

ジェットポンプ式流動装置の装置形状が流動特性に与える影響

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員○森 飛鳥

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

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 l/d 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 l/d 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管内での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計測を中心に検討した。

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_1 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 $d=10\text{cm}$ の亚克力円筒管を用いた。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、十分混合していることを前提に実験を行う必要があったため、 l/d が12~13倍程度の十分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

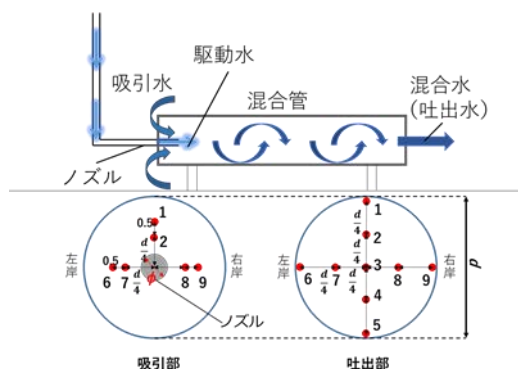


図1 装置概略, 流速測定位置 (cm)

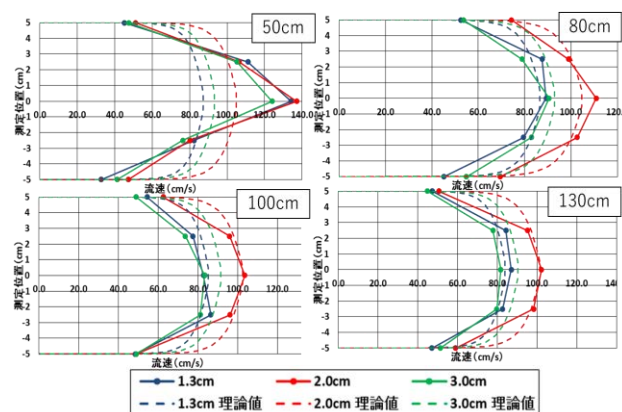


図2 吐出部流速分布 ($l=50, 80, 100, 130\text{cm}$)

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 $Q_3(=Q_1+Q_2)$ は大きくならない。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 $Q_3(=Q_1+Q_2)$ は大きくならない。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

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

管長 l が大きいものほど分布が一様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様になっておらず、 $l=80\text{cm}$ ($l/d=8$) において $\phi=1.3\text{cm}$ と 3.0cm でほぼ一様になっている。一方、 $\phi=2.0\text{cm}$ は最も一様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くことが分かる。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 $l/d=10$ 以上で一様になり、 $l/d=13$ 程度で確実に一様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。

3.2 d の大きさが流況に及ぼす影響

図3に吐出部鉛直方向の流速の実測値を流速分布の形で示す。図3(a)に各管径 d での測定位置と流速分布の関係を示す。図3(b)に測定位置 (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) でそれぞれ無次元化したものを示す。図4(a)から、 d を大きくすると、平均流速が小さくなることが分かる。また、図3(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となった。

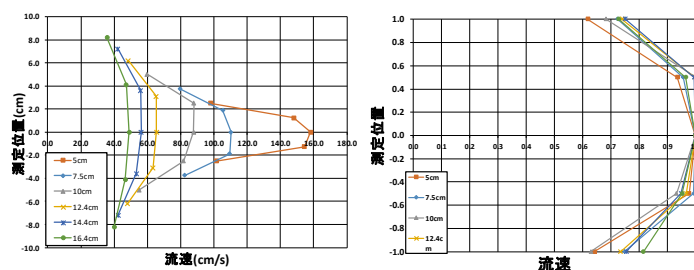
図4では、吸引部および吐出部の流速の実測値と理論値から求めた流量を示す。なお、実測値の吸引部、吐出部流量は鉛直方向および水平方向の流速分布を積分して算定した。図4より、 d が大きくなれば、流量が大きくなることが分かる。これは駆動水流量 Q_1 がほぼ一定であり、十分に混合されるという前提により、吸引水流量 Q_2 が大きくなったことが依存していると考えられる。また、実測値が理論値と概ね一致しているため、十分に混合が完了していることが考えられる。

