

排水処理におけるファインバブル活用効果の可能性に関する研究

日大生産工(院) ○李 澤君 水野 翔太
日大生産工 亀井 真之介 下村 修一 松本 真和 高橋 岩仁

1. はじめに

ファインバブルは直径100 μm 未満の気泡と定義され、微細化された気泡は浮上速度が極めて遅く、液相中に長時間滞留する性質を有する¹⁾。この特性を活かし、洗浄、農業、水処理、医療など幅広い産業分野での応用が進んでいく²⁾。下水道分野においても、排水処理や汚泥減量化に関する基礎研究が行われており、難処理排水への適用可能性も検討されている。

一方、日本には約2,200ヶ所の下水処理場が存在し（令和4年度末現在）、その多くが活性汚泥法を基盤とした処理方式を採用している³⁾。活性汚泥法は有機物除去に優れ、物理・化学的処理に比べ環境負荷やコストが低いといった利点がある反面、曝気に多大なエネルギーを要し、供給エアーの多くが有効に利用されないまま大気中に放散されるという課題がある。また、油分や高塩分を含む難処理排水の流入による処理性能の低下や、余剰汚泥の発生増加も問題となっている。特に曝気工程は下水処理全体のエネルギー消費の半分以上を占めるため、省エネルギー化は喫緊の課題といえる。

ファインバブルの導入により、酸素溶解効率の向上および水中滞留時間の延長が期待され、少ないエネルギーで効率的な酸素供給が可能となる。また、油分や高塩分を含む難処理排水に対する処理効果も考えられる。例えば、油分については、界面特性により油滴が微細分散し、微生物の接触効果が高まることで分解の促進が期待され、塩分含有排水では、浸透圧ストレスの緩和により、微生物の代謝活動が維持される可能性がある。さらに、ファインバブルによる酸素供給効率の向上と有機物の酸化分解の促進により、微生物の過剰増殖の抑制が図られることから、余剰汚泥の削減に寄与することが期待される。

本研究では、これらのファインバブルの効果のうち、これまで省エネルギー化と処理効率の改善を検討し、一定の効果を確認した⁴⁾。今回は、塩分含有排水処理への適応性に着目し、従来の曝気方法とファインバブル曝気を実験的に比較検討した。



図-1 ファインバブル装置

表-1 蒸留水1L当たりの人工基質の組成
(COD値 12000mg/L)

成分	
グルコース (g)	15.78
酢酸アンモニウム (g)	13.44
ポリペプトン (g)	6.66
栄養塩類 (ABCD 溶液)	10ml

表-2 実験条件

Case1	Case2	Case3
塩分添加なし 従来曝気法	塩分添加 3.0% 通常曝気法	塩分添加 3.0% ファインバブルによる 前処理

2. 実験条件および方法

活性汚泥は、N市浄化センターから採取した返送汚泥（初期MLSS濃度3,500mg/L）を使用した。図-1に今回使用した剪断式ファインバブル発生装置を示す。実験槽には、アクリル製矩形容器（25 cm×30 cm×40 cm）を用いた。

表-1に人工基質（BOD濃度：12,000mg/L）の組成を示す。これを活性汚泥の入った槽内に

Study on the Potential Effects of Fine Bubble Utilization in Wastewater Treatment

Zejun LI, Shouta MIZUNO, Shinnosuke KAMEI,
Shuichi SHIMOMURA, Masakazu MATSUMOTO and Iwahito TAKAHASHI

投入し、槽内の実験初期濃度200mg/Lになるよう調整して用いた。

表-2に今回検討した実験条件を示す。Case1は、塩分を添加せず、従来の曝気方法（以下、従来曝気法）により処理を行った。Case2は、人工基質に人工海水粉末（Aquarium Systems社）を添加して槽内全体で塩分濃度3.0%になるよう調整し、従来曝気法により処理を行った。Case3は、前処理として、人工基質を400mg/Lに希釈し、これに塩分6.0%を添加したうえで30分間ファインバブルを行い、その後、同量の活性汚泥と混合して従来曝気法による処理を行った。なお、従来曝気法は、小型エアーポンプ（安永社製：AP-40P40）を用い、内径4mmのシリコンチューブを介して直径13cmのエアーストーンに接続し、流量を0.36L/minに設定した。

