

## 連続流入間欠ばっ気活性汚泥方式の農業集落排水施設の BOD 除去性能と運転操作因子 Study on BOD Removal and Plant Operation Consideration in Rural Sewerage Facilities with Intermittent Aerobic Suspended-Growth Processes

○李雨桐\*, 阿部真己\*\*, 山岡 賢\*\*\*, 中野拓治\*\*\*\*  
LI Yutong\*, ABE Masami\*\*, YAMAOKA Masaru\*\*\*, NAKANO Takuji\*\*\*\*

### 1. はじめに

農業集落排水施設は、1973年に農村総合整備モデル事業の一工種として整備が始められて以来、2015年度までに5,356地区の農業集落排水施設が供用を開始しており、既存施設の維持管理が大きな課題となっている。その一方で、農業集落排水施設についても、環境問題への意識の高まりに加えて、閉鎖性水域での富栄養化防止対策や上乘せ規制の強化等から、高度な水質をより経済的に確保することが求められている。本研究では、このような背景を踏まえ、農業集落排水施設の適切な運転管理手法の確立に寄与するため、連続流入間欠ばっ気活性汚泥方式（日本農業集落排水協会XIV型システム）の農業集落排水施設の運転操作因子とBOD除去性能について検討したので、概要を報告する。

### 2. 研究方法

本研究では、(社)日本農業集落排水協会(現・(社)地域環境資源センター)によって調査された施設を含めて稼働中の7施設を検討に用いた。調査は、流量調整槽流出水と沈殿槽流出水を採水してJIS K 0102 工場排水試験法と下水道試験法に基づき、ばっ気槽流入水と沈殿槽流出水について、BOD、ATU-BOD、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、及びNO<sub>3</sub>-Nの水質項目を測定するとともに、ばっ気槽内の水温、MLSS、DO、及びORPに関してもDO計(YSI ProODO 蛍光式携帯型溶存酸素計)とORP計(YSI Pro1020 蛍光式携帯型酸化還元電位計)を用いて観測した。N-BODについては、測定されたBOD濃度からATU-BOD濃度の測定値を差し引いて求めた。ばっ気槽内の1処理サイクル運転工程中におけるDOとORPを1分毎に観測するとともに、ばっ気槽内の活性汚泥の性状を把握するため、活性汚泥をサンプリングして粘度計(音叉型振動式粘度計SV-A)を用いて粘度を測定した。さらに、実測データの重解析分析等の統計処理には、統計解析アドインソフトエクセル統計2015を使用した。

### 3. 結果と考察

#### (1) BOD除去特性と影響因子

ばっ気槽流入水と沈殿槽流出水の非超過確率75%値に相当するBODとして、それぞれ185.4mg・L<sup>-1</sup>、6.7mg・L<sup>-1</sup>が得られ、非超過確率75%値に相当するBOD除去率は96.4%(管理諸元:90%以上)である一方で、沈殿槽流出水のBODは0.6~55.9mg・L<sup>-1</sup>の広い範囲(平均値:5.8mg・L<sup>-1</sup>)に分布している。ばっ気槽流入水BODは、33.6~390.0mg・L<sup>-1</sup>の範囲(平均値:148.4mg・L<sup>-1</sup>)に分布しているが、沈殿槽流出水BODの無次元化濃度の範囲と標準偏差は、ばっ気槽流入水に比べて大きい値となっており、沈殿槽流出水BODはばっ気槽流入水のBOD濃度分布と比較してバラツキが大きいことが確認された。また、BOD除去性能には、流入負荷条件(ばっ気槽流入水BOD濃度、BOD容積負荷、BOD-MLSS負荷)が関与しているものの、低負荷条件下の運転管理においては、流入負荷条件以外の運転操作因子が除去性能に大きい影響を与えているもことを確認できた。流入負荷条件以外の運転操作因子としては、ばっ気槽の水理的滞留時間、活性汚泥微生物量(MLSS)、ばっ気空気量がBOD除去性能に大きく関与していることが確認された。

#### (2) ばっ気槽のORP管理操作とBOD除去性能

沈殿槽流出水中のATU-BODにN-BODが加わって処理水のBOD濃度の値を高めることで、BOD除去速度恒数に関与していることが確認された。処理水中のN-BODについて、沈殿槽流出水の平均濃度である2.5mg・L<sup>-1</sup>以下の濃度水準とするためには、ばっ気槽1室では、ばっ気終了時のORPを100mV以上に維持するとともに、ばっ気槽2室と3室では、ばっ気終了時のORPを50mV以上にすることが必要である。沈

\*鹿児島大学大学院連合農学研究科 United Graduate School of Agricultural Science Kagoshima University, \*\*いであ株式会社 IDEA Consultants, Inc., \*\*\* 農研機構 NARO, \*\*\*\*琉球大学農学部 Faculty of Agriculture University of The Ryukyus  
キーワード: 農業集落排水, BOD除去性能, ばっ気槽, DO-ORP管理操作因子, 運転効率化

