

## 2-2-3 砂系反応槽における窒素処理能力について

東部第一下水道事務所 砂町水再生センター  
相馬英雄、高野啓子、関一成、小山奈美、宅間洋子、太宅香織、太田早苗、野本睦志  
代田吉岳  
東京都下水道サービス株式会社  
今井英幸、後藤麻希、神田直輝、三浦奈那美、鈴木経男、田中歩、石塚健一

### 1. はじめに

砂町水再生センターは砂系、東陽Ⅰ・Ⅱ系、東陽Ⅲ系の水処理施設で構成されている。その中で砂系（処理能力 138,000m<sup>3</sup>/日）は反応槽が浅槽であり、深槽反応槽の東陽系に比べて窒素除去率が低いことが課題となっている。

砂系反応槽では窒素除去率を向上させるため、以前から水温が比較的高い時期になると、ライザー弁閉止による脱窒促進を行うなどの対策を実施している。以前より、ライザー弁の閉止箇所前後のDOを定期的に測定しているが、今回詳しくその効果を確認するため、すべてのライザー弁の箇所ごとにDO測定を行い、DOと窒素濃度の関係を調査することにした。特に、令和3年度調査では、砂系の水量が通常約1.5倍に増えた際の影響について調査することができたので、その結果について報告する。

なお、本件は東京都下水道サービス株式会社との共同調査によるものである。

### 2. 施設の概要

施設の概要を表1、平面図を図1に示す。このうち、砂系は処理能力 138,000m<sup>3</sup>/日であり、反応槽は浅槽でA～Dの4回路からなっている。散気水深は3.6mで、全面ばっ気方式を採用している。また、送風制御はA回路が風量一定制御、B回路およびCD回路はDO一定制御で運転している。通常はりん処理を重視し、A回路前段の制限ばっ気による疑似嫌気運転を行っている。

表1 砂町水再生センター 各系列の概要

|   | 砂系              | 東陽Ⅰ・Ⅱ系                 | 東陽Ⅲ系                  |
|---|-----------------|------------------------|-----------------------|
| 処理方式  | 標準法<br>(制限ばっ気法) | 標準法及び疑似AO法<br>(制限ばっ気法) | ステップA <sub>2</sub> O法 |
| 反応槽   |                 |                        |                       |
| 水深<br>(m)   | 4.2 (浅槽)        | 9.9 (深槽)               | 10.0 (深槽)             |
| 容量<br>(m <sup>3</sup> )                                       | 36,280          | 122,880                | 57,140                |
| 処理能力<br>(m <sup>3</sup> /日)                                   | 138,000         | 400,000                | 120,000               |
| 処理水量 <sup>※</sup><br>(m <sup>3</sup> /日)                      | 93,390          | 224,820                | 110,670               |
| 反応槽滞留時間 <sup>※</sup><br>(時)                                   | 9.3             | 11.8                   | 12.4                  |
| 送風倍率(水質) <sup>※</sup><br>(m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> ・日) | 6.2             | 5.6                    | 2.5                   |

