

噴流型流動促進装置の装置形状と流動特性に関する理論的検討

呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司 呉工業高等専門学校専攻科 学生員○山本龍之介
 広島市 正会員 濱本 光蔵 株式会社レールテック 非会員 横山 英里

1. はじめに

閉鎖性水域において水質浄化の手段の一つに噴流型流動促進装置による手法が用いられており、一定の成果が実証されている。しかし、この装置による流動を表現できる理論式には不明な点が多い。効率のよい流動性能を得るうえで、装置による流動の定量的な評価は重要な意味を持っている。そこで本研究では、この装置による流動を表現できる理論式を確立することを目的とする。また、そのために、導出過程における仮定や定理の適用について考察し、実験値との比較によって理論式の妥当性の検証を行うこととした。

2. 噴流型流動促進装置の流動原理

図1は、装置の概要図に駆動水と吸引水の混合が行われる際の動水勾配線(破線)とエネルギー線(実線)を示した図である。なお、青色の線が駆動水によるもの、赤色の線が吸引水によるものを表している。

ポンプで送水された表層水が駆動水(流量 Q_1)として装置内に噴射されると、噴射口付近の流速により負圧が生じる。その結果、装置後方から底層水が連行され吸引水(流量 Q_2)が発生し、最終的に吸引水と駆動水が装置内で攪拌混合され、混合水(流量 Q_3)として装置前方に噴出される。

なお、駆動水のノズルの断面積を A_1 、流速を v_1 、断面Iの水圧を p_1 、また吸引水の場合をそれぞれ A_2 、 v_2 、 p_2 、混合水の場合をそれぞれ A_3 、 v_3 、 p_3 、混合水が管から出た後の場合の流速を v_4 とする。そして、吸引部からノズル出口までの長さを l_1 、ノズル出口から装置の管出口までの長さを l_2 とする。以下で、理論式を導出する。

①連続式より式(1)が与えられる。

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \tag{1}$$

②ノズル内、B-C点、C-D点においてベルヌーイの式を適用すると(2)~(4)式が与えられる。

$$h = \alpha \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} - \Delta h \tag{2}$$

$$h = \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + f_e \frac{v_2^2}{2g} + f_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_2^2}{2g} \tag{3}$$

$$\alpha \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\rho g} = f_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_3^2}{2g} + f_0 \frac{v_3^2}{2g} + h + \frac{v_4^2}{2g} \tag{4}$$

式(2)で α は管内流速分布が一樣でないことを補正するエネルギー補正係数、式(3)で右辺第3項は入口損失、第4項は l_1 間を流下するときの摩擦損失、式(4)で右辺第1項は l_2 間を流下するときの摩擦損失、第2項は出口損失である。入口損失は、突出しの形状であるため $f_e = 1.0$ とする。

③A点(駆動水内)とE点(放出後、 $v=0$ となる点)間の損失水頭を表すと式(5)のようになる。

$$\Delta h = f_{se} \frac{v_1^2}{2g} + f_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_3^2}{2g} + \frac{v_3^2}{2g} \tag{5}$$

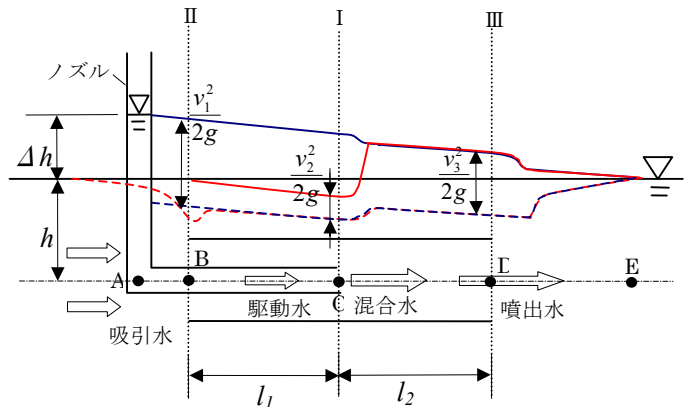


図1 装置内の動水勾配線とエネルギー線

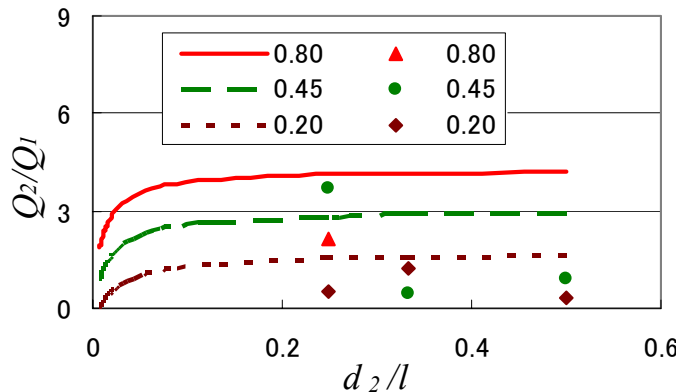


図2 各面積比での吸引流量比と管長比

Δh は駆動水を送水するエネルギー水頭を表しており、右辺第 1 項は駆動水がノズルから装置内に噴射されたときの混合による損失水頭を表す。この損失は管の急拡大損失と同様と考え、損失係数はボルダの公式より式(6)のように表される。

$$f_{se} = \frac{v_1^2}{2g} \left(1 - \frac{A_1 + A_2}{A_1} \right)^2 \tag{6}$$

⑦各断面に対して運動量の定理を適用する。

$$\begin{aligned} \rho A_3 v_3^2 - \rho A_1 v_1^2 - \rho A_2 v_2^2 \\ = p_1 A_1 + p_2 A_2 - p_3 A_3 \end{aligned} \tag{7}$$