実験は回分式で行い、曝気時間は90分とした。測定項目はCOD_{Mn}とし、30分ごとに汚泥を沈降させ、上澄み液を採取して分析を行った。

3. 実験結果および考察

図-2に各CaseにおけるCOD_{Mn}の経時変化を示す。いずれのCaseにおいても、曝気開始から60分まではCOD_{Mn}が減少し、有機物除去が確認された。しかし、塩分を添加したCase2, 3は60分後にやや処理能力が低下し、90分後には、COD_{Mn}の上昇傾向が見られた。これは、塩分添加が活性汚泥の処理能力に影響を及ぼしたと考えられる。

Caseごとに確認すると、Case1では、曝気60分で79.1%，90分で73.8%の除去率を示し、最も高い除去性能が得られた。これは、塩分による微生物活性への阻害がなく、活性汚泥の処理能力が十分に発揮されたためといえる。

Case2では、曝気60分で67.8%，90分で44.5%と、除去率が大きく低下した。この要因は、塩分による浸透圧ストレスにより、微生物活性が抑制され、有機物分解が進まなかったと考えられる。また、90分以降の顕著なCOD_{Mn}上昇は、微生物の代謝低下や溶出の影響が強く現れた可能性がある。

Case3では、曝気60分で74.49%，90分で45.75%と、Case 2と比較して60分時点6.7%，90分時点1.3%の改善が見られた。これはファインバブルによる酸素溶解効率の向上と滞留時間の延長が、塩分による微生物活性の低下をある程度緩和したためと考えられる。しかし、90分時点では除去率の差が縮小しており、前処理として人工基質にファインバブルで曝気

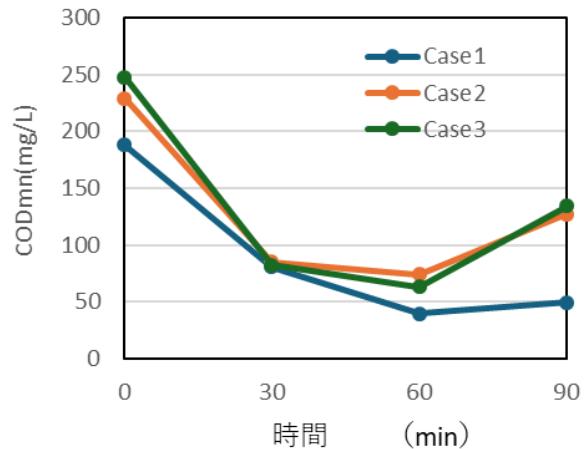


図-2 COD_{Mn}の経時変化

する効果は、曝気初期に限定的であることが示唆された。

以上より、ファインバブルは高塩分環境下でも有機物除去性能を一定程度改善できる可能性が示されたものの、前処理としての適用のみでは、塩分の影響を十分に抑制することは困難であると考えられる。今後は、曝気方法や発生条件の最適化により、長時間にわたる処理性能の維持を検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、高塩分環境下におけるファインバブル曝気の効果を検討した。通常曝気と比べて効果は限定的であったものの、有機物除去率が向上し、塩分による阻害を一定程度緩和できることが示唆された。

今後は、ファインバブルの効果を持続させる条件の検討や、塩分との関係性、菌叢の変化、連続流入条件下での評価を行い、実運用への適用性向上を目指す。

参考文献

- 1) 九州地域知的クラスター連携事業、「ファインバブル活用事例集」, (2018) pp.1-2.
- 2) 朝日化成レポート、「加速するファインバブル技術の産業化」, 旭化成株式会社, (2021) pp.11-24.
- 3) 国土交通省, 上下水道, 下水道の維持管理 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html, (参照2025年9月29日)
- 4) 李澤君, 水野翔太, 亀井真之介, 下村修一, 松本真和, 高橋岩仁, ファインバブル技術を活用した排水処理の効率化に関する研究, 第57回日本大学生産工学部学術講演会, (2024) pp.719-720