

液膜式気体溶解装置の稼働効率向上にむけた検討

○山口大学 学生会員 河村 啓太
国土交通省 加藤 大騎

山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義
(株)中村建設 正会員 大木 協
(有)バブルタンク 藤里 哲彦

1. 研究背景

近年、湖沼やダム貯水池などの閉鎖性水域、特にその底層の貧酸素化に伴う汚染が深刻化している。具体的には、アオコの発生、重金属や栄養塩の溶出、硫化水素等の有害ガスの発生^{1,2)}が挙げられる。汚染の対策として、主に曝気技術が用いられる。既往の曝気技術は底層の対策に大量のエネルギーを要するが、いずれも投入したエネルギー量に対する成果が得られていない。

2. 液膜式気体溶解装置

当研究室では、液膜式気体溶解装置を用いた水質改善技術を研究・開発中である。装置の概略図を図-1に示す。h字状のパイプを水面近くに置き、その曲管の鉛直部の浅い位置で曝気を行い、管内上部で気泡集合体を形成する。h字状パイプの両端にホース等を接続することで、貧酸素水の吸入と、処理水の排出を行う。なお、本技術での液膜とは、この気泡集合体に対する便宜上の呼称である。気体成分の液相中と気相中の分圧の差(濃度差)によって、液相の有害気体成分を大気中に放散し、貧酸素水中に酸素を付加する。

処理水の輸送は、気泡群によるエアリフト効果とその駆動源となる。曝気深度は25cm前後と既往の装置と比較して大幅に浅く、高い省エネルギー性が達成される。ガス交換特性と省エネルギー性が、本装置の大きな特徴である。

3. 稼働効率向上にむけた検討

3.1 駆動ブローの変更による処理流量増加

前述のように、液膜式気体溶解装置は浅い深度の曝気で深部の浄化が可能のため、大量の水処理に対しては、気体供給装置は低吐出圧、大容量のものが有利である。

従来駆動源として適用していたダイヤフラムポンプは、

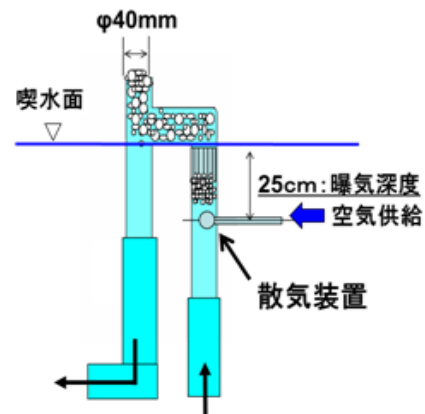


図-1 液膜式気体溶解装置 概略図

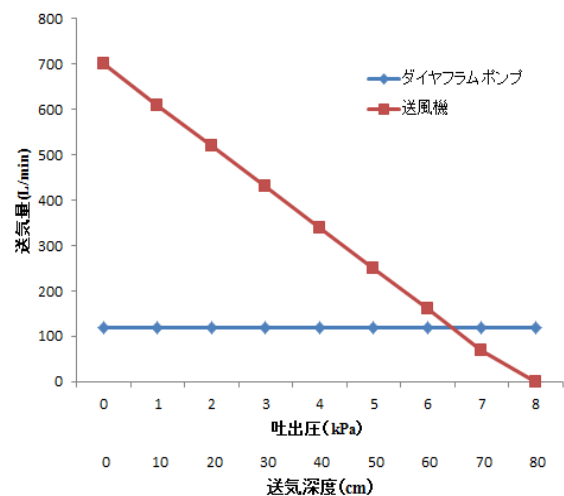


図-2 ブロー送気量の比較^{4),5)}

その適用水深が2m前後であり、本装置の曝気深度25cmに対し、その水頭差分だけ電力(動力)の過剰投入となる。

中野らはエアブローとして稼働水深50cm程度である送風機の適用を提案した³⁾。図-2に市販のダイヤフラムポンプと送風機の消費電力あたり送気量の比較を示す。

図より、本装置の稼働水深内ではダイヤフラムポンプの送気量約120L/minに対し、送風機使用の場合は

400~600L/min となる。送風機では、曝気深度の増大により送気量は減少するものの、本装置の稼動域（水深 25cm 程度）においては、ダイヤフラムポンプの 4 倍程度大きい送気量となり、より好適であることが分かる。

3.2 処理流量に寄与する因子の検討

本装置の効率的な運転には散気装置より上昇する気泡の管路断面への均等な分散が前述のエアリフト効果の原理より求められる⁹⁾。本装置の曝気水深 25cm はこの条件を満足した設計であるが、エアブローの送風機への変更に伴い、処理流量を最適化する条件を検討した。