※令和元年度 水質試験年報より

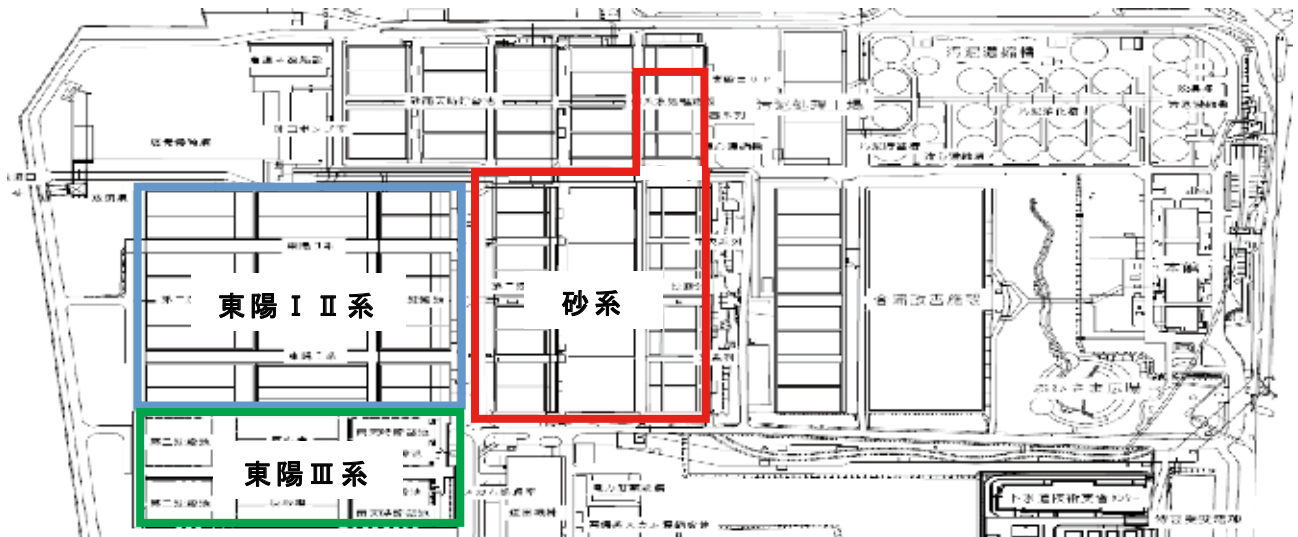


図1 砂町水再生センター 平面図

### 3. 窒素処理の現状

過去12年間の処理水全窒素の推移を図2に示す。過去12年間でみると、砂系は東陽系より処理水の全窒素濃度が約3 mg/L高い状態が続いている（グラフの東陽系は東陽Ⅲ系を含む）。このような背景から、以前から砂系において窒素削減の対策を行っており、窒素除去率を高めるため、反応槽流入量は処理能力の約7割で固定し、返送汚泥率も東陽系より高めに設定して運転している（砂系65%、東陽Ⅰ・Ⅱ系33%、東陽Ⅲ系50%）。当初は処理水全窒素が低下傾向を見せるなど効果を上げていたが、ここ数年は全窒素の値が横ばいになっている。要因として、砂系は浅槽反応槽で全面ばっ気を採用しているため好気槽内脱窒が起こりにくく、深槽反応槽で片側旋回流を採用している東陽系より窒素除去能力が低いと考えられる。

