

ジェットポンプ式流動装置の混合管内の混合過程と装置形状の関係

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 学生会員 牛尾 幸航

1. はじめに

貯水池等の水質改善手法のひとつに、ジェットポンプ式流動装置(図1)の導入がある。この装置は従来の曝気循環装置などに比べて、低コストで広範囲にわたる水質改善効果が期待されるが、その混合管の形状と流動性能の関係や、混合管内での混合過程など不明な点がある。

ただし、黒川ら¹⁾は、混合管内の流れを単純化して「混合管内で駆動水と吸引水が十分に攪拌混合された後に吐出される」という仮定のもと、駆動水・吸引水・吐出水の流量比(または平均流速比)を定式化している。

そこで本研究では、ジェットポンプ式流動装置の装置形状、特にノズル口径(駆動水噴出口の径) d と混合管の管径(吐出水口の径) D を変えた場合の混合管内の流動の変化をPIV計測により観察し、混合管内の流動の特徴を明らかにするとともに、各実験条件から得られる理論値と実測値を比較することで、上述した定式化する際の仮定に対する混合管内流動の妥当性、ひいてはその流動特性が理論式¹⁾への適用に及ぼす影響について検討した。

2. 実験内容

実験は、幅 0.6m、水路長 12m の開水路を止水し水深 0.5m の静水状態として、水路の中央部で混合管の下端が水路床から 5cm の位置となるように設置して行った。

装置形状の条件として、混合管は円筒形で管長 100cm とし、管径が $D=10\text{cm}$ 、7.5cm、5cm の 3 種類、ノズルの口径が $d=3\text{cm}$ 、2cm、1.3cm の 3 種類を使用した。また、混合管径 $D=10\text{cm}$ のとき、各ノズル口径においてノズルに勾配 $i=5.6\%$ または $i=7.8\%$ をつけた条件でも行った。

流量は、駆動水を外部から供給する管において電磁流量計で計測し、駆動水流量 30~50L/min で実験を行った。

混合管の吐出部および吸引部の流速は、図1に示すような吐出部 9 点(測点 1~9)、吸引部 5 点(測点 10~14)においてプロペラ流速計で測定した。

混合管内の流況観察は PIV で行った。水路の下からシート光を当て、混合管の吸引側からトレーサーを入れながら水路側面から高速度カメラで撮影したデータを二次元流体解析ソフトウェアで解析した。

3. 流速測定結果

図2に実験結果の一例として、混合管の径 $D=10\text{cm}$ 、ノズル口径 $d=2\text{cm}$ の場合の流速を示す。なお、図中には理論式¹⁾から求めた理論値(流速分布曲線)も示している。実験値は理論値と概ね一致していることが分かる。次に実験値のばらつきを見てみると、管の上部である測点 2

