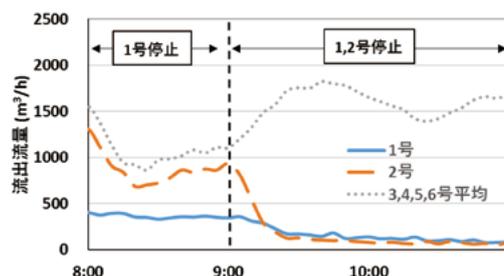


図8 1・2号槽停止時の流出水量

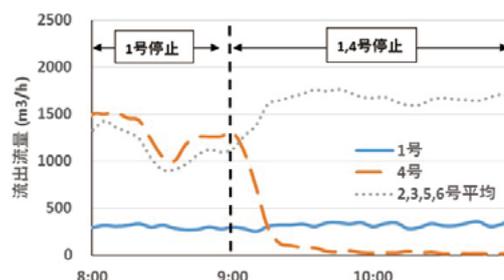


図9 1・4号槽停止時の流出水量

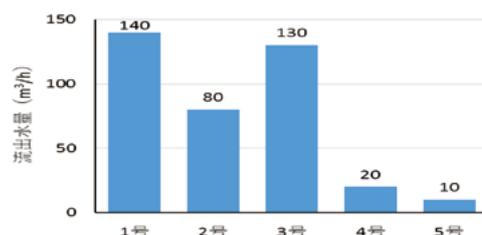


図10 停止槽からの流出水量

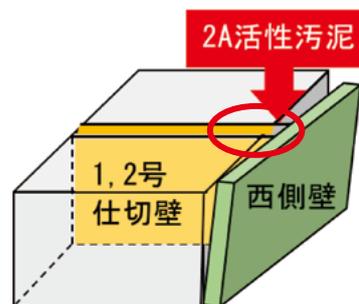


図12 漏水状況

5 更新後の性能調査

1号槽の散気性能を確認するため、ステップ流入無し及び制限曝気無しの条件の下、各回路の水質測定及び酸素移動効率 η_0 (汚水基準、DO 0 mg/L) の簡易測定¹⁾を行い、更新前の3号槽と比較した。また、りん処理性能を把握するため、3号槽のA回路上流部(A回路全体の約5分の1)を通常運用である制限曝気とし、制限曝気無しの1号槽と比較した。

5.1 散気性能

η_0 は、二酸化炭素濃度をゼロと仮定し、有害ガス検知器により測定した反応タンク排ガス中の酸素濃度の値から式1により実酸素移動効率 η_e を算出した後、別途測定した β 値(清水に対する汚水の飽和 DO 濃度の比)を用いて式2により算出した。酸素移動効率 η_1 (清水基準、DO 0 mg/L) は、一般的な α 値(清水に対する汚水の総括酸素移動容量係数の比)である 0.83 を用いて式3により試算した。なお、排ガス試料採取の際、排ガス濃度を安定させるため、手製の排ガス捕集装置(図13)を使用した。



図13 排ガス捕集装置等

$$\eta_e = \frac{Z_0 - Z}{Z_0 \times (1 - \delta \times Z)} \times 100, \delta = 1 - \varepsilon, \varepsilon = \frac{Z_{CO_2} \times (1 - Z_0)}{Z_0 - Z - Z_{CO_2} \times Z_0} \dots \text{式1}$$

$$\eta_0 = \frac{1.024^{20-t} \times \beta \times C_S(20)}{\beta \times C_S - C_L} \times \eta_e \dots \text{式2}$$

$$\eta_1 = \eta_0 \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{1}{\beta} \dots \text{式3}$$

Z:排ガス中の O₂ のモル分率, Z₀:供給空気中の O₂ のモル分率, Z_{CO₂}:排ガス中の CO₂ のモル分率
t:水温(°C), C_S: t°Cにおける清水の飽和 DO 濃度(mg/L), C_L:反応タンク内混合液の DO 濃度(mg/L)

調査期間中の運転データを表2、 η_0 の測定結果を図14に示す。1号槽の送風倍率は3号槽の3分の1程度、1号槽の η_0 は全回路で3号槽を上回っており、散気性能の向上が確認できた。また、1号槽D回路の η_1 の試算値は23%となり、設計値16%を満たしていた。

1号槽および3号槽の処理状況をそれぞれ図15、図16に示す。1号槽の窒素処理は、A・B回路の送風量が少なかったためB及びC回路の処理が3号槽より遅れていたが、D回路ではほぼ完全硝化しており良好であった。

表2 運転データ(散気性能)

