

間欠接触酸化法に用いるスポンジ担体の酸素供給ポテンシャルの検討

Oxygen Supply Potential of Sponge Media Used for Intermittent Contact Oxidation Process

学籍番号 47-176764
氏名 藤井 元貴 (Fujii, Genki)
指導教員 佐藤 弘泰 准教授

1. 背景と目的

現在、下水処理法として最も一般的に用いられているのは、活性汚泥法である。活性汚泥法には曝気が必要不可欠であり、多くの電力を消費している。一方、近年の日本では、下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) に代表されるように、下水道事業においても革新的な技術による省エネルギー化、老朽化対策などが推進されており、日本の下水道は大量の電力消費からの転換が求められている¹⁾。

本研究室は、微生物担体であるスポンジを下水と空気を交互に接触させることで有機物を酸化的に除去する間欠接触酸化法を提案している²⁾。また、この方法を応用した下水処理技術として、松坂ら(2014)³⁾によって管路内下水浄化技術が提案された。これらの技術では、浸漬・干出を繰り返すことで担体の微生物に酸素を供給し、有機物を除去している。つまり、担体による微生物への酸素供給が処理性能に大きな影響を与えるということである。しかし、現在担体として用いられているスポンジの物性が微生物への酸素供給に与える影響についての研究は行われていない。

そこで本研究では、水位変動によってスポンジ内に流入する酸素量やスポンジ内で

消費される酸素量に関する測定方法を検討し、処理性能に影響を与えるスポンジの性能を表す指標を定義することを目標とした。また、間欠接触酸化法においてスポンジが酸素供給へ与える影響を明らかにし、処理効率の高いスポンジ担体を検討することを目指した。

2. 酸素供給モデルおよび関連指標の概要

管路内下水浄化や間欠接触酸化法の担体として用いられるスポンジ担体への酸素供給経路として、黒木ら(2016)⁴⁾は下水中の溶存酸素による供給、水が抜ける際に流入した空気による供給、水に浸かっている担体の表面に対する酸素供給などをあげており、これらの供給経路のなかで、排水に伴う空気の移流効果が支配的であるとしている。

また、実験によっても、スポンジから水が抜け、その内部に酸素を含む空気が進入することが重要であることが確認された。そこで、スポンジからの水抜けの良さおよび水抜け後のスポンジに保持される水分量をスポンジの物性として定義する。

スポンジへの酸素の流入は、スポンジから水が抜け、その内部に酸素を含む空気が進入することで起こるため、排水時にスポンジに保持されている水面までの高さを H

と定義することで、スポンジからの水抜けの良さを表した。

スポンジを水で満たし、排水させるとスポンジは水を保持する。そこで、浸漬したスポンジの排水後の保水量を測定し、スポンジの体積で割ることで求められる単位体積当たりの保水量を W_a と定義し、水抜け後のスポンジに保持される水分量を表した。

間欠接触酸素法において、水が抜けることによってスポンジの内部に流入した酸素は、酸素要求成分に供給されて始めて意味を成す。そこで、スポンジに流入した酸素のうち酸素要求成分へ供給された酸素の割合を K と定義し、供給効率の指標とした。

これらの指標によりスポンジへの酸素供給をモデル化した。排水後のスポンジが Fig. 1 の状態であるとき、スポンジ内に流入する酸素量 MO_s [mg] は式①、スポンジ内で反応可能な酸素要求分量 MO_d [mg] は式②、スポンジ内で消費される酸素量 (= 酸素要求成分に供給される酸素量) MO_c [mg] は式③により算出される。式中の A は空隙率 [%]、 CO_s は空気 1L あたりの酸素重量 [mg/L]、 CO_d は溶液に含まれる酸素要求量 [mg/L] を指す。

$$\text{式①} : MO_s = CO_s \times XY(Z - H)(A/100)(1 - W_a)K$$

$$\text{式②} : MO_d = CO_d \times XY(Z - H)(A/100)W_a$$

$$\text{式③} : MO_c = \min(MO_s, MO_d)$$

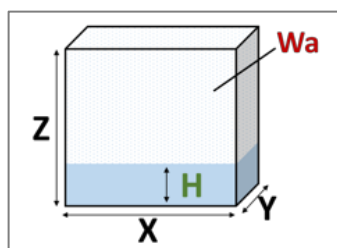


Fig. 1 排水後のスポンジ

本実験では、スポンジによる酸素要求成分への酸素供給の促進効果を検討する。なお、スポンジは実際には微生物の生息場としてもはたらき、そのために生物的な面を無視することは現実的ではないかもしれないが、本研究では簡単のため微生物がほとんど存在しない系について検討することとした。また、酸素供給性能を把握するために、コバルト触媒の存在下、亜硫酸ナトリウムが酸素と非常に速やかに反応することを利用することとした。