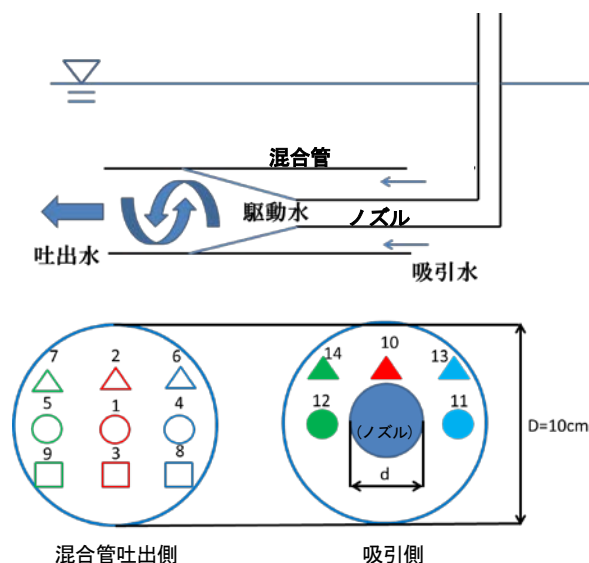


図1 装置概略および吐出側・吸引側の測点

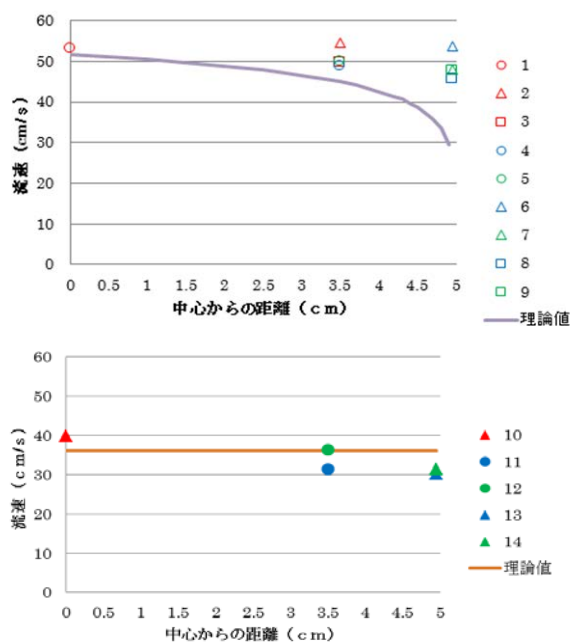


図2 吐出側および吸引側流速(混合管径 $D=10\text{cm}$ 、ノズル口径 $d=2\text{cm}$ 、ノズル勾配 $i=0\%$)

と6の流速が比較的大きいことが分かる。このような分布が偏る傾向は他の実験条件の一部でも見られた。この原因として、実験装置を設置する時にノズルに勾配がついてしまったのではないかと考えた。

そこで故意にノズルに勾配をつけて、流速分布に影響があるかを確認することとした。図3は勾配を下方へ

キーワード ジェットポンプ式流動装置、ノズル口径、PIV、理論式

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2-2-11 呉工業高等専門学校 Tel.0823-73-8481

5.6%つけた状態, 図4は7.8%つけた状態での結果である。いずれも管の下部である測点 3, 8, 9 が速いことからノズルを傾けた方向の流速が速くなると言える。しかし, 設置の状況からノズルが上方に傾いた状態で実験を行ったとは考え難く, 図2に示された上方への偏流はノズルの傾き以外に原因があると考えられる。そこで, PIV 計測によりそれぞれ混合管内の様子を観察することにした。

4. PIV 計測の結果と考察

4.1 勾配による中の様子

図5, 6, 7はPIV計測によって図2, 3, 4の状態の混合管内の中の様子を流速ベクトルの分布で表したものである。図5(ノズル勾配無し $i=0\%$)を見るとノズルから放出された水は蛇行を行いながら, 吐出口付近で上部の方へ向いている。図6($i=5.6\%$), 図7($i=7.8\%$)では, 少し蛇行しながら全体的には下部を中心に流れ, 出口付近になるとやや均一化していることが分かる。なお, 三者で流速そのものには大きな差は見られなかった。これらのことからノズルに勾配がついていない状態では管内の蛇行により, たまたま管上部が速くなったと考えられる。また, 勾配をつけた場合でも, 勾配の方向に流れが集中しやすいが十分な管長のために吐出口付近では概ね一様な分布となると言える。

4.2 管径の変化による影響

図8, 図9は混合管径 $D=10\text{cm}$ (図5) より混合管径 D を小さくした場合の解析結果である。 $D=7.5\text{cm}$ (図8), $D=5\text{cm}$ (図9) はいずれも, $D=10\text{cm}$ (図5) の場合と同様に少し蛇行してから, やがて分布がほぼ一様になっている。ただし, 混合管径 D が小さいほど蛇行性は小さくなり, $D=5\text{cm}$ (図9) ではほぼ直線的に流れている。

5. 理論式との比較

理論式¹⁾はノズルの勾配を考慮していないため, 図2, 3, 4中の理論値は, ノズル勾配無しで混合管径 $D=10\text{cm}$, ノズル口径 $d=2\text{cm}$ の条件で求めた値を用いている。図3, 4はノズル勾配を下方へつけているため, 下方向の流速がやや大きくなっているが, 中心部は理論値と実験値がほぼ一致しており, 中心部以外も概ね一致している。したがって, 混合管内では蛇行やノズル勾配による偏流が生じるものの, 今回用いた混合管のように管長が十分にあれば, 流れは吐出口付近で一様化されるため, 「混合管内で攪拌混合された後に吐出される」という仮定は妥当であり, 理論式¹⁾はノズル勾配や蛇行の影響を考慮する必要がないと言える。

6. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) ノズルからの放出水は混合管内で蛇行するが, 吐出口付近でほぼ一様となる。ただし, 混合管径が大きいほど吐出の際やや偏流となる場合がある。
- (2) ノズルに勾配があると, 勾配方向に流れが集中しやすくなり蛇行性が小さくなる。
- (3) 混合管内の蛇行やノズル勾配による偏流の影響は, 管長が十分あれば考慮する必要がなくなり, 混合管内の

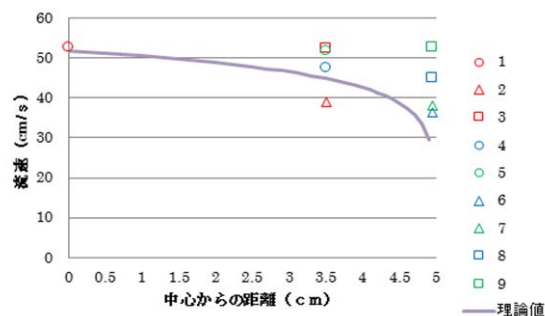


図3 $i=5.6\%$ における吐出側流速 ($D=10\text{cm}$, $d=2\text{cm}$)

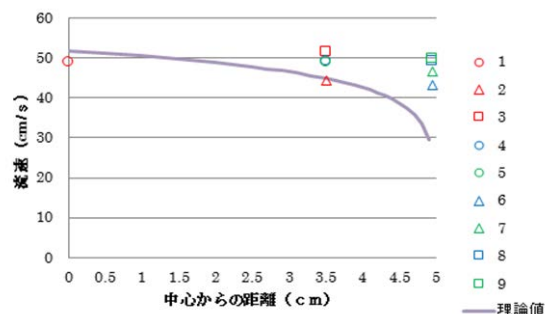


図4 $i=7.8\%$ における吐出側流速 ($D=10\text{cm}$, $d=2\text{cm}$)

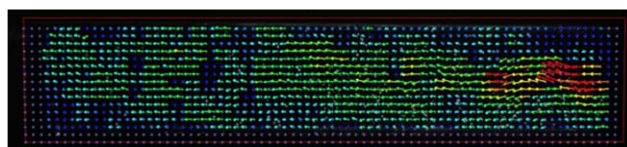


図5 $D=10\text{cm}$, $d=2\text{cm}$, $i=0\%$ の流速ベクトル

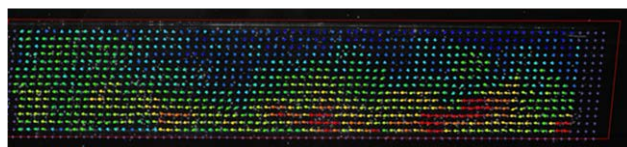


図6 $D=10\text{cm}$, $d=2\text{cm}$, $i=5.6\%$ の流速ベクトル

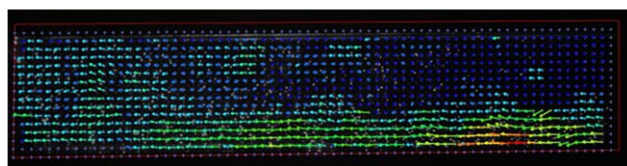


図7 $D=10\text{cm}$, $d=2\text{cm}$, $i=7.8\%$ の流速ベクトル

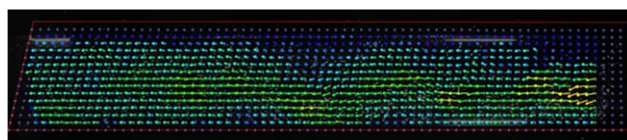


図8 $D=7.5\text{cm}$, $d=2\text{cm}$, $i=0\%$ の流速ベクトル

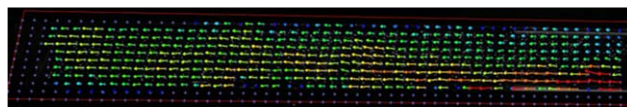


図9 $D=5\text{cm}$, $d=2\text{cm}$, $i=0\%$ の流速ベクトル

流動特性が理論式への適用性を損なうことはない。

参考文献

- 1) 黒川岳司, 小谷拓弥: ジェットポンプ式流動装置の装置形状と流動特性の関係に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 71, No.4, I_799-I_804, 2015.