

DO 改善用管内曝気式気体溶解装置の処理流量の定量評価

山口大学 理工学研究科 フェロー会員 ○羽田野 袈裟義
 山口大学 大学院 学生会員 大木 協
 (有)バブルタンク 非会員 藤里 哲彦
 新光産業(株) 非会員 馬 駿
 (株)日本港湾コンサルタント 非会員 福本 裕輝

1. 緒言

著者らは、湖沼の貧酸素化によって底泥から溶出した重金属や栄養塩が人体や水棲生物の体内に摂取される事態を避けるため、DO 改善用管内曝気式気体溶解技術(h 型気体溶解装置)を研究開発している。

この装置の酸素溶解能力(単位時間当たり溶解できる酸素質量)は処理流量に大きく依存する¹⁾。そこで、処理流量の定量評価を試みる。

2. h 型気体溶解装置の原理

図-1 に h 型気体溶解装置の中核部分の模式図を示す。貧酸素水と連通して水中に鉛直に立てた h 型の筒状体の中に設置したエアストーンから気泡を発生させると、気泡は周囲の水を連行しながら上昇し、水は筒の曲がり部で気泡集合体となり効率的に気体溶解を行う。気体溶解処理された水は筒の水平部を通過して鉛直の直管部に送られ、下方に排出される。

h 型筒状体の両方の鉛直部にホースを接続すると、水面下の浅い位置で散気して深部の水を吸引するので、省エネルギーである。また、水の吸引と排出を任意の位置で行うことができる。

3. 処理流量の計算方法

処理流量の計算の基礎式として、エアリフト設計の基準として用いられているエネルギー式(式(1))²⁾を用いた。図-2 はパラメータの説明図である。

$$W_a P_a v_a \log(P_s / P_a) = W_w (h_d + h_f + h_v + h_b) \quad (1)$$

ここで、 W_a は 1 秒間に消費される空気重量、 P_a は大気圧、 v_a は大気圧での比容積、 P_s は吸入管入口での空気圧、 W_w は 1 秒間の揚水重量、 h_d は揚水高さ、 h_f は $(h_d + h_s)$ 間の摩擦損失水頭、 h_v は二相流の吐出部での速度水頭、 h_b は曲がりによる損失である。

以下では、式(1)から処理流量 Q_w を求める過程を示す。まず、変数を処理流量 Q_w で表現する式を導き、その結果の式を変形して処理流量 Q_w に関する 3

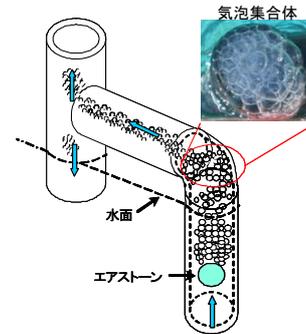


図-1 h 型気体溶解装置の中核部分

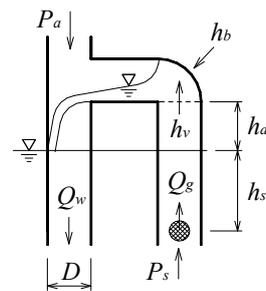


図-2 パラメータの説明図

次方程式を導き、これを数値的に解く。以下、この手順を 3.1~3.3 に示す。

3.1. 処理流量 Q_w を用いた表現式³⁾

式(1)の各パラメータの内、処理流量 Q_w を含むパラメータは右辺の W_w, h_f, h_v, h_b であり、これらはそれぞれ次式(2)~(5)のように表わされる。

$$W_w = \rho g Q_w \quad (2)$$

$$h_f = \frac{f(h_d + h_s) \left(\frac{Q_g + Q_w}{A} \right)^2}{2gD} \quad (3)$$

$$h_v = \frac{\left(\frac{Q_g + Q_w}{A} \right)^2}{2g} \quad (4)$$

キーワード：貧酸素、DO 改善、気体溶解、管内曝気、気泡集合体

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 Tel:0836-85-9353

$$h_b = \zeta_{b1}\zeta_{b2} \frac{\left(\frac{Q_g + Q_w}{A}\right)^2}{2g} \quad (5)$$

ここで、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 f は摩擦損失係数、 h_s はエアストーン深度、 Q_g は空気流量、 A は管断面積、 D は管直径、 ζ_{b1} は中心角が 90° の場合の曲がり損失係数、 ζ_{b2} は中心角が 90° の場合との損失比である。