3. 実験目的と実験方法

《実験目的》

提案した酸素供給モデルを検証するため、スポンジからの水抜けに伴ってスポンジ内部に移流により流入した酸素が、水抜け後のスポンジ内部に残存する水分中の酸素要求成分と実際に反応する量を定量すること。

《実験方法【実験装置】》

Fig. 2 に実験装置図を示した。実験装置は反応部、測定部、シリンジ、風船からなり、密閉系になっている。反応部には $7 \times 7 \times 1 \text{ cm}^3$ のスポンジが入る。測定部上部には風船をつけ、反応部から押し出された空気を吸収し、測定部の圧力変動を緩和する。測定部には、酸素濃度計が設置されており、気相 (容積 180 mL) の酸素濃度を測定する。

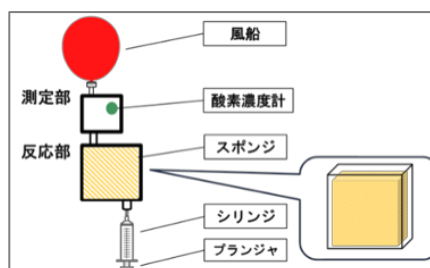


Fig. 2 実験装置図

《実験方法【実験操作】》

本実験では、積水アクアシステム株式会社製の水処理向け連続気泡ポリエチレンスポンジとアキレス株式会社製ウレタンフォーム BCD-2、BCC-7、BCA-2 を 7×7×1 cm にカットしたものを使用した。Table. 1 にそれぞれのサンプルの物性を示した。また、酸素要求成分として用いる亜硫酸ナトリウム溶液は RO 水 100 mL あたりに亜硫酸ナトリウムを 4 g と塩化コバルト(II)六水和物を 20 mg 溶解させ、作成した。

実験操作は以下のとおりである。

シリンジに溶液 50 mL とりプランジャを押し込んで反応部を溶液で満たす。

1. 測定部の酸素濃度を記録する。
2. 反応部から溶液を抜く。
3. 10 分静置し、反応部に残った溶液と酸素を反応させた。
4. プランジャを押し、再度反応部を溶液で満たした。
5. 再び測定部の酸素濃度を記録する。

操作 2 で読み取った酸素濃度を O1 [%]、操作 6 で読み取った酸素濃度を O2 [%] とすると、スポンジ内で消費された酸素量 MOc は次式で計算した。

$$(V_r + V_s) \left(\frac{O_1}{100} \right) \left(\frac{1}{VA} \right) M_w - (V_r + V_s) \left(\frac{O_2}{100} \right) \left(\frac{1}{VA} \right) M_w = MOc$$

Vr : 測定部の容積 [L]

Vs : 反応部から押し出された空気量 [L]、

VA : 25 °C における理想気体の体積 [L/mol]、





Mw : 分子量 [g/mol]

4. 結果と考察

Fig. 3 に酸素消費量の実測値と酸素供給量の理論値、K の値を示した。理論値の MOc は、目が粗いものほど値が高くなった。一方、実測値の MOc は、中目が最も高い結果となった。本実験の条件では、酸素要求量が十分であり、酸素要求量 > 流入酸素量であるため K=1 となると予想していたが、最も高い値でも中目の K ≒ 0.9 であり、細目に関しては K ≒ 0.5 であった。

この結果からスポンジ内に保持されている酸素要求成分の全てが反応可能ではないことが明らかとなった。酸素供給モデルでは、酸素要求成分がスポンジ内に均等に存在し同じ反応性を持っていると仮定していたが、実際には、均等に存在しておらず、偏在しているため、その表面でのみ酸素の消費が起こり、本来は酸素を消費する酸素要求成分まで酸素が届いていないことが推察される。

