

## ジェットポンプ式流動装置の吸引および吐出過程に関する研究

呉工業高等専門学校 正会員 ○黒川 岳司  
 国土交通省中国地方整備局 非会員 柳川 航輝

### 1. はじめに

湖沼をはじめとした閉鎖性水域では富栄養化を要因とした水質汚濁が生じやすい。これは、表層と底層間の水温成層の形成が深く関係しており、この解決策として曝気循環法など流動性を高める手法の一つにジェットポンプを用いたものがある。これは、この装置による流動によって水温成層を緩めることで水域が持つ自浄作用を促せるもので、低コストで効果が期待できるが、形状や性能等不明確な点が存在する。

黒川ら<sup>1)</sup>は、ジェットポンプ式流動装置における最適な混合管の管長と管径およびノズル径に関する検討を行っている。管長が短いと十分に混合できず、管長に対して管径が約 5~6 倍以上必要であることを明らかにしている。また、PIV 計測からノズルの径が小さくなるほど、ノズルからの駆動水と周囲からの吸引水の混合が不十分となり、混合管内で蛇行を行いながら混合が不十分な状態で吐出されていくことが分かっている。このように、吸引と吐出はこの装置の流動機構の要であるが、吸引口・吐出口の流動について詳しく明らかになっていない。

そこで本研究では、混合管の吸引口や吐出口、またはそれら付近での流動の特性や混合管内の流動との関係を明らかにするために、流速分布測定や PIV 計測を行った。

### 2. 実験の概要

本研究では、幅 0.6m、長さ 12m の開水路を用いて、水位を 0.5m に保つように流出口を止水し、静水状態とした。

装置に関しては、混合管の管長は 100cm の 1 種類とし、管径は  $d=10\text{cm}$ 、 $d=7.5\text{cm}$ 、 $d=5\text{cm}$  の 3 種類、ノズル口径は  $\phi=1.3\text{cm}$ 、 $\phi=2\text{cm}$ 、 $\phi=3\text{cm}$  の 3 種類として、いずれもノズルを混合管に 2cm 挿入して実験を行った。

流速測定では、プロペラ式流速計を用いた。図 2 に流速の測定位置を示す。各測点において、変動成分を除くために 1 分間計測を 3 回行った。流量に関しては、電磁流量計を用いて駆動水の流量を計測し、駆動水流量を 30L/min~75L/min に保って実験を行った。

PIV 計測では、トレーサー(ダイヤイオン HP20)を吸引口の後方に投入し、水路の下部または上部からパルスレーザーを当てて、ハイスピードカメラ(ディテクト HAS-D72)で撮影して、二次元流体解析ソフトウェア(デ

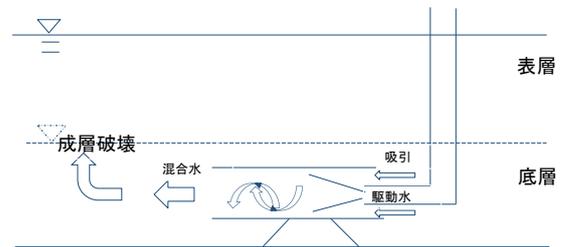


図1 ジェットポンプの概略

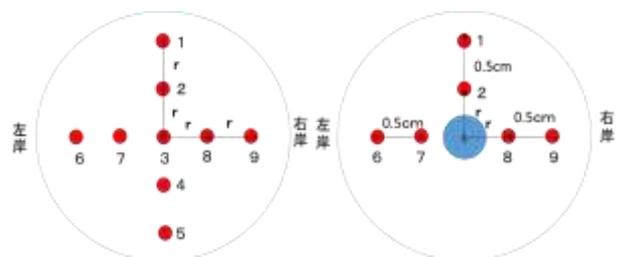


図2 流速測定位置 ( $r=d/4$ )

