

ジェットポンプ式流動装置の混合管長さ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
ピーエス三菱 非会員 大田 涼人

1. はじめに

ジェットポンプ式流動装置（図1）は、成層化した水域において、底層に混合管を設置し、表層の水を駆動水として混合管内に送水・噴出させることで、周りの底層水が混合管内に吸引され（吸引水）、表層水と底層水を混合させる仕組みになっており、その混合した吐出水の緩やかな上昇流により成層を破壊・緩和させる装置である。これまでの研究で、駆動水と吸引水を十分に混合させるには、混合管の管長が管径の10倍程度必要であるとされている。ただし、混合管内での混合の過程は不明確な点が多いため、上瀧ら²⁾は、混合が完了する長い混合管を使用し、PIV計測によって混合過程を検討した。そこで本研究では、管長が管径の10倍未満の混合管が完了しない4種類の混合管でPIV測定を行い、混合の様子を比較することで、混合管の長さが混合過程にどのように影響するのかを明らかにすることとした。

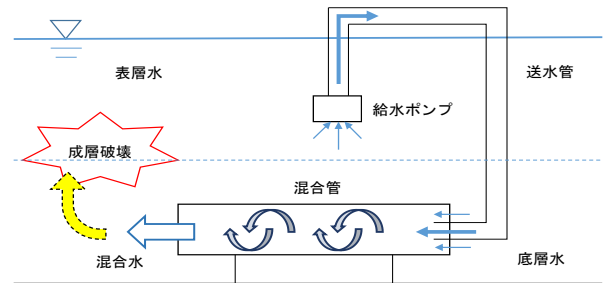


図1 ジェットポンプ式流動装置

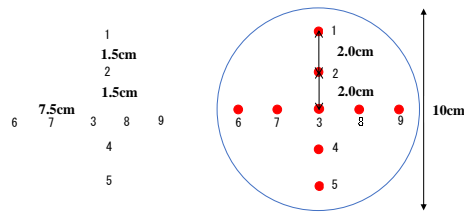


図2 流速の測定位置

2. 実験方法

開水路（幅0.6m×長さ10m×高さ0.6m）に水深0.45mまで貯水し、駆動水を噴出するノズル（ノズル管径 $\phi=3.0\text{cm}$ ）と混合管を図1のように設置する。なお、混合管は管径をそろえ（ $d=10\text{cm}$ ）、管長の異なる4種類（ $l=50\text{cm}$ 、 60cm 、 70cm 、 90cm ）を用いた。混合管内のPIV測定は、水路床からレーザー（カトウ光研 G2000-Y）を照射し、混合管の吸引部付近からトレーサー（ダイヤイオン HP20）を流し、水路側面からハイスピードカメラ（ディテクト HAS-D72）で撮影したデータを二次元流体解析ソフトウェア（Flownizer2D）で解析した。

また、PIV測定が正しく行われていることを根拠づけるため、混合管の吐出部の流速を図2の測定位置で、プロペラ式流速計（ケネック VOT2-100-10-B）を用いて測定した。

なお、上瀧ら²⁾はPIV測定で定量的な評価を行うため、1秒間あたりの撮影枚数を既往研究¹⁾の100FPSから500FPSに増やした。本研究ではさらに正確な評価ができるように1000FPSに増やした。

3. 実験結果及び考察

3.1 プロペラ式流速計とPIV測定の流速比較

図3に吐出部鉛直方向（図2）におけるプロペラ式流速計及びPIV測定による流速の実測値を示す。

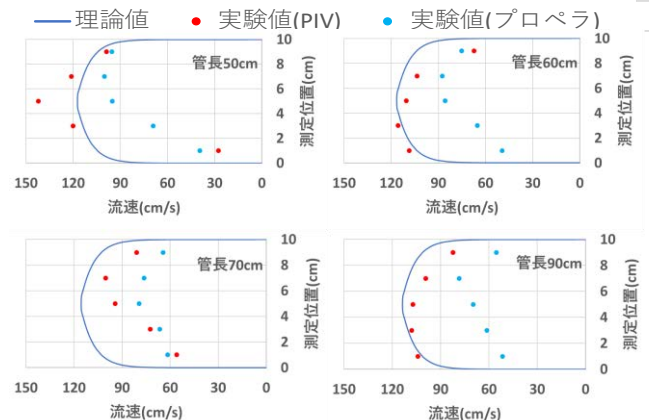


図3 吐出部鉛直方向での流速分布比較

図中には、混合が完了したと仮定し対数分布則から算出した理論値¹⁾も実線で示している。

プロペラ式流速計による測定値とPIVによる測定値は位置ごとの流速の変化の仕方も似ているため、PIV測定は正しく行われているといえる。

次に、理論値と実測値を比較すると、管長50cm、60cm、70cmでは理論値よりも中心付近が高い分布で混合が完了していないが、管長90cmでは理論値に近い形となり混合がほぼ完了しているといえる。

