

ジェットポンプ式流動装置の吸引・混合性能に及ぼす装置形状の影響

いであ株式会社 正会員 ○本多 康平

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 森 飛鳥

1. 序論

湖沼などの水質汚濁対策の一つとしてジェットポンプ式流動装置がある。黒川ら¹⁾は混合管内の混合が十分に行われたという仮定の下で理論式を確立し、流動特性と装置形状との関係性を評価している。なお、混合管内で駆動水と吸引水が十分に混合するには、混合管長 l と管径 d の比 ld が 5~6 倍必要であることがモデル実験から推定されている。ただし、これは駆動水の噴射口であるノズルの口径 ϕ が同一の条件での実験結果であり、 d と ϕ の比が変化すれば混合管内での流況が変わり、混合に必要な ld も変化するはずである。

そこで本研究では、ノズル口径 ϕ の違いも含めた装置形状の違いが混合管への吸引および混合特性に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、流速分布の測定と PIV 計測を中心として検討した。

2. 実験方法

実験は、開水路 (0.6m×0.6m×12m) に水深約 0.45m まで貯水し、その水中に混合管を設置し、ポンプにより駆動水を送水し、電磁流量計により駆動水流量 Q_d を測定した。この駆動水をノズルから混合管内へ噴出させて、吸引部と吐出部においてプロペラ流速計を用いて図 1 に示す位置で流速を測定した。

PIV 計測では、水路床からレーザーを照射し、混合管の吸引部付近からトレーサーを流し、側面からハイスピードカメラで撮影した動画を二次元流体解析ソフトウェアで解析した。

2.1 l と ϕ の変化による混合特性の実験

混合管はすべて管径 $d=10\text{cm}$ のアクリル円筒管を用いた。混合管長 l は、40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130cm の 10 種類、ノズル口径 ϕ は、1.3, 2.0, 3.0cm の 3 種類とし、 l と ϕ の組み合わせで計 30 通りの装置条件で実験を行った。PIV による解析は、 $l=40, 60, 80, 100, 130\text{cm}$ の 5 種類について吸引部、混合管内、吐出部で行った。

2.2 d の変化による混合特性の実験

ノズル口径 ϕ はすべて $\phi=1.3\text{cm}$ とし、混合管径 $d=5, 7.5, 10, 12.4, 14.4, 16.4\text{cm}$ の 6 種類とした。混合管長 l は、混合管内で十分に混合されてから吐出されることを前提とするために、 ld が 12~13 程度の十分に長い混合管を用いた。PIV による解析は、流速測定と同様の条件で吸引部、混合管内、吐出部で解析を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 l と ϕ の変化による影響

図 2 に $l=50, 80, 100, 130\text{cm}$ の吐出部鉛直方向の流

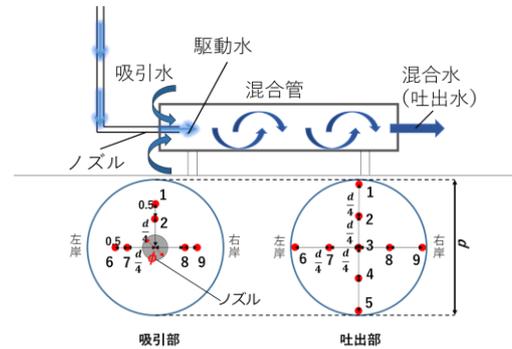


図 1 装置概略, 流速測定位置 (cm)

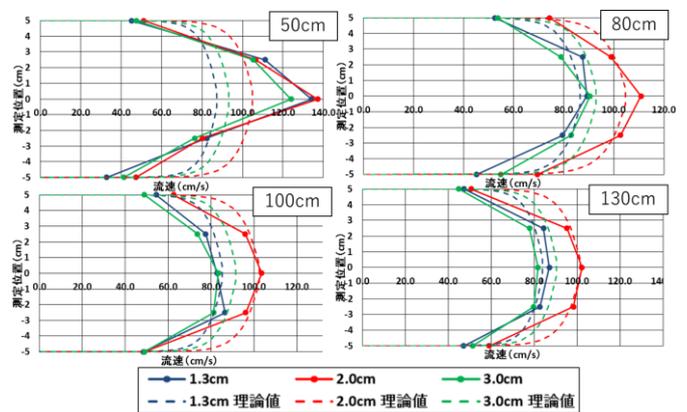


図 2 吐出部流速分布 ($l=50, 80, 100, 130\text{cm}$)