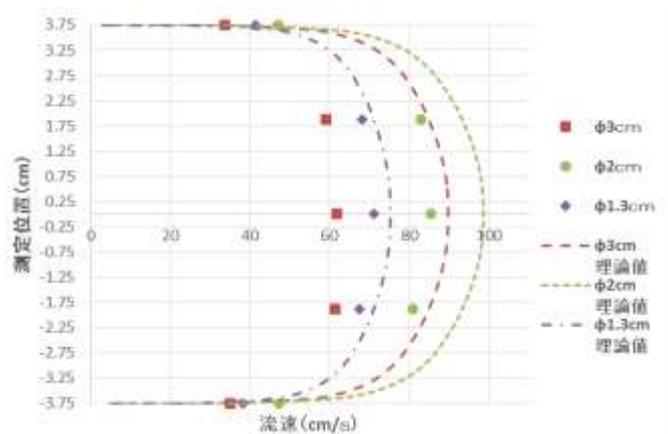


図3 混合管 7.5cm の時の流速分布

ィテクト Flownizer2D) で解析を行った。

### 3. 流速測定結果

図 3 に、一例として混合管 7.5cm の時の各ノズル径での実験で得た流速値と理論式から求めた流速分布を示す。実測値と理論値を比較すると、分布の傾向は概ね一致しているが、いずれの場合も理論値よりも実測値が遅くなっている。 $\phi=1.3\text{cm}$  では理論値との差は小さいが、ノズル径が大きいほどその差が大きくなっている。この原因として、例えばノズル管より下部の水路底面の存在によ

り吸引される領域が狭くなるなどの影響で、吸引が理論通りに行われていないことが考えられる。

#### 4. PIV 計測の結果及び考察

図 4, 図 5 および図 6 は, それぞれ混合管  $d=7.5\text{cm}$  のノズル口径  $\phi=1.3\text{cm}$ ,  $\phi=2\text{cm}$  および  $\phi=3\text{cm}$  における吸引部と吐出部の流況をベクトル図で表している。ただし, 流況が分かりやすいように, 吸引側は流速の大きさを色(赤色ほど大きい)と長さで表しているが, 吐出側は色のみで表している。なお, 混合管に対するノズルの鉛直位置は, 設置器具の都合によりノズル口径  $\phi=2\text{cm}$  でちょうど中央となり,  $\phi=1.3\text{cm}$  では中央よりやや下に設置され吸引面は上部の方が広がっている。  $\phi=3\text{cm}$  ではその逆で下部の方が広がっている。

図 4 ( $\phi=1.3\text{cm}$ ) を見ると, 吸引された水は駆動水と共に流下し, やがて駆動水と混合している。そのため, 吐出部ではすでに混合が完了しほぼ一様化されて吐出していることがわかる。また, 吸引側の上部と下部の違いについては, 管上部の間隔の方が広いため, 吸引は管の下部よりも上部の方が強いことがわかる。しかし, 図 5 ( $\phi=2\text{cm}$ ) を見ると, 管の上部と下部は間隔が同じであるのに関わらず上部からの吸引が強い。

これは, 循環流の影響があると考えられる。吐出側の吐出後の様子を見ると, 吐出された水は速さをあまり低下させないままあまりほぼ直線的に流れているものの, 流下に伴いやや上向きになっている。特に吐出流速が最も小さい  $\phi=3\text{cm}$  (図 6) では上昇流がよく見て取れる。また, 吸引側を見ても管上部では, どのノズル径においても斜め上方から流れ込んでいる様子が確認できる。つまり, 吸引側の吸引力によって, 管からの吐出後に緩やかに上昇し, ゆっくりと吸引側に戻るような循環流が生じており, この循環流の影響で上部からの吸引が助長されていると推測できる。なお, 循環流は目視においても確認できた。

図 7 に混合管の径が  $d=10\text{cm}$  の場合の吸引部, 吐出部および管内の流況を示す。上述したように循環流の影響で管上部の方がより吸引が盛んである様子がわかる。ただし,  $d=7.5\text{cm}$  (図 4) の場合と吸引後の様子が少し異なる。  $d=10\text{cm}$  では管内で流れが一様化されず下部のように流れが集中しており, これは吐出時まで続き下部から吐出流速が大きくなっている。これは, 混合管径に比べてノズル径が最も小さいため, 吸引水の流速に比べてノズルからの駆動水の流速が極めて大きく, さらにノズル位置も下部に偏っていたため, 管内での流れが下部に集中し, 十分に混合されないまま吐出したと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では, ジェットポンプ式流動装置の吸引および吐出過程を明らかにするために, 流速分布測定や PIV 計測を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 流動装置の上部で緩やかな循環流が生じ, これや水路底面の存在の影響などにより, 吸引流速や吐出流速は理論値よりもやや小さくなる。
- (2) 吸引側では, 循環流の影響により上部からの吸引が助長されている。