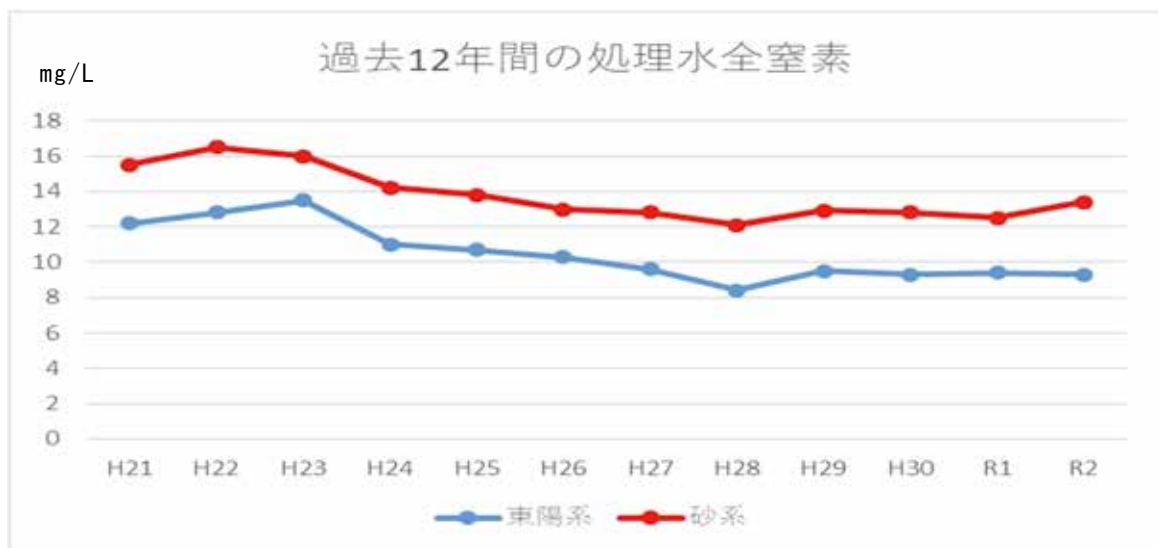


図2 過去12年間の処理水全窒素

## 4. 調査の概要

### 4.1 送風条件

砂系反応槽の模式図を図3に示す。ライザー弁は反応槽各回路に10か所（A～D回路で計40か所）存在している。

過去の脱窒促進調査によりB回路の一部とC回路の一部を絞ることにより、脱窒が促進されることが確認されている<sup>1)</sup>。

令和2年度は第1四半期から第3四半期の高水温期において、内生脱窒による窒素除去を促進させるため、B回路折り返し部（B5、B6）とC回路入口部（C1）のライザー弁を閉止した（図3）。

令和3年度も高水温期に入り水温が20℃を超えた5月からライザー弁の閉止を開始した。前年度との違いとして、反応槽中段のA-HRTを長くして硝化を促進させるため、C回路のライザー弁閉止箇所をC回路入口部（C1）から折り返し部（C5、C6）に変更した（図4）。

