

水の液膜を利用した酸素供給方法の開発とその特性

山口大学大学院 ○寺岡 聡、谷 公輔、朱 花、今井 剛、
浮田正夫、関根雅彦、樋口隆哉

1. 研究背景及び目的

現在の我が国の下水処理に関しては、多くの処理場で活性汚泥法が採用されている。活性汚泥法では、処理に必要な酸素を供給するための曝気操作を行う必要がある。しかし、曝気操作に要する消費電力は処理場全体のその 40～50%程度を占めるといわれており、曝気操作の省エネルギー化を図るためには、曝気効率(酸素溶解効率)の向上が不可欠である。そこで、本研究では曝気効率の向上を図るために、水の液膜を利用した新しい酸素供給法を考案し、その装置の酸素供給能力に影響を及ぼす因子について検討することで、装置の基本的な設計条件を決定し、酸素供給効率の向上を図ることを目的とする。

2. 液膜式酸素供給装置の概略

図-1 に液膜式酸素供給装置の概略を示す。本装置は底部から曝気を行い、発生した気泡を集積し、水面近くに設置したエアリフト管を処理対象水と気泡がエアリフト効果により上昇して装置上部で液膜を形成し、液膜の内外から酸素供給が行われること(図-2 参照)によって酸素溶解効率を高めるものである。本装置から排出された処理水の DO はほぼ飽和値に近く、さらに、一過式の装置であるため DO の高い水を常時製造できる。また、装置の構造が単純であり、既設の曝気槽に被せるだけで使用でき、曝気水深についても従来のもの(4～5m)よりも浅い位置(数十cm)からの曝気で液膜を形成させることができる。そのため、設置コストも安価で、曝気に要する消費電力の削減も大いに期待できることが本装置の主たる特徴である。

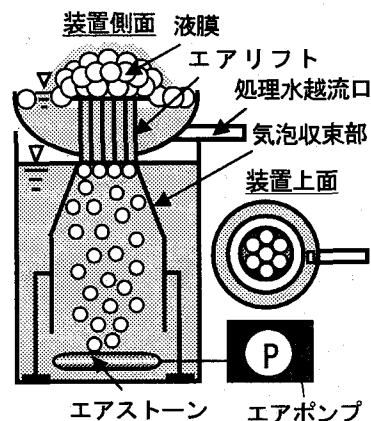


図-1 液膜式酸素供給装置の概略

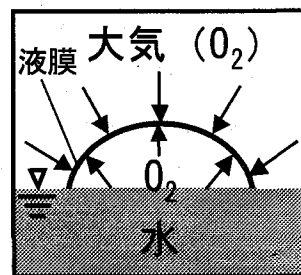


図-2 液膜の酸素供給概念図

3. 液膜式酸素供給装置における酸素供給効率に影響する因子の検討

3-1. 実験目的

エアリフト管の管径と液膜形成部高さとの関連や、エアリフト管の配置形状の変化、曝気量を変化させることで、どの程度酸素供給効率を向上させることができるかについて検討し、装置の基本設計条件(液膜形成部分)を決定する。

3-2. 評価指標

評価指標は、実験時の水温の飽和 DO 濃度に対する測定 DO 値の割合である酸素飽和率、そして単位時間当たりの酸素供給量である酸素供給速度を用い、以下の(1)、(2)式より計算した。

$$\text{酸素飽和率}(\%) = (\text{測定 DO 値} / \text{飽和 DO 濃度}) \times 100 \cdots (1)$$

$$\text{酸素供給速度}(\text{mg-O}_2/\text{min}) = (\text{測定 DO 値} - \text{初期 DO 値}) \times \text{処理水流量} \cdots (2)$$

また、装置の酸素供給能力を一般化して評価するため、液膜形成部面積 1 cm^2 当たりの酸素供給速度($\text{mg-O}_2/\text{min} \cdot \text{cm}^2$)も用いる。