⑧式(7)に式(2), (3), (4)を代入すると二次方程式となり、解の公式より v_1/v_2 が得られる。

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{8}$$

ここで、 a, b, c は各断面での断面積や損失係数からなる。

式(8)より v_2/v_1 および v_3/v_1 が得られる。また連続の式 ($Q=Av$) より、流量比 Q_2/Q_1 および Q_3/Q_1 が求められる。

3. 吐出流量および吸引流量の理論式の検証

理論値を示す曲線に実験結果をプロットしたものを図 2 から図 5 に示す。図 2, 3 より、吐出流量の場合は理論値と実験値は比較的近似しているが、吸引流量では実験値の方が非常に小さくなる場合がある。この様に吸引流量が小さくなった実験例は、管長が短い、漸縮率が小さい場合で、駆動水が管壁に当たらず吐出していた。そのため、装置内で負圧が生じず、吸引水が発生しない。一方、吐出水の場合は、負圧の発生・吸引の有無にかかわらず、駆動水のエネルギーは変化せずに吐出されるため、吐出流量に変化はない。このように、十分な負圧の発生と吸引が生じていない例を除くと、吸引流量、吐出流量のいずれも理論値と実験値が近似しており、理論式が実際の流動を表現できていると言える。

4. 理論式から得られる流動の特徴

図 2 から図 5 より、管長が長くなると、摩擦損失の影響が大きくなり、吸引も吐出もしなくなることが分かる。ただし、実際に用いる管長比の範囲内では摩擦損失の影響はほとんどないことも分かる。そして、面積比が大きくなると、流量比が増加すること、つまり吸引される割合が高まることが分かる。

5. おわりに

噴流型流動促進装置内の現象について、連続の式、ベルヌーイの定理、運動量式の適用し、各種損失水頭を考慮することによって、装置による流動を表現できる理論式を確立できた。また、理論式より、実機の範囲内では摩擦損失の影響はほとんどないことと、面積比が大きくなると吸引される割合が高まることが明らかとなった。

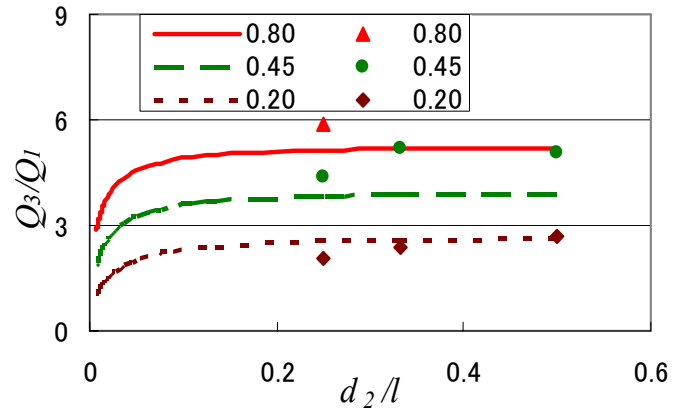


図 3 各面積比での吐出流量比と管長比

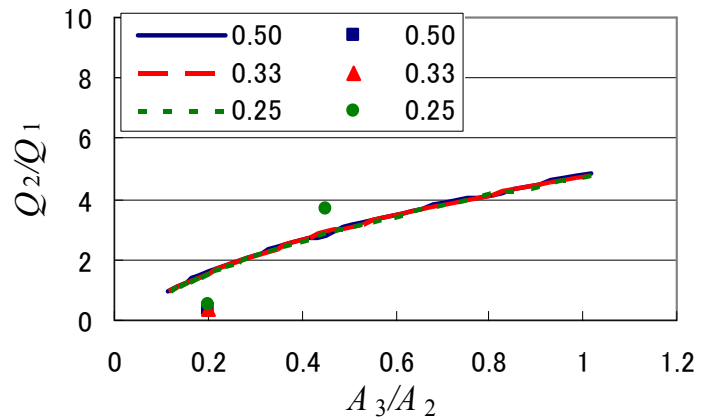


図 4 各管長比での吸引流量比と面積比

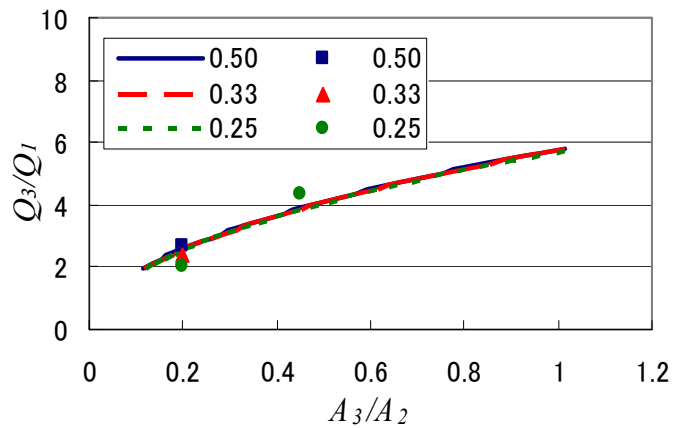


図 5 各管長比での吐出流量比と面積比