3.2 地点ごとにおける流速分布の変化

それぞれの管の各流下地点の流速分布を図4に示

キーワード ジェットポンプ式流動装置、混合管、連行、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

す。いずれの管でも流速分布が徐々に緩やかになっている。また、各管の吐出部付近の流速分布（黄緑色の線）は、管長が長いほど滑らかな流速分布となっている。これらのことから、駆動水のノズルからの噴出により中心のみ流速が大きい状態から、流下に伴い壁面付近の水の連行が進み、混合域が広がっていくことが確認できるとともに、管長が管径の10倍に近い管長 90cm の管のみ混合が概ね完了していることがわかる。

図5に各混合管での40cm地点での流速分布を示す。それぞれの混合管で多少のばらつきはあるものの、管の中心部と壁面との流速の差にあまり大きな差がないことがわかる。このことから、流下に伴う混合の進行度合いには、管内での混合が完了しているか否かに関わらず、同じ流下距離の位置では同様の混合の様子となると考えられる。

3.3 地点ごとにおけるベクトルの流動の変化

図6に一例として管長50cmのある瞬間の流動の様子を示す。赤いベクトルが流速の大きい部分であるが、流下するに従い上部または下部に流速が大きいところが拡がり蛇行しているように見られる。ただし、この蛇行のような形は次の瞬間には場所が変化していた。つまり、混合管内での蛇行は時々刻々と不規則に揺動しながら流下することがわかった。

そこで、図7に、4つの混合管を代表して管長90cmの、管の下端から25cm、50cm、80cmの位置、管中心から上部2cmの点での流速ベクトルの変動の様子を示す。流下が進むにつれ、流れに乱れが小さくなっていったことが確認できる。このことから、混合が進むにつれ、流れが安定することがわかった。最後に、管全体での流動の変化をみていくため、図8に混合管全体での平均流速ベクトル（図7で示す流速ベクトルの変動の平均）の変化について示す。全体的に、混合管上部では上向き、中心部ではおおよそ水平、下部では下向きの流れが生じている。また、流下が進み混合が進行していくにつれ、どの鉛直位置でも流れが水平に近づき、吐出部付近では全体でほぼ水平となっている。このことから、混合していく過程の中で、中心部から壁面へと拡がりながら流下していき、混合が進行していくにつれ、鉛直方向の乱れ成分の小さい、つまり流速分布としては対数分布で表せる流れに近づいていくことが確認できた。

4. 結論

本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 混合の進行度合いは、混合が完了しているか否かに関わらず、同じ流下距離の地点では同様の様子がみられる。
- (2) 混合管内では、瞬間的に流れに蛇行のような形

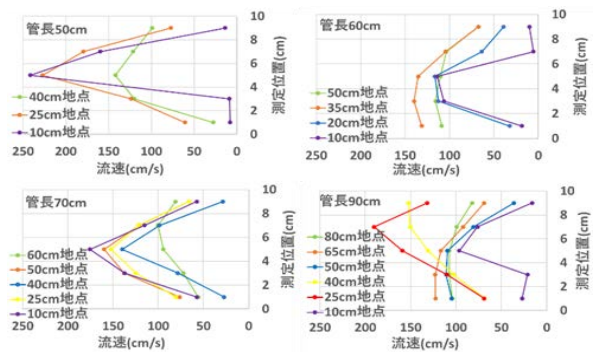


図4 各地点での流速分布比較

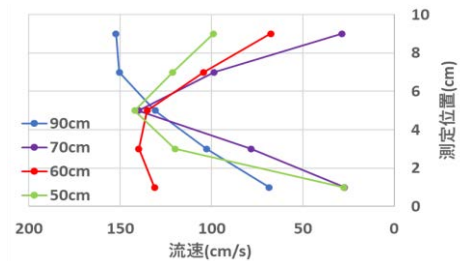


図5 各混合管での40cm地点の流速分布比較



図6 管長50cmの流動の様子

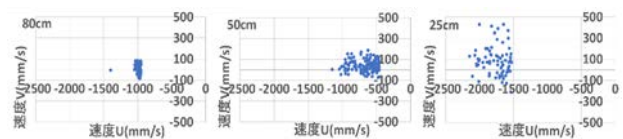


図7 管長90cmの混合管の25cm、50cm、80cmの位置の管中心から2cmでの流動の変化

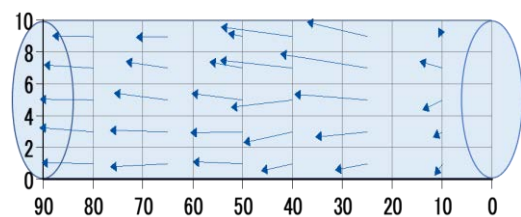


図8 90cmの混合管でのベクトルの変化の様子

が見られるが、この蛇行は時々刻々と不規則に揺動しながら流下する。

- (3) 混合の過程では、混合管中心部分では水平、上部・下部では壁面に向かう流れが生じ、管全体へと拡がっていく。また、混合が進むにつれ、流向が水平に近づき、対数分布で表せる流速分布の流れに近づいていく。

参考文献

- 1) 本多康平 他：ジェットポンプ式流動装置の装置形状と吸引・混合特性の関係，第74回土木学会年次学術講演会，II-27，2019
- 2) 上瀧大樹 他：ジェットポンプ式流動装置の混合管内における混合過程，第73回土木学会中国支部研究発表会，II-15，2021