なお、水温が低下すると硝化速度が低下しアンモニア性窒素が残存するため、低水温期にはライザー弁を開け、アンモニア性窒素の増加を抑制している。

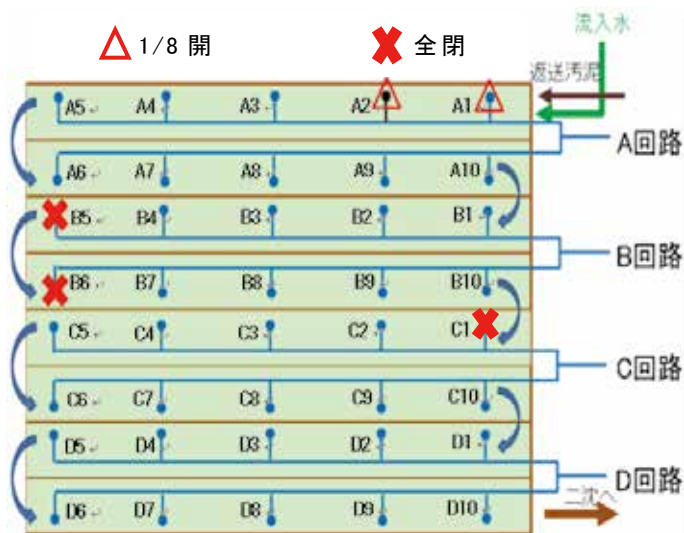


図3 ライザー弁閉止箇所（令和2年度）

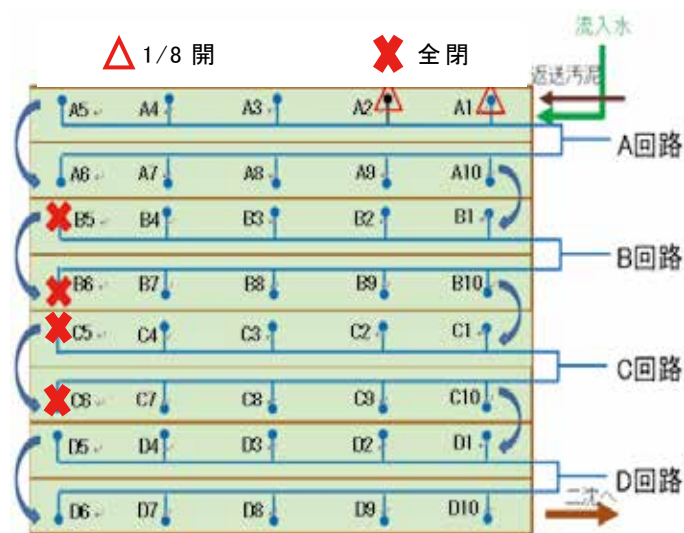


図4 ライザー弁閉止箇所（令和3年度）

### 4.2 調査時期

各調査日のデータを表2に示す。令和2年度調査ではライザー弁閉止時に2回およびライザー弁開放時に2回、令和3年度調査ではライザー弁閉止時に1回の計5回実施した。

砂系は通常、水処理の安定化を図るため、4,000 m<sup>3</sup>/時（96,000m<sup>3</sup>/日に相当）に水量を固定して運転を行っているが、令和3年7月14日に東陽Ⅱ系導水管の破損により一時的に東陽Ⅱ系の水処理が停止したため、砂系も含めた他の系列の処理水量を増加して対応することになった。それにより、令和3年度調査（5回目）は砂系の処理水量が令和2年度調査時（1回目～4回目）に比べて約1.5倍（6,000m<sup>3</sup>/時（144,000m<sup>3</sup>/日に相当））になっ

|                            | 1回目         | 2回目        | 3回目       | 4回目        | 5回目      |       |
|----------------------------|-------------|------------|-----------|------------|----------|-------|
| 調査日                        | 2020/10/14  | 2020/10/21 | 2020/12/4 | 2020/12/24 | 2021/8/5 |       |
| B回路・C回路ライザー弁閉止             | あり          | あり         | なし        | なし         | あり       |       |
| 窒素測定                       | なし          | あり         | なし        | なし         | あり       |       |
| 反応槽流入量 (m <sup>3</sup> /h) | 4,000       | 4,000      | 4,000     | 4,000      | 6,000    |       |
| 返送率 (%)                    | 68          | 68         | 63        | 65         | 49       |       |
| 送風量 (Nm <sup>3</sup> /h)   | A回路         | 800        | 800       | 800        | 840      |       |
|                            | B回路         | 1,000      | 1,800     | 2,500      | 3,200    | 2,300 |
|                            | C回路         | 600        | 700       | 1,100      | 1,000    | 1,500 |
|                            | D回路         | 400        | 600       | 950        | 1,000    | 1,400 |
| DO (mg/L)                  | B回路出口 (B10) | 2.0        | 1.3       | 1.8        | 3.2      | 0.9   |
|                            | D回路出口 (D10) | 5.5        | 4.1       | 2.8        | 2.7      | 3.3   |
| MLSS (mg/L)                | D回路出口 (D10) | 910        | 1270      | 1620       | 1810     | 1450  |

表2 調査日の各種データ

た。これは砂系の処理能力（138,000m<sup>3</sup>/日）を超えるなど、使用条件が大幅に異なることから、当初計画していたライザー弁閉止箇所の違いのみによる効果は評価できなかった。

## 4.2 調査方法

### 4.2.1 DO測定

DO測定はすべての調査日で実施し、砂系反応槽3号の各回路10か所（計40か所）でDO測定を行った。なお、DO測定には投げ込み式DO計を用いた。ライザー弁直近の点検口からDOセンサーを反応槽内に入れ、DO値が安定したところで値を記録した。測定箇所を図5に示す。