3-3. エアリフト管径と液膜形成部高さの変化が酸素供給効率に与える影響

(1) 実験方法及び条件

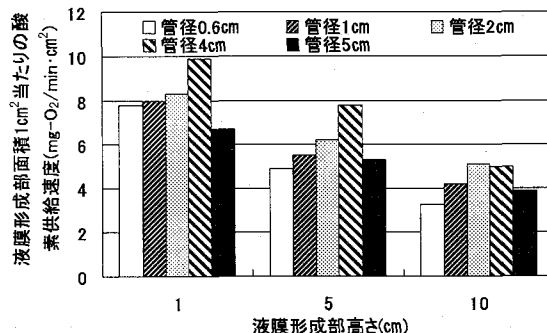
水道水に亜硫酸ナトリウムを 1L あたり 0.1g 加え、DO を 0 に近づける(この水を脱酸素水とする)。脱酸素水を 15L 入れた水槽の底にエアストーンを設置し、その上に液膜式酸素供給装置を設置する(図-1 参照)。水槽内の DO、水温を測定した後、エアポンプで 4 分間曝気を行い、装置から越流する処理水の DO、流量を測定する。なお、実験中は水位を一定に保った。次に、実験条件として、液膜式酸素供給装置の液膜形成部高さに関して 1, 5, 10 cm の 3 条件と、それぞれの条件で管径を 0.6, 1, 2, 4, 5 cm と変化させ(このとき、曝気量 1L 当たりの液膜形成部面積が等しくなるように(表-1 参照)エアリフト管を配置した)、実験を行った。エアストーンは気泡径 4 mm のものを使用した。

(2) 実験結果及び考察

図-3 に液膜形成部面積 1 cm^2 当たりの酸素供給速度を示す。まず、液膜形成部高さについては、1 cm が最も高い値を

表-1 液膜形成部面積及び曝気量

エアリフト管径(cm)	液膜形成部面積(cm^2)	曝気量(L/min)
0.6	12.6	12.8
1	12.6	12.8
2	12.6	12.8
4	12.6	12.8
5	19.6	19.9

図-3 液膜形成部面積 1 cm^2 当たりの酸素供給速度 (エアリフト管径及び液膜形成部高さ変化)

示した。この理由として、液膜形成部高さが低い場合は、エアリフト時の気泡が処理水を押し上げる際のエネルギー損失が小さく、処理水流量が増加し、酸素供給速度が高くなるためであると考えられる。次に、エアリフト管径については、4 cmが最も高い値を示した。これは、管径が大きくなるほど管内でのエネルギー損失が小さくなり、処理水流量は増加すると考えられるが、エアリフト管径 5 cmでは酸素供給速度は減少した。この理由として、エアリフト管径が大きくなり過ぎると管内中心部の処理水が自身の重みによって管内部に落ち込み越流量が減少し、管内部に滞留したためと考えられる。以上のことから、水位 1 cm、管径 4 cmの条件が酸素供給効率の面から適していると考えられる。

3-4. 液膜形成部におけるエアリフト管の配置形状が酸素供給効率に与える影響

(1) 実験方法及び条件

3-3の実験結果より、酸素供給効率の高かったエアリフト管径 4 cm、液膜形成部高さ 1 cmの条件のものを用い、図-4に示すようエアリフト管の本数を 1、2、3 本と変化させることにより、エアリフト管の配置形状を変化させた実験を行った。このとき、曝気量 1L 当たりの液膜形成部面積が等しくなるように、エアリフト管 1 本につき、曝気量を 6L/min とした。