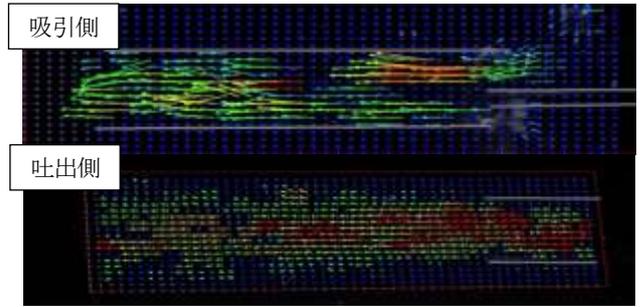


図 4  $\phi=1.3\text{cm}$   $d=7.5\text{cm}$  の時の様子

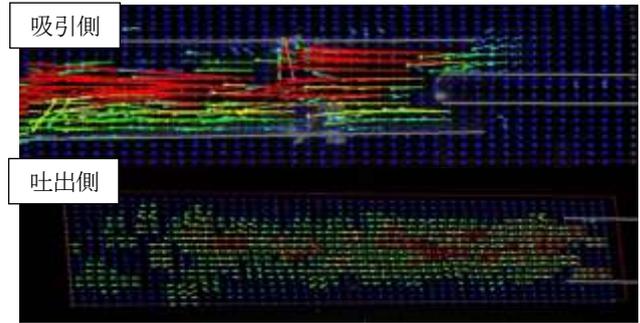


図 5  $\phi=2\text{cm}$   $d=7.5\text{cm}$  の時の様子

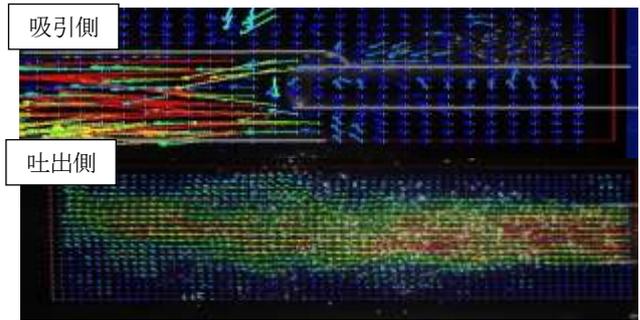


図 6  $\phi=3\text{cm}$   $d=7.5\text{cm}$  の時の様子

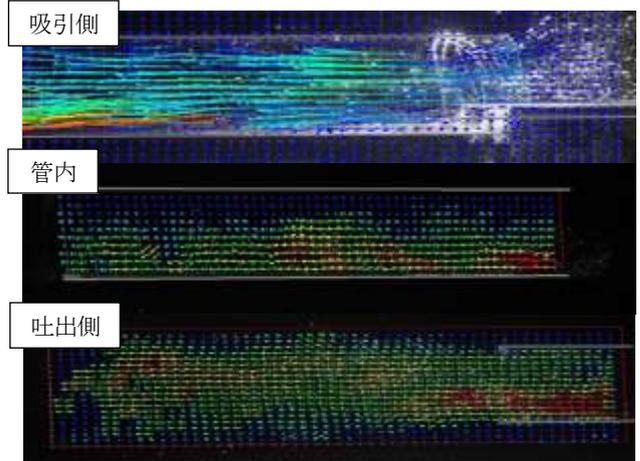


図 7  $\phi=1.3\text{cm}$   $d=10\text{cm}$  の時の様子

- (3) 吐出側では, 吐出水はあまり広がらずほぼ直線的に流れてから徐々に上方向に流れていく。

#### 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.