

ジェットポンプ式流動装置の装置形状が混合管内の流動特性に及ぼす影響

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○本多 康平

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 舩田 卓治

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と混合管内の流動特性の関係を明らかにすることを目的とし、流速分布の測定と PIV 計測を中心に実験的に検討した。

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、ポンプによって駆動水を送水し、電磁流量計によって駆動水流量 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。

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 種類とした。ノズルは挿入量 (ノズル先端の混合管後端からの距離) を 2cm で同一とし、ノズル口径 $\phi=1.3, 2.0, 3.0\text{cm}$ の 3 種類とした。 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、管長 40, 60, 80, 100, 130cm の 5 種類について吸引部、混合管内、吐出部で行った。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。

3. 実験結果および考察

図 2 に管長 $l=50, 80, 100, 130\text{cm}$ の吐出部鉛直方向の流速の実測値と、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。

はじめに、ノズル口径 ϕ の違いが吐出水流量 Q_3 に及

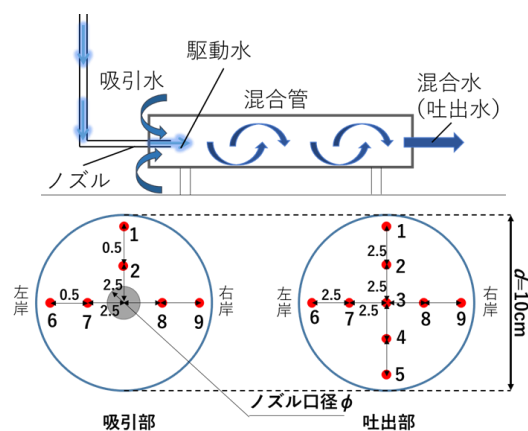


図 1 装置概略，流速測定位置 (cm)

ぼす影響について検討する。 $\phi=2.0\text{cm}$ で Q_3 が最も小さくなっている。これは $\phi=1.3\text{cm}$ ($\phi/d=0.13$) のように ϕ が小さいなどと駆動水流量 Q_1 に対する吸引水流量 Q_2 の比が大きくなるものの、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 (吐出水) の流量 Q_3 ($=Q_1+Q_2$) は大きくならないためと考えられる。逆に ϕ が大きいと Q_1 が大きくなるが、管内に吸引される Q_2 は小さくなるため、 Q_3 は大きくならない。つまり、本実験条件の中では $\phi=2.0\text{cm}$ ($\phi/d=0.2$) が両者をバランスよく確保でき、 Q_3 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、いずれの ϕ でも $l=50\text{cm}$ ($l/d=5$) では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 $\phi=3.0\text{cm}$ で初めて一樣になっている。一方、 $\phi=2.0\text{cm}$ のとき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。この結果、 $\phi=2.0\text{cm}$ ($\phi/d=0.2$) で混合するのに最も l を要したと考えられる。

管内の混合が吐出部では完了していると考えられる $l=100, 130\text{cm}$ では、理論値より実測値が小さくなっている。これは理論式中で考慮している摩擦損失など

キーワード ジェットポンプ式流動装置，蛇行，混合性能，流動特性，PIV

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

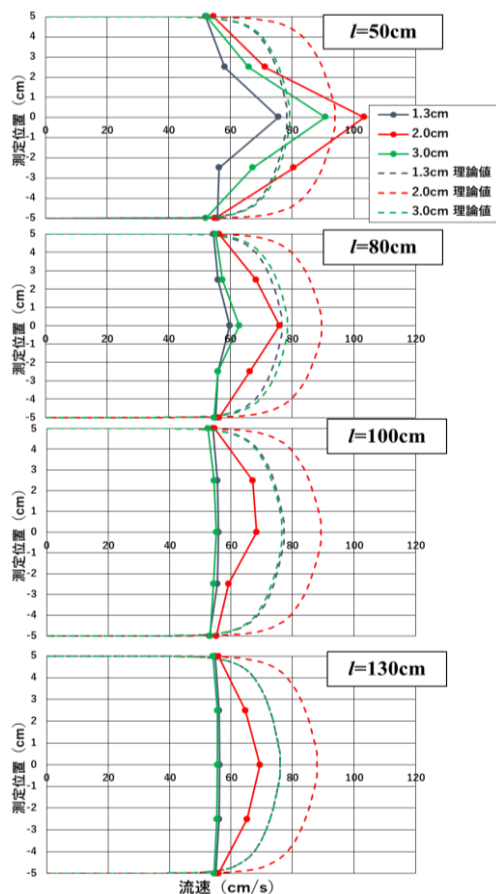


図2 吐出部流速分布 ($l=50, 80, 100, 130\text{cm}$)