号数	1号槽	3号槽
流入水量 (m ³ /h)	830	570
返送汚泥量 (m ³ /h)	450	440
送風量 (Nm ³ /h)	AB回路	5,990
	CD回路	2,920
送風倍率 (Nm ³ /m ³)	5.4	15.7
MLSS (mg/L)	1,870	1,800

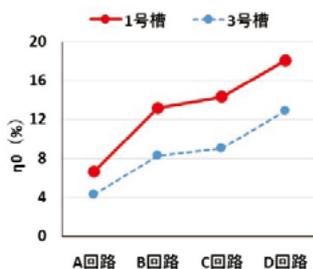


図14 η_0 測定結果

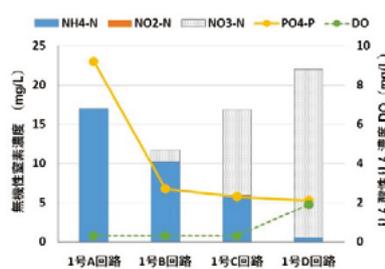


図15 1号槽の処理状況

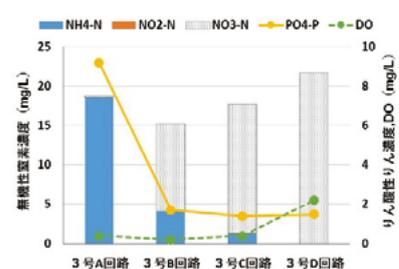


図16 3号槽の処理状況

5.2 りん処理性能

調査期間中の運転データを表 3、A 回路上流部の PO₄-P 濃度の推移を図 17、D 回路末端の PO₄-P 濃度の推移を図 18 に示す。制限曝気無しの 1 号槽は、制限曝気有りの 3 号槽と比べて A 回路上流部での PO₄-P の吐出しが少なく、D 回路末端の PO₄-P 濃度が高くなっていた。今後は 1 号槽も制限曝気とし、りん処理性能の向上を図っていく。

表 3 運転データ(りん処理性能)

号数	1号槽	3号槽
流入水量 (m ³ /h)	760	570
返送汚泥量 (m ³ /h)	440	440
送風量 (Nm ³ /h)	AB回路	1,900
	CD回路	2,560
送風倍率 (Nm ³ /m ³)	5.9	16.8
MLSS (mg/L)	1,870	1,780

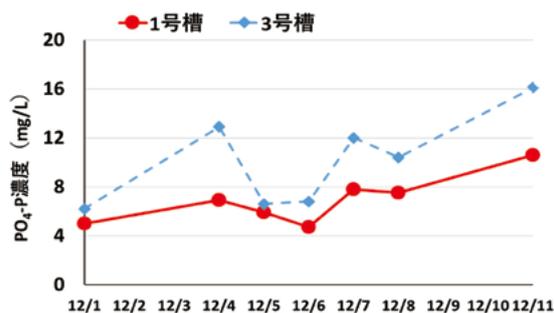


図 17 A 回路上流部の PO₄-P 濃度の推移

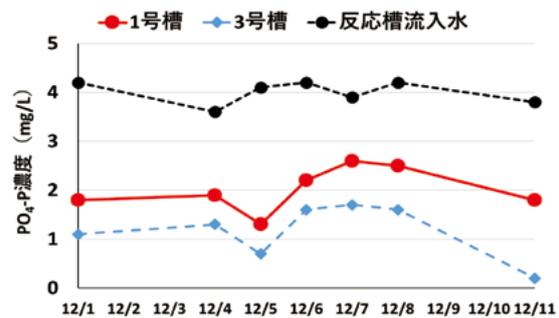


図 18 D 回路末端の PO₄-P 濃度の推移

6 まとめ

浅槽 1 号槽散気設備更新工事における対応を実施する中で、以下の成果が得られた。

- ・反応タンク内の活性汚泥を置換する方法として、反応タンク流入水で一斉に置換した後、曝気する方法が適用可能であることがわかり、工事において一部検証した。
- ・反応タンク停止時の流出水量及びトレーサー調査から躯体の漏水箇所を特定した。
- ・有害ガス検知器により η_0 の簡易測定を行い、 η_1 が設計値 16% 以上であることを確認した。
- ・更新後の制限曝気なしの条件のままでは、制限曝気で運用している他槽と比較してりん処理性能が劣っていた。

今後は 1 号槽も制限曝気としてりん処理性能の向上を図るとともに、散気効率の良い 1 号槽の水量を増やし、エネルギー削減と水質向上の両立を目指していく。

<参考文献>

- 1) 西海ほか「散気板更新後の西系反応タンク処理性能について」, 令和 4 年度水質技術研究発表会