曝気水深を 25cm より浅く設定すると、管路内で気泡が均等に分散せず、結果、管路内に偏流が発生し、装置の処理流量が低下する。これに対し、散気体の上部にハニカム構造体（図 - 3）を配置することで、偏流を防ぎ、処理流量の確保を試みた。一方でハニカム構造体の設置は流れに対する抵抗として作用することも考えられる。また、h 型パイプ水平部の没水度合いなども処理流量に影響を及ぼすことが現地試験により報告されている。

本実験では、曝気深度、ハニカム径、パイプ水平部(外側)の没水深を変化させた実験を行い、処理流量を求めた。

4. 実験方法

実験装置の概観を図 - 4 に示す。処理前後の水を分離すること、及び処理流量を正確に把握するため、h 型パイプが 2 つの水槽に固定される形で設置した。両水槽の水位を同一に保つため両水槽の横に立ち上がり部をもつ管体を連結した。h 型パイプの曲管の鉛直部の下端は開口となっており、曝気によって管内を上昇する水を下方から吸引し補償するようにしている。これにより失われた右水槽の水は継続的に補給され、その一部が水槽横の管体からオーバーフローする形で水位を一定に保った。左水槽横の管体からオーバーフローする水が一定の体積に達するまでの時間を計測し、処理流量を計算した。実験条件を表 - 1 に示す。表中の没水深は、h 型パイプの水平部の外面が水槽の水面と一致した高さを 0 とし、正值が水没状態を示す。実験は全て気泡群の鉛直管内の水中を全断面に分散して上昇する実験を目的として行ったため、曝気水深 15cm についてはこの流れにならなかった。



図-3 ハニカム構造体断面

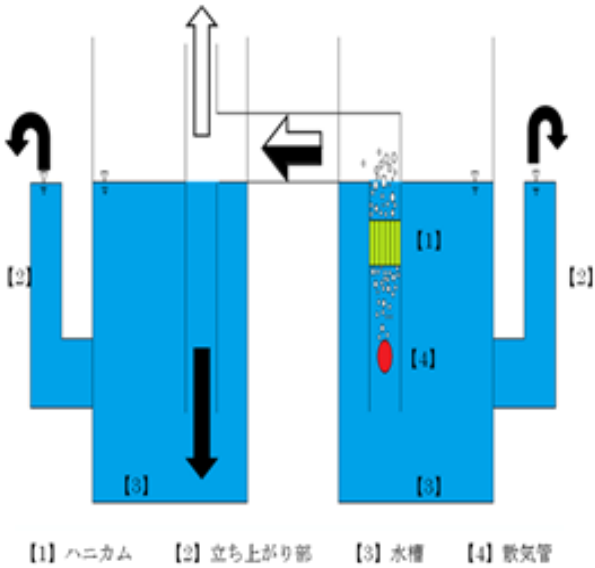


図-4 実験装置概観

試 験 水 槽			
水深 50(cm) × 幅 20 (cm) × 奥行き 30 (cm) 2槽			
送 気 装 置	ダイヤフラムポンプ		
	・メーカー: 安永エアポンプ(株)	装置内径(mm)	50
	・型 式: LP100H(S)	曝気深度(cm)	15, 20, 25
	・空気流量: 100(L/min)	空気流量(L/min)	16
	(定格圧力: 0.018MPa)	ハニカム径(mm)	4, 5, 6, 7, 10
	・稼動電力: 105(W)	没水深(cm)	-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5

表-1 実験装置諸元

5. 実験結果および考察

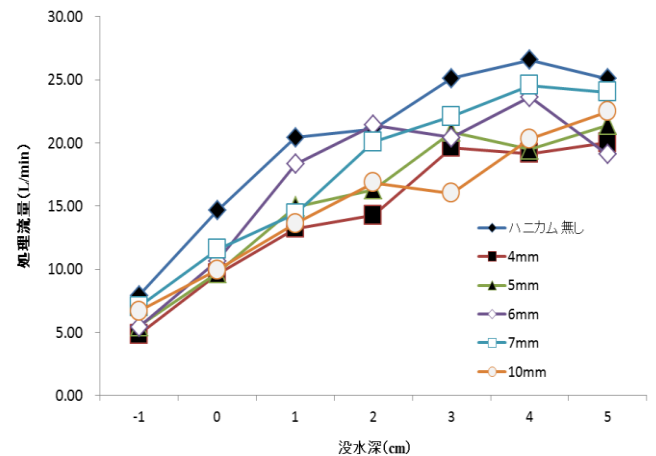
図-5 は、空気流量 16(L/min)の場合について処理流量と水平パイプの没水深の関係を 3 通りの曝気深度とハニカムのサイズの組に対して示す。横軸の 5cm は、水槽の水面高さを h 型パイプ水平部の内側上面が一致していることを示す。図によると、水平パイプの没水深が増加すると処理流量が増大するが、その増大は次第に鈍化し、没水深が 5cm では、4cm に比べて減少するケースが多い。この傾向は管路流の水理特性曲線の傾向と対応している。また、ハニカム径 7mm の場合に大きな処理流量を示すようであるが、気泡径とハニカム径の関係についてこれが近い程、整流効果としてのハニカム構造体が作用しているためと考えられる。両者の関係の定量的な把握は今後の課題である。また、曝気深度の効果として、これが大きいほど処理流量は大きい、その差は水平パイプの没水深が小さい領域で大きく、没水深が大きいと差は小さくなる。