図5にPIV計測による各混合管からの吐出部での流速ベクトル (上から $d=5\text{cm}$, 12.4cm , 16.4cm) を示す。いずれの管径も管長は十分にあるため、混合管内ではどの管径も吐出部付近ではすでに一様になっているが、吐出後の流動は管径による影響が大きく、管径が小さいほど吐出後の蛇行性が強く、逆に管径が大きいほど吐出後も一様になりやすいことが確認できた。これは、図3(a)に示すように管径が小さいほど噴流性が高いことに起因すると考えられる。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

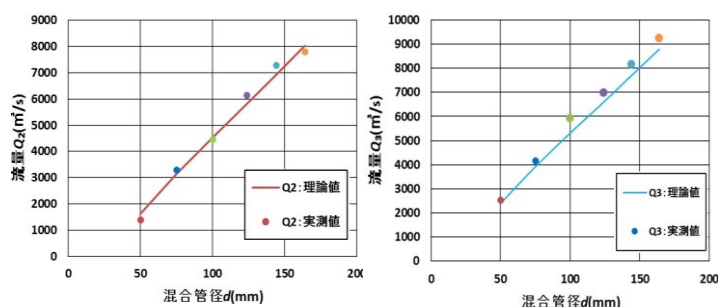
- (1) ϕ が大きくなるほどノズル内の抵抗が小さくなり、 Q_1 が増加し、吸引断面積が小さくなることから Q_2 が減少する。 $Q_3 (=Q_1 + Q_2)$ が最大流量を得られる ϕ/d が存在し、それは $\phi/d=0.2$ のときである。
- (2) 最適な ϕ/d のとき、最も Q_1 と Q_2 が混合しにくく、混合が完了するまで $l/d=10$ 以上必要である。
- (3) $l/d=10$ 以上であれば、 d の大きさに依存せず、十分



(a) 流速分布

(b) 無次元化した流速分布

図3 吐出部流速分布



(a) 吸引部流量

(b) 吐出部流量

図4 流量の実測値と理論値の比較

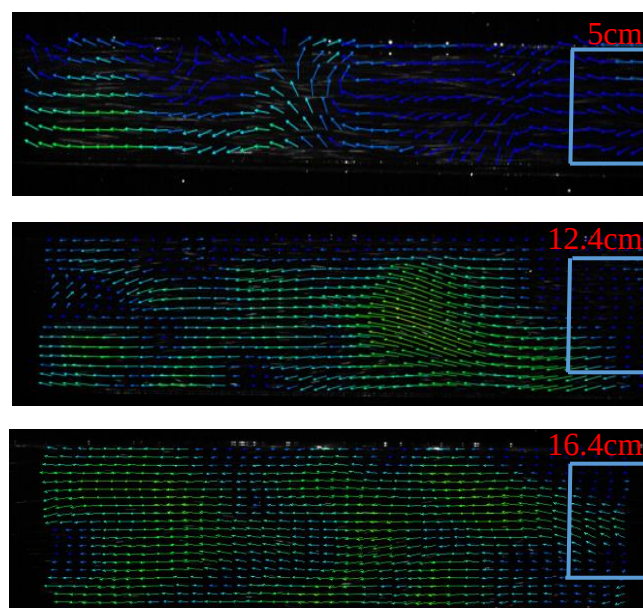


図5 吐出部の流速ベクトル

に混合管内で混合が完了することが確認できた。

- (4) 吐出後の流動は管径による影響が大きく、管径が小さいほど吐出時により噴流的になるため蛇行性が強くなり、逆に管径が大きいほど吐出後も一様になりやすいことが確認できた。

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.