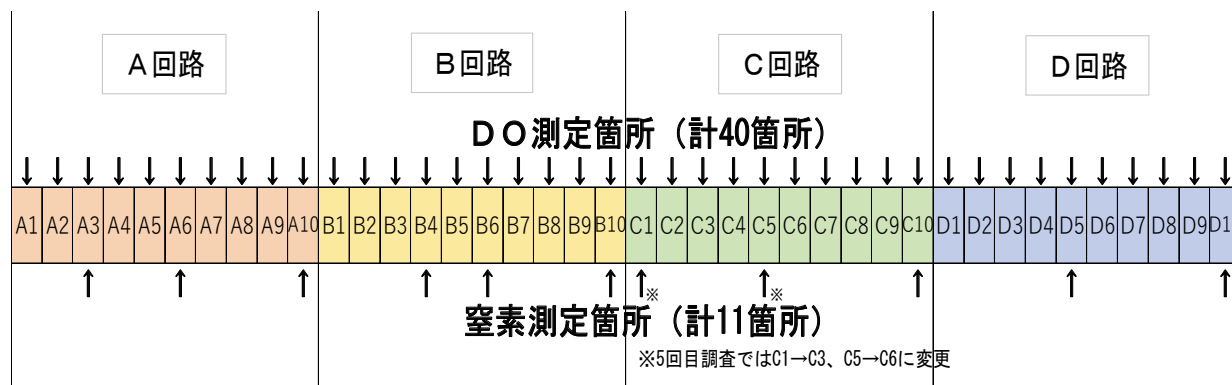


図5 砂系反応槽3号の測定箇所

### 4.2.2 窒素測定

窒素測定は2回目と5回目の調査日で実施した。砂系反応槽3号の各回路2～3か所（計11か所）において反応槽混合液を採水し、ろ液のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を測定した。なお、アンモニア性窒素の測定にはアンモニア計（セントラル科学製AT-2000）、亜硝酸性窒素と硝酸性窒素の測定には簡易型測定器（メルク社製RQフレックス10）を用いた。測定箇所を図5に示す。

## 4.3 結果と考察

### 4.3.1 DO測定

結果を図6に示す。

令和2年度調査において、ライザー弁閉止あり（1回目・2回目）とライザー弁閉止なし（3回目・4回目）で比較すると、ライザー弁閉止箇所（B5・B6、C1）のDOは、ライザー弁閉止の有無によりDO値に明らかに差が見られた（B5・B6は0.5mg/L以下、C1は1～2mg/L）。処理水量が同じ場合には、ライザー弁閉止によるDO低下効果を確認することができた。

次に、処理水量が異なる場合においてライザー弁閉止を比較すると、処理水量が通常するとき（1回目・2回目）と処理水量が多いとき（5回目）では、C回路のライザー弁閉止箇所が異なるものの、どちらもライザー弁閉止箇所ではDOが低下していた。5回目調査日は砂系の処理水量が通常（6,000m<sup>3</sup>/h）であったが、ライザー弁閉止によるDO低下効果を確認することができた。