Table. 1 サンプルスポンジの物性

製品名	—	BCD-2	BCC-7	BCA-2
サンプル名	ポリエチレンスポンジ	粗目	中目	細目
写真				
空隙率 [%]	97	96	97	98
セル数 [個/25mm]	32	14	22	46
Wa [-]	0.26	0.09	0.17	0.27
H [cm]	5.5	2	3	6

また、 W_a の値が大きいスポンジの K が低い値となっていたのは、 W_a の値が大きいスポンジは細孔が小さいため、保持している水分が凝集しやすく表面積が小さくなりやすいためであると考えられる。

実験では、水が抜けた部分($H=0$) における酸素消費量を測定し、比較したが、実際の酸素消費性能を考える上では H を無視することはできない。そこで、実験に用いたスポンジの H を加味した酸素供給量をモデル(式①、②)によって算出した。

算出結果を Fig. 4 に示す。スポンジ内に流入する酸素量は粗目が最も多く、細目が最も少ない結果となった。これは H の値の大小と一致しており、 H が流入する酸素量に影響することが明らかとなった。スポンジ内に保持できる反応可能な酸素要求成分量に関しては、細目の W_a の値が最も大きいため、一番多くなると想定していたが、結果は最小であった。これは、 W_a が大きく、水が抜けた後に保持できる水量が多いスポンジであっても、 H が高い場合には、水が抜けないため、そもそも水が抜ける体積が少なくなることと起因すると考えられる。したがって、スポンジが酸素供給促進効果を最大に発揮するためには、適した H と W_a の組み合わせがあると推察される。

5. 結論

以下(イ)~(ニ)のことがわかった。

(イ)酸素供給に影響を与えるスポンジの物性 W_a 、 H 、 K を定義することで、酸素供給性能をモデル化し、スポンジの排水に伴う酸素の移流効果を明らかにした。

(ロ)スポンジ内に保持されている酸素要求成分の全てが反応可能ではない。

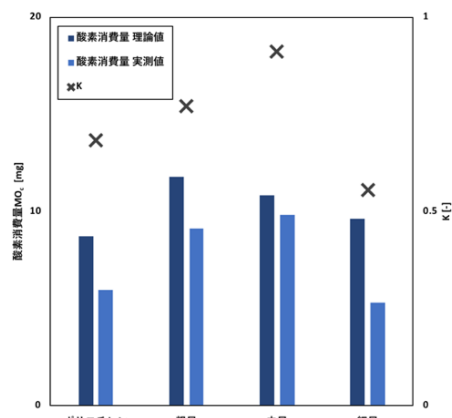


Fig. 3 酸素消費量と K

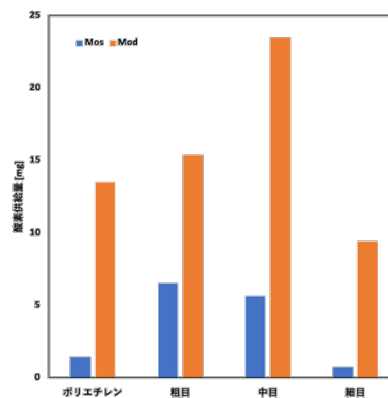


Fig. 4 H を考慮した酸素供給量

(ハ)理論値では中目のスポンジが最も酸素供給量が多く、実測値では細目のスポンジの酸素供給量が多かった。

(ニ)スポンジが酸素供給促進効果を最大に発揮するためには、適した H と W_a の組み合わせがある。

6. 参考文献

- 国土交通省 (2011) 下水道革新的技術実証事業 http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/mizukokudo_sewage_tk_000450.html
- 黒木雄介、下水の間欠接触酸化処理におけるスポンジ担体の干出による酸素供給効果の検討
- 松坂勝雄、松原善治、佐藤弘泰、庄司仁 (2014) 管路内での間接触酸化による下水処理技術の開発、第 51 回下水道研究発表会講演集、646-648
- 黒木雄介、佐藤弘泰、味埜俊、松坂勝雄、松原善治、玉木聡史 (2016) 管路内下水浄化技術における微生物担体中の酸素収支に関する検討、第 53 回下水道研究発表会講演集、983-985