殿槽流出水中の ATU-BOD は、ばっ気槽 1 室から 3 室のいずれも、ばっ気終了時の ORP の上昇に対応して低下しており、ORP が -50mV 以上の領域では ATU-BOD は  $3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下を示している。ばっ気槽内がばっ気工程時に酸化状態にある場合には ATU-BOD の低下が図られており、沈殿槽流出水の ATU-BOD を平均濃度である  $3.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下の濃度水準とするためには、ばっ気槽 1 室から 3 室のいずれも、攪拌終了時の ORP 値を -50mV に維持することが必要であるといえる。BOD 除去性能には、ばっ気・攪拌工程でのばっ気槽内の ORP が大きく関与しており、安定した除去性能を確保するためには、ばっ気終了時は酸化状態（ばっ気槽 1 室において ORP 値で 100~125mV）に、また、攪拌終了時には着実に還元状態（ばっ気槽 1 室において ORP 値で -50~-100mV の範囲）となるような運転操作条件を設定することが重要であるといえる。

### (3) BOD 除去性能確保とばっ気槽の DO 管理

ばっ気槽の ORP と DO の関係を検討したところ、両者の間にはバラツキは認められるものの、正の相関（相関係数：0.72）が存在しており、次式が求められる。

$$E_{\text{ha}} = 73.2 + 40.6\ln(\text{Oxa}) \quad (1)$$

ここで、 $E_{\text{ha}}$ ：ばっ気終了時 ORP(mV) ,  $\text{Oxa}$ ：ばっ気終了時 DO( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

(1) 式を変形すると、ばっ気槽の ORP 値に対応する DO を求める (2) 式が導かれる。

$$\text{Oxa} = e^{(E_{\text{ha}} - 73.2)/40.6} \quad (2)$$

(2) 式を用いて、BOD 除去性能を確保するために必要なばっ気終了時の DO 値を算定したところ、ばっ気槽 1 室においては 100 ~ 125 mV の ORP に対応する DO として 1.9 ~ 3.6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、2 室では 50 ~ 85 mV の ORP に対応して 1.9 ~ 3.6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  の DO 値が得られる。

1 サイクルばっ気空気量とばっ気終了時 DO の間には正の相関（相関係数：0.66）は存在するものの、調査施設によって 1 サイクルばっ気空気量に対応するばっ気終了時 DO 値には大きな差異が認められる (Fig.14)。調査施設毎の 1 サイクルばっ気空気量とばっ気終了時 DO の相関係数は、A1 施設を除く 6 施設で調査施設全体の相関係数値に比べて高い値が得られており、1 サイクルばっ気空気量とばっ気終了時 DO に関して、調査施設によってその応答動態に違いを生じさせているものと考えられる。調査施設のばっ気装置には、4 タイプ（水中機械式、全面ばっ気式、片側旋回流式、及び微細気噴射式）の散気方式が採用されており、ばっ気槽のエアレーション方法が異なっている。ばっ気槽のエアレーション方法の違いが 1 サイクルばっ気空気量とばっ気終了時 DO の応答動態に影響しているものと推察される。ばっ気終了時 DO は、ばっ気強度が  $0.02\text{m}^3\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$  以下の低いばっ気強度条件ではばっ気時間を増やしても上昇していない一方、ばっ気強度が  $0.02\text{m}^3\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$  以上の領域では、ばっ気時間の増加に伴って高い値のばっ気終了時 DO が得られることが確認された。ばっ気終了時 DO には、ばっ気槽のエアレーション方法とばっ気強度が大きく関与しており、ばっ気装置のタイプに対応して、ばっ気強度とばっ気時間を適切に設定することで必要な BOD 除去性能の確保を図ることが分かった。

### (4) 運転効率化に向けた試み

ばっ気槽のプロウ運転に要する消費電力の節減を図るため、ばっ気槽内がばっ気攪拌終了時は酸化状態に、また、停止運転終了時には還元状態となるような運転調整を通じて、ばっ気装置のタイプに対応した間欠ばっ気条件（ばっ気攪拌・攪拌・停止運転時間とばっ気強度）の設定を試みた。ばっ気槽内 MLSS 濃度・水理学的滞留時間を設計・管理諸元に近い値での運転管理を通じて、ばっ気槽 BOD 除去性能を確保することができた。BOD 除去速度恒数は槽内水温の上昇に伴って高くなる傾向を示すとともに、BOD 除去速度恒数と流入水 BOD 濃度の間には正の相関が存在しており、BOD 除去速度恒数は流入水 BOD 濃度の上昇に対応して高い値が得られることが確認された。このような運転管理条件の設定を通じて、実証試験施設において必要な BOD 除去性能（BOD 除去率 90%以上）を確保しつつ、3 割程度の電力使用量の低減を図ることができた。

## 4. まとめ

連連続流入間欠ばっ気活性汚泥方式の BOD 除去性能の安定を図るためには、流入水の水温と流入負荷に応じて水理学的滞留時間を確保するとともに、ばっ気槽内の MLSS 濃度とばっ気空気量を適切に設定することの重要性が示唆された。

謝辞：本研究を行うに際して、和歌山県上富田町、沖縄県宜野座村及び金武町の上下水道課の皆様には、多大のご協力を得た。また、本研究の一部は、文部科学省研究費（基盤研究 (C)、課題番号 16K07946）の補助を受けた。記して感謝の意を示します。