外の何らかの損失によるものと考えられ、その一つとして管内で蛇行が生じ、これに伴う損失があると推測される。

そこで、ノズル口径 ϕ の違いによる蛇行の評価を行う。流速分布 (図2) から分かるように、同じ条件である測点2, 4, 7, 8で流速差が見られた。図3に測点2と4, 測点7と8の流速差をそれぞれ示す。どの ϕ でも l が小さいとき吐出部で流れに偏り (流速差) が見られ、 l が大きくなるほど偏りが小さくなっている。特に $\phi=3.0\text{cm}$ ($\phi/d=0.3$) では、最も偏りが小さくなりやすい。これは、 ϕ は駆動水の直径を意味することから、 ϕ が大きいほど、駆動水が管内を蛇行する余地が狭くなるためと考えられる。逆に、 $\phi=1.3\text{cm}$ ($\phi/d=0.13$) では、 ϕ が小さいため、駆動水の流速が大きくなる上、空間的自由度も高くなるためと考えられる。

図4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。撮影位置は吸引側の右端にそろえており、 $l=100\text{cm}$ 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

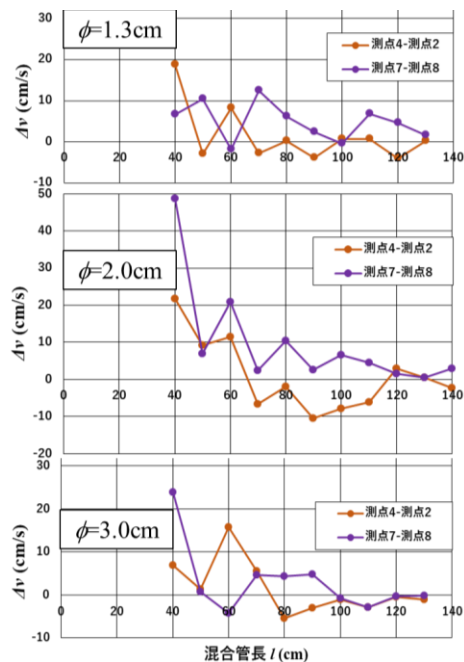


図3 吐出部流速差 Δv ($\phi=1.3, 2.0, 3.0\text{cm}$)

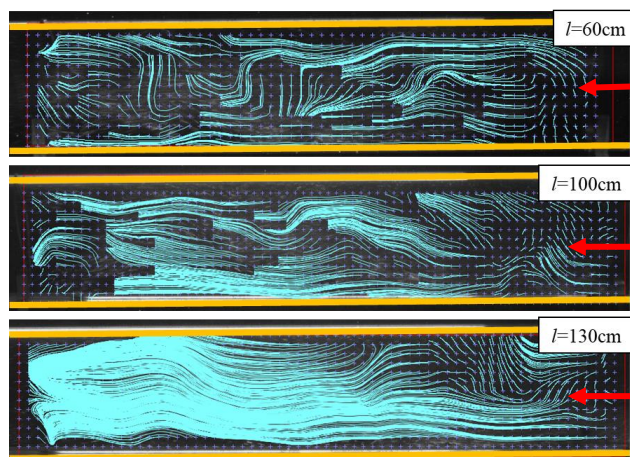


図4 $l=60, 100, 130\text{cm}$ での混合管内部の流線 ($\phi=2.0\text{cm}$)

長が大きくなるほど、全体的な蛇行が緩やかとなり、流速分布が一様になるまでの距離も短くなると言える。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 駆動水流量の低減と、駆動水流量に対する吸引水流量の割合の増加という二つの因子のバランスから、最大の吐出水流量が得られる最適な ϕ/d の条件が存在する。ただし、この最適な ϕ/d の条件下ではより長い混合管長を要することになる。
- (2) 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偏りが生じやすい。管内の蛇行は、管が長くなるほど、全体的な蛇行が緩やかとなり、流速分布が一様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