

農業集落排水施設における水量負荷特性の把握と運転効率化への試み

Study on Characteristics of Inflow Rate of Wastewater and Plant Operation Management Efficiency of Rural Sewerage Facilities

○李雨桐*, 阿部真己**, 畑恭子**, 山岡 賢***, 中野拓治****

LI Yutong*, ABE Masami**, HATA Kyoko**, 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、施設の新規整備と併せて、既存施設の維持管理や更新期を迎えた施設の改築が大きな課題となっている。一方、農業集落排水施設の円滑な維持管理の実施や円滑な改築に当たっては、供用施設や改築対象施設における水量負荷の実態とその変動特性を適切に把握するとともに、環境問題への意識の高まりに加えて、設置主体である地方自治体の財政状況等から、所期の処理性能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、稼働中の農業集落排水施設から得られた実測データ等を用いて、流入水量負荷の水量負荷の実態把握と負荷変動への影響要因について考察するとともに、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型方式、以下、XIV型方式という）のBOD除去性能の影響因子と運転効率化に向けた運転管理方法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R7~R20施設を含めて稼働中の20施設を選定して、1年間の日流入水量と時間流入水量の実測データを用いた。調査施設の日降水量、日水道使用量(月別)、及び供用人口(月別)に関しては、農業集落排水施設設置市町の所有する記録データを使用した。また、XIV型方式を採用している5施設(和歌山県上富田町I施設とB施設、沖縄県宜野座村O施設とS施設、及び沖縄県金武町A施設)において、JIS K 0102工場排水試験法と下水道試験法に従い、ばっ気槽流入水と沈殿槽流出水の有機物(BOD, ATU-BOD)と窒素(T-N, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N)の水質項目を測定するとともに、ばっ気槽内のMLSS, 水温, ばっ気強度, ばっ気時間についても観測した。さらに、重解析分析には、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) 水量負荷量の特徴と設計諸元との比較

農業集落排水施設における一人当たり日流入水量は、87.8~813.7L・人⁻¹・d⁻¹(平均値:261.1L・人⁻¹・d⁻¹)の広い範囲に分布している。また、一人当たり日流入水量は、対数正規分布に従うとともに、非超過確率75%に対応する一人当たり日平均水量として、298.8L・人⁻¹・d⁻¹の値が得られており、計画日最大水量(300L・人⁻¹・d⁻¹)に近似している。調査施設毎の日平均水量に係る母平均の区間推定値の上限値は、計画日最大水量と同程度の値であり、計画日平均水量(270L・人⁻¹・d⁻¹)に比較して1割程度大きいことが確認された。また、一人当たり時間流入水量は極大値と極小値がそれぞれ2回生じるような日周変動を示しており、1.2~36.7L・人⁻¹・h⁻¹(平均値:10.9L・人⁻¹・h⁻¹)の広い範囲にまたがっている。一人当たり時間最大水量は対数正規分布に従うとともに、非超過確率75%に対応する水量として、25.7L・人⁻¹・h⁻¹の値が得られており、計画諸元値(32.5L・人⁻¹・h⁻¹)の概ね8割となっている。さらに、ピーク係数に係る75%非超過確率値は計画諸元値の概ね9割の2.4であることが確認された。

*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, 水量負荷量, 変動要因, BOD 除去性能, 運転効率化

(2) 水量負荷量の変動要因

調査施設の立地・土地利用条件から、調査施設はタイプⅠ（土地利用が水田主体であり、河川沿い・沢又は大河川流域等で低平地エリアに設置）、タイプⅡ（土地利用が水田と畑が混在しており、河川沿い又は平地・平野エリアに設置）、タイプⅢ（土地利用が畑・果樹主体であり、中山間エリア、海岸沿いエリア、傾斜地中心集落エリア等に設置）の3タイプに大別できる。立地・土地利用条件別に日水道水量と月別日平均降水量を説明変数に選択し、重回帰分析（加法式）による月別一人当たり日流入水量（以下、日流入水量という）の定式化を試みたところ、タイプ別に次式が得られた。

$$\text{タイプⅠ} \quad Yd = 1.29Xd1 + 1.32Xd2 + 38.8 \quad (1)$$

$$\text{タイプⅡ} \quad Yd = 1.03Xd1 + 0.08Xd2 + 26.5 \quad (2)$$

$$\text{タイプⅢ} \quad Yd = 0.78Xd1 + 0.29Xd2 + 49.8 \quad (3)$$

ここで、 Yd ：日流入水量 ($L \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)、 $Xd1$ ：日水道水量 ($L \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)、 $Xd2$ ：月別日平均降水量 (mm)。

このときの自由度調整済重相関係数はそれぞれ 0.951, 0.956, 0.937 であり、日流入水量の実測値と計算値はよく一致しており、日流入水量に関しては農業集落排水施設が設置されている立地・土地利用条件を踏まえて、水道使用量と日降水量から一定程度の精度で推定できることが示唆された。

また、時間水量日変動幅について、処理区規模指標、処理施設流入条件指標、及び社会生活活動指標として管路延長、供用率、流入人口比率を説明変数に選択し、重回帰分析による定式化を試みた。重回帰式には加法式と乗法式を用いて次式を求めた。

$$Yha = -0.81Xh1 - 0.07Xh2 - 0.25Xh3 + 38.8 \quad (4)$$

$$Yha = 88.52Xh1^{-0.22} \cdot Xh2^{-0.12} \cdot Xh3^{-0.20} \quad (5)$$

ここで、 Yha ：時間水量日変動幅 ($L \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)、 $Xh1$ ：管路延長 (km)、 $Xh2$ ：供用率 (%)、 $Xh3$ ：流入人口比率 (%)。

このときの自由度調整済重相関係数はそれぞれ 0.946, 0.904 であり、時間水量日変動幅に係る実測値と計算値はよく一致しており、流入水量の日間変動については一定の精度をもって推定できるものと考えられる。

(3) BOD 除去性能の影響因子と運転効率化に向けた試み

XIV型方式の5施設における流入水の水温と流入負荷に応じて、生物反応槽（ばっ気槽）の電力使用量の低減が図れるような運転管理条件（ばっ気槽内の MLSS 濃度、ばっ気攪拌時間・攪拌時間、ばっ気強度等）について検討した。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、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、2~3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

農業集落排水施設の流入水量には、立地・土地利用条件、水道水量、降水量、管路延長、供用率、流入人口比率が関与していることが確認された。また、連続流入間欠ばっ気活性污泥方式の 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。