6. 結語

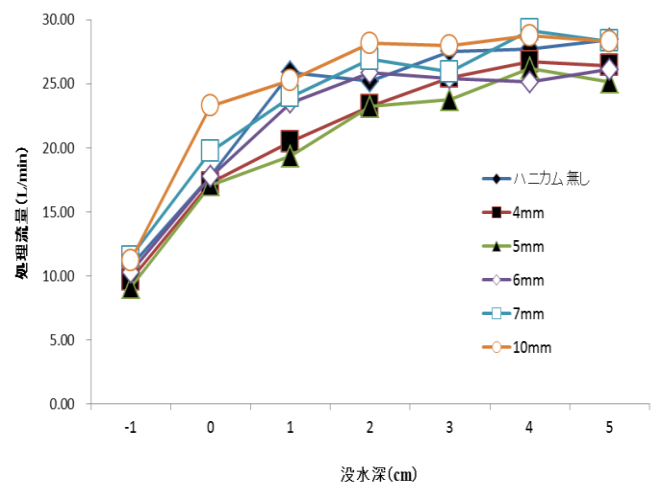
以上、当研究室で開発中の液膜式気体溶解装置においてハニカムが処理流量に及ぼす効果について実験を行った。その結果、水平パイプ没水深の効果が大きいことを示した。また、ハニカム径の違いによる処理流量の変化を確認した。今後は現地への適用を検討すると共に水理計算で本実験結果を説明する予定である

参考文献

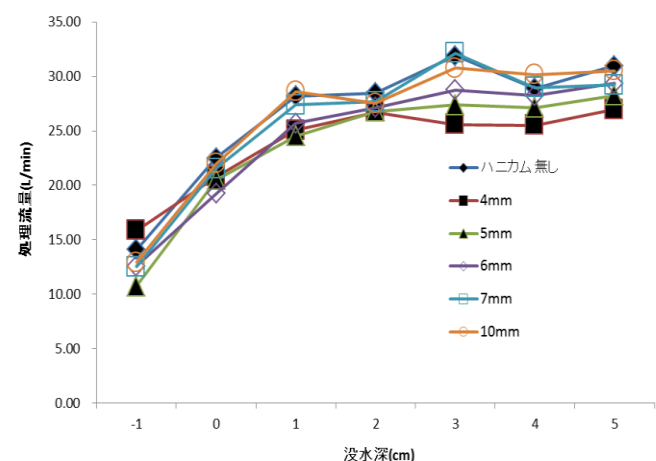
- 1) 羽田野袈裟義,馬駿,今井剛,藤里哲彦: 液膜を利用した DO 改善技術に関する基礎的研究,土木学会論文集, Vol.63,No.1,1-11,2007.
- 2) 松本治彦,城田久岳,羽田野袈裟義,齊藤隆: 異常水温成層を形成するダム貯水池の水の挙動と指標物質,水環境学会誌,第 16 巻, 第 10 号,pp.696-703, 1993.
- 3) 中野陽一, 河村啓太: 液膜型気体溶解装置～さらなる省エネルギー化を目指して～, 第 40 回水環境フォーラム山口, 2012.
- 4) 昭和電機株式会社, 商品カタログ, U2V-10S 性能曲線図
- 5) 安永エアポンプ, 商品カタログ, LP100-HN 性能曲線図
- 6) A.J.ステパノフ著, 今市憲作 他 訳: ポンプとブロー ー二相流を中心にー, p254~255, 産業図書.



(a) 曝気深度 15cm



(b) 曝気深度 20cm



(c) 曝気深度 25cm

図-5 種々の曝気深度における装置処理流量