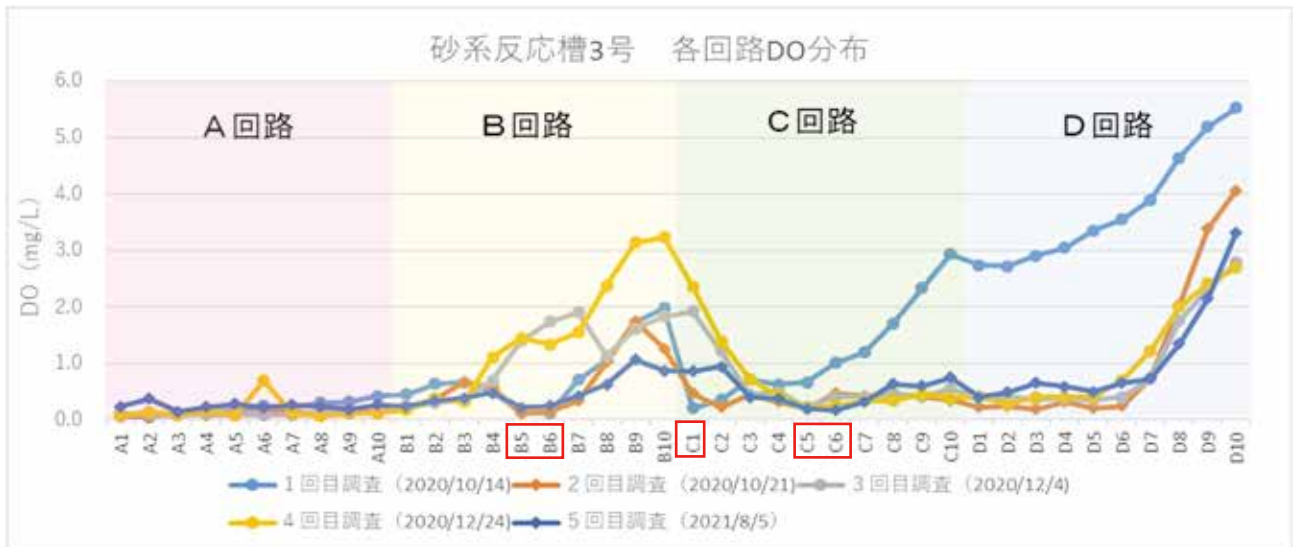


図6 砂系反応槽3号 各回路のDO分布

#### 4.3.2 窒素測定

結果を図7、図8に示す。

令和2年度（2回目）調査では、B回路の前半から硝酸性窒素が検出し始め、順調に硝化が進んでいた。B回路のライザー弁閉止箇所前後（B4とB6の間）では窒素の減少は見られなかったが、C回路のライザー弁閉止箇所前後（B10とC1の間）では窒素が減少しており、C回路のライザー弁については効果を確認することができた。

一方、令和3年度（5回目）調査では、A回路からアンモニア性窒素だけが減り続け、B回路の後半になってようやく硝酸性窒素が検出し始める傾向を示した。その後、C回路の終わりになってもアンモニア性窒素が無機性窒素の約半分を占めており、D回路の終わりになってようやくアンモニア性窒素がほぼゼロになった。ライザー弁閉止箇所（B5・B6、C5・C6）ではB回路付近の窒素の減少がやや確認できたが、全体的にみるとライザー弁閉止箇所以外での窒素の減少が見られた。要因として、硝化と脱窒が同時に進行する現象が起きていた可能性が考えられるが、今後検証により確認していきたい。

窒素除去率で2回目と5回目を比較すると、5回目の方が除去率が高い結果となった（2回目 31.6%、5回目 64.4%）。5回目では砂系の処理水量が増加したため、窒素処理が悪化



図7 砂系反応槽3号 各回路の窒素  
2回目調査（令和2年10月21日）



図8 砂系反応槽3号 各回路の窒素  
5回目調査（令和3年8月5日）

すると考えていたが、逆の結果となった。調査時期における水温の違い、調査前月の降雨量の違い等が影響したものとするが、これについてもさらなる検証が必要である。

## 5. 令和3年度の実際の処理水質

令和3年度上半期における東陽系（東陽Ⅲ系を含む）と砂系の処理水全窒素の推移を図9に示す。5/17に砂系でB回路のライザー弁を閉止したところ、砂系の全窒素は期間中の平均で約1.3 mg/L減少した。しかし、同じ期間中に東陽系でも全窒素が約1.2 mg/L減少しており、東陽系と比較すると窒素減少量にあまり違いは見られなかった。ライザー弁閉止の効果により東陽系並みの窒素濃度になったのか、単純に気温上昇や降雨量の増加によるものかを解明するためには、今後も継続した調査が必要であるとする。

その後、7/7にC回路のライザー弁を閉止したものの、7/14に東陽Ⅱ系導水管が破損し、各系列の処理水量が増加したことにより、砂系・東陽系ともに一時的に全窒素が上昇した。しかし8月前には元の水準に戻り、年末までその状態を維持した。結果として、砂系・東陽系ともに水量増による大きな影響は見られなかった。



図9 東陽系と砂系の処理水全窒素の推移  
(令和3年4月～9月)

## 6. まとめ

- 令和2年度は4回、令和3年度は1回、砂系反応槽各回路でライザー弁閉止効果の確認調査を実施した。
- ライザー弁閉止箇所において、DOが低下していることを確認した。
- 反応槽混合液の窒素測定を行ったところ、ライザー弁閉止箇所では窒素が減少しており、対策の効果を確認することができた。
- 砂系において、水量増による窒素処理能力の低下は一時的に見られたものの、しばらくすると元の水準に戻ることを確認した。今回の調査は高水温期に実施したものであることから、低水温期においても同様の現象が見られるのか確認する必要がある。
- 令和4年度も引き続き調査を実施し、硝化と脱窒の関係性や水温の影響等について検証を行う予定である。

## 7. 参考文献

- 1) 足立悠介ほか：浅槽式反応槽での制限ばっ気による好気槽内脱窒の促進：東京都下水道局水質技術研究発表会論文（2017）