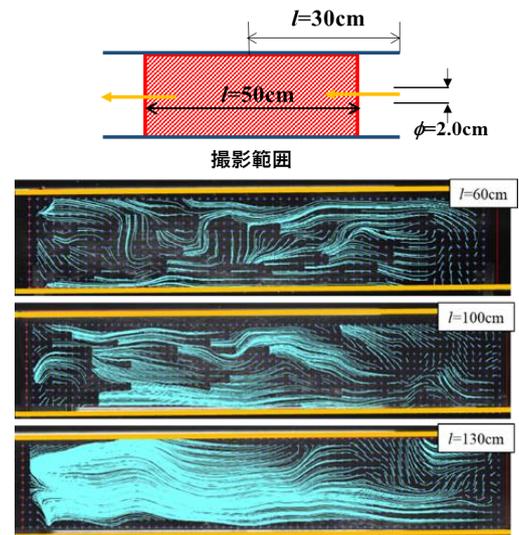


図 3 $l=60, 100, 130\text{cm}$ での混合管内部の流線

速の実測値 (測点 1, 2, 3, 4, 5) と、理論式¹⁾より、算出される平均流速を用いて、対数則から算定した流速分布を示す。また、吐出部鉛直方向と吐出部水平方

キーワード ジェットポンプ式流動装置, 水質改善, PIV, 混合特性, 吸引

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

向(測点6, 7, 3, 8, 9)の流速分布はほぼ同様な結果が得られたため、ここでは鉛直方向のみを示す。

はじめに、ノズル口径 ϕ の違いが吐出水流量 Q_3 に及ぼす影響について検討する。 $\phi=2.0\text{cm}$ で Q_3 が最も大きくなっている。これは $\phi=1.3\text{cm}$ ($\phi/d=0.13$)のように ϕ が小さいほど吸引部の面積が相対的に広がるため駆動水流量 Q_1 に対する吸引水流量 Q_2 の比が大きくなるものの、 ϕ が小さいほどノズル部での損失が増すため Q_1 が小さくなり、結果的に混合水の流量 $Q_3(=Q_1+Q_2)$ は大きくなる。逆に ϕ が大き過ぎると Q_1 は大きくなるが、管内に吸引される Q_2 は小さくなるため、結果的に $Q_3(=Q_1+Q_2)$ は大きくなる。つまり、本実験条件の中では $\phi=2.0\text{cm}$ ($\phi/d=0.2$)が、 ϕ を小さくすることによる Q_1 の減少と Q_2 の増加のバランスが最も良く、 $Q_3(=Q_1+Q_2)$ が大きくなったと推測される。

次に、混合管長 l による流速分布の違いから管内での混合についてみてみると、どのノズル口径 ϕ においても、管長 l が大きいものほど分布が一樣になっていることが分かる。ただし、 $l=50\text{cm}$ ($l/d=5$)では、いずれの ϕ でも管中央部の駆動水の影響が残り一樣になっておらず、 $l=80\text{cm}$ ($l/d=8$)において $\phi=1.3\text{cm}$ と 3.0cm でほぼ一樣になっている。一方、 $\phi=2.0\text{cm}$ は最も一樣になりにくくなっており、駆動水と吸引水が管内で混合しにくいことが分かる。これは前述と同様の理由が考えられ、 ϕ/d が大きいと Q_2 が少なく駆動水が拡がりやすく、 ϕ/d が小さいと逆に吸引水が支配的となり混合しやすい。

これらの結果から、 $\phi=2.0\text{cm}$ ($\phi/d=0.2$)で混合するのに最も l を要すると考えられる。また、すべてのノズル口径で $l/d=10$ 以上で一樣になり、 $l/d=13$ 程度で確実に一樣になることが分かるため、本実験では十分に混合を完了させるには $l/d=10$ は必要であると考えられる。