3.2. 処理流量 Q_w の式

式(2)~(5)を式(1)の右辺に代入し、処理流量 Q_w について整理する。この時、式(1)の右辺は、

式(1)右辺 =

$$\rho g Q_w \left[h_d + \frac{f(h_d + h_s) \left(\frac{Q_g + Q_w}{A}\right)^2}{2gD} + \frac{\left(\frac{Q_g + Q_w}{A}\right)^2}{2g} + \zeta_{b1}\zeta_{b2} \frac{\left(\frac{Q_g + Q_w}{A}\right)^2}{2g} \right]$$

$$= \frac{8\rho}{\pi^2 D^5} \left\{ \begin{aligned} & \{f(h_d + h_s) + (1 + \zeta_{b1}\zeta_{b2})D\} Q_w^3 \\ & + 2Q_g \{f(h_d + h_s) + (1 + \zeta_{b1}\zeta_{b2})D\} Q_w^2 \\ & + \left[\frac{gh_d \pi^2 D^5}{8} + \{f(h_d + h_s) + (1 + \zeta_{b1}\zeta_{b2})D\} Q_g^2 \right] Q_w \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式(1)の左辺を右辺に移項し、 Q_w について整理すると次の Q_w に関する 3 次方程式(式(7))を得る。

$$0 = \alpha Q_w^3 + \beta Q_w^2 + \gamma Q_w - \delta \quad (7)$$

ここで、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ は次のようである。

$$\left[\begin{aligned} \alpha &= \frac{8\rho}{\pi^2 D^5} \{f(h_d + h_s) + (1 + \zeta_{b1}\zeta_{b2})D\} \\ \beta &= \frac{16\rho Q_g}{\pi^2 D^5} \{f(h_d + h_s) + (1 + \zeta_{b1}\zeta_{b2})D\} \\ \gamma &= \rho g h_d + \frac{8\rho}{\pi^2 D^5} \{f(h_d + h_s) + (1 + \zeta_{b1}\zeta_{b2})D\} Q_g^2 \\ \delta &= \text{式(1)左辺} \end{aligned} \right]$$

3.3. 3 次方程式の計算³⁾

式(7)の 3 次方程式を解く。摩擦損失係数 f はマンニングの式から計算を行った。また、実験で使用した装置は、直径 0.05(m) の新しい塩化ビニル管であることから、 $D = 0.05(m)$ 、粗度係数 $n = 0.012$ として計算を行った。また、曲がりによる損失係数は、曲り部の中心角(90°)、曲率半径(0.025m)より、 $\zeta_{b1} = 0.33$ 、 $\zeta_{b2} = 1.0$ を与えて計算を行った。

4. 実験及び計算条件

実験及び計算条件を表-2 に示す。条件の組み合わせは 60 通りである。

表-2 実験及び計算条件

管直径	D	(mm)	50
揚水高さ	h_d	(mm)	20, 50, 80, 110, 140
エアストーン深度	h_s	(mm)	140, 230, 320
空気流量	Q_g	(L/min)	10, 20, 30, 40

5. 計算及び実験の比較

計算値と実験値の比較結果の一例を図-3 に示す。図より、両者の傾向は類似しているが、計算値は過大評価であった。これは、他の全ての条件においても同様の結果であった。この原因として、気液二相流であるにも関わらず ρ に水の密度を用いたこと、損失の与え方が適切ではないことなどが挙げられる。明らかに本装置の流れでは損失は摩擦損失よりも大きいはずであり、損失の過小評価が処理流量の過大評価として表れていると考えられる。

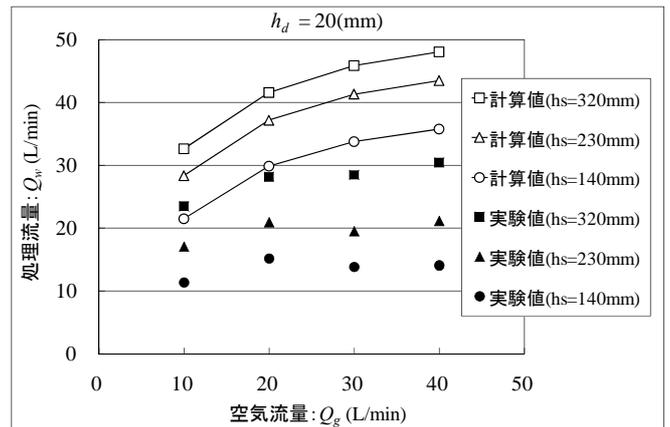


図-3 処理流量の計算値と実験値

6. 結語

以上、本研究では DO 改善用管内曝気式気体溶解装置の処理流量 Q_w の定量評価を試みた。

処理流量 Q_w を求める式として式(7)を得た。 Q_w の計算値は実験値に近い傾向を示したが、値としては過大評価であった。今後、二相流の効果を加味し、更に損失を適切に評価して、より予測精度を高める必要がある。

参考文献

- 1) 福本 裕輝：h 型気体溶解装置の性能に関する実験的検討，山口大学修士論文，2008
- 2) A.J.ステパノフ 著，今市 憲作 他 訳：ポンプとブロワ 二相流を中心に，産業図書
- 3) 椿 東一郎：水理学 I，森北出版