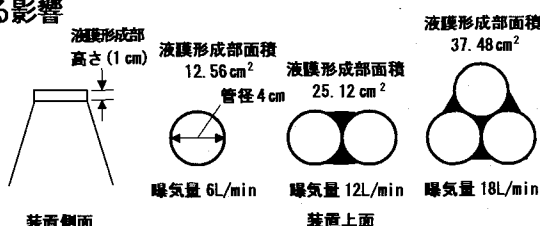


図-4 エアリフト管の配置形状

(2) 実験結果及び考察

図-5にエアリフト管 1 本当たりの酸素供給速度を示す。エアリフト管 1 本当たりに曝気量 6L/min が均等に供給されたならば、どの条件も同じ結果が得られるはずであるが、エアリフト管の数が増えるほど減少した。この理由として、まず、エアリフト管 1 本では処理水が管の周囲から全て越流できていたが、エアリフト管 2、3 本の配置形状では、処理水が管の隣接箇所から管内部に落ち込んだため、排出される処理水流量が減少したことが考えられる。この理由として、エアリフト管の数が増えるほど気泡収束部面積も大きくなり、さらにエアストーンを 1 つしか設置していなかったため、エアリフト管 1 本当たりに均等に気泡が供給できなかったことが考えられる。このため、装置設計の際には、個々のエアリフト管の配置はできるだけ独立させた方がよく、また設定曝気量に対して、気泡がエアリフト管に等分に供給されるような気泡収束部の形状を検討する必要があると考えられる。

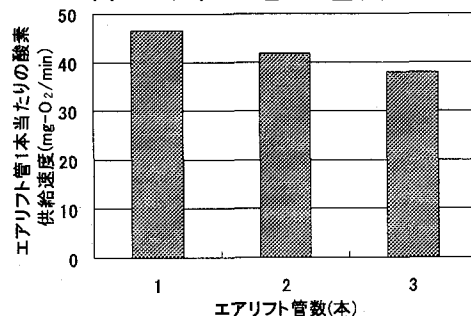


図-5 エアリフト管 1 本当たりの酸素供給速度（配置形状変化）

3-5. 曝気量の変化が酸素供給効率に与える影響

(1) 実験方法及び条件

3-4と同様に、エアリフト管径 4 cm、液膜形成部高さ 1 cmの条件のものを用意した。液膜形成部面積を一定にして、曝気量を変化させることによって酸素供給効率がどう変化するか検討した。実験条件として曝気量 6~18L/min 間で 2L/min ずつ変化させて実験を行った。実験方法は 3-4 と同様である。

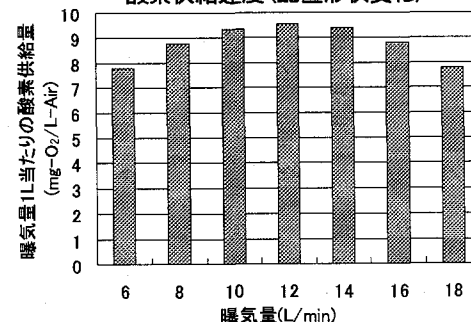


図-6 曝気量 1L 当たりの酸素供給量（曝気量変化）

(2) 実験結果及び考察

図-6に曝気量 1L 当りの酸素供給量 (mg-O₂/L-Air) を示す。図-6より、曝気量 1L 当たりの酸素供給量は 6~12L/min まで上昇したが、14L/min 以上となると減少した。この理由として、曝気量が大きくなると処理水流量が増加するため、エアリフト管内を通過する気泡量に対して処理水量が多くなることにより液膜形成が阻害されたと考えられる。よって、今回の実験条件の範囲で酸素供給効率に関する最適な条件として、液膜形成部面積 1 cm² 当たりの曝気量は 1.1L/min 程度であると考えられる。

4. まとめ

・エアリフト管径と液膜形成部高さの変化については、エアリフト管内を通過する際にエネルギー損失が小さく、処理水流量が増加する条件である、管径 4 cm、液膜形成部高さ 1 cmの条件が今回の実験条件の範囲内では最適であると考えられる。

・液膜形成部におけるエアリフト管の配置形状については、その数を増やした集合的な配置形状になる程、エアリフト管 1 本当たりに均等に気泡が供給されず液膜形成が阻害されるためそれぞれ独立させた方がよく、エアリフト管に気泡が等分に供給されるような気泡収束部の形状の検討が必要であると考えられる。

・曝気量の変化については、曝気量 14L/min 以上から液膜形成が阻害され、酸素溶解効率が低下する傾向を示した。したがって、本実験の条件内では、液膜形成部面積 1 cm² 当たりの曝気量は 1.1L/min 程度が適量と考えられる。

今後の予定として、今回得られた設計条件を基に装置を製作し、活性汚泥混合液を対象とした場合の本装置の評価をパイロットスケールで行う。