図3に、PIV計測で得られた $l=60, 100, 130\text{cm}$ での混合管内部の流線の一例を示す。撮影位置と吸引部の位置は固定であり、 $l=100\text{cm}$ や $l=130\text{cm}$ の図の左端は混合管の中間付近に当たる。図3より、 $l=60\text{cm}$ に比べて $l=100\text{cm}$ の流線は波長が長く、振幅が小さくなっており、蛇行が緩やかである。 $l=130\text{cm}$ ではその傾向がさらに顕著である。したがって、混合管内での混合が完了しているか否かが管内全体の蛇行や混合に影響を与え、管長が大きくなるほど、全体的な蛇行が緩やかとなり、流速分布が一樣になるまでの距離も短くなると言える。

3.2 d の大きさが流況に及ぼす影響

図4に吐出部における鉛直方向の流速分布を示す。なお、図4(b)は測定位置(cm)を管径 d (cm)で、各測点の流速(cm/s)を測点3(管中央)の流速(cm/s)で無次元化したものである。図4(a)から、 d を大きくすると、平均流速が小さくなる事が分かる。また、図4(b)から、 d を大きくしても、十分に混合するのに必要な l/d の混合管を用いているため、どの管でも概ね同様な分布であり、十分に発達した円管乱流の流速分布となっている。

図5では、吸引部および吐出部の流速の実測値と理

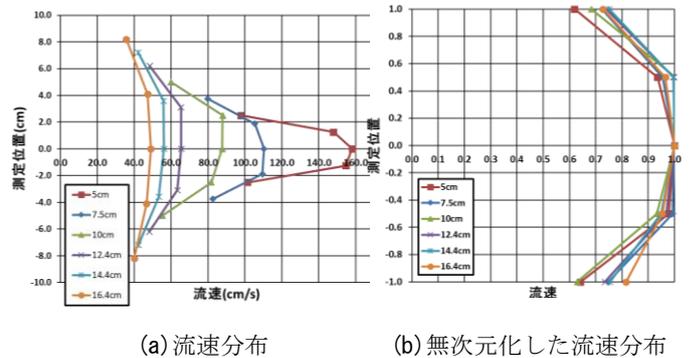


図4 吐出部流速分布

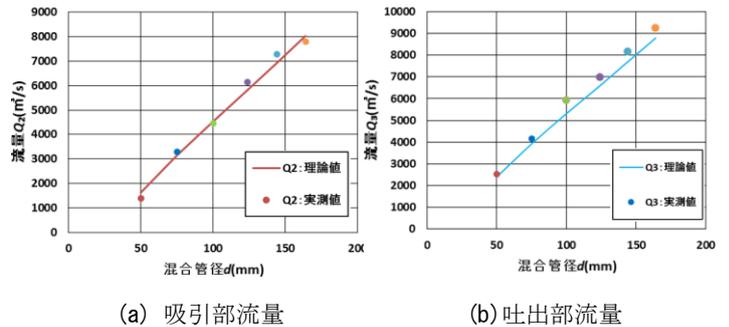


図5 流量の実測値と理論値の比較

論値から求めた流量を示す。なお、実測値の吸引部、吐出部流量は鉛直方向および水平方向の流速分布を積分して算定した。図5より、 d が大きくなれば、流量が大きくなる事が分かる。これは駆動水流量 Q_1 がほぼ一定であり、十分に混合されるという前提により、吸引水流量 Q_2 が大きくなったことが依存していると考えられる。また、実測値が理論値と概ね一致しているため、十分に混合が完了していることが考えられる。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) ノズル径 ϕ が大きいほどノズル内の抵抗が減り Q_1 が増加し、逆に吸引断面が小さくなることで Q_2 が減少するため、 $Q_3(=Q_1+Q_2)$ が最大となる ϕ/d が存在する。本実験では $\phi/d=0.2$ の場合であった。
- (2) 最適な ϕ/d の場合、最も Q_1 と Q_2 が混合しにくく、混合が完了するまで l/d が10以上必要である。
- (3) $l/d>10$ であれば、 d や l の大きさ、つまり混合管の大きさに依存せず、混合管内で十分に混合が完了する。
- (4) 混合管内では駆動水と吸引水が混合する過程で蛇行が生じるため、混合が完了しないほどの混合管長では吐出時に流速分布に偏りが生じやすい。管内の蛇行は、混合が完了するくらい管長が長いと、全体的な蛇行が緩やかとなり、流速分布が一樣になるまでの距離も短くなる。

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B1(水工学) Vol.71, No4, I_799-I_804, 2015