

ジェットポンプ式流動装置における流動性能に及ぼす装置形状の影響

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 西岡 恵里奈

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 小谷 拓弥

呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司

1. はじめに

閉鎖性水域における水質汚濁の改善方法としてジェットポンプ式流動装置を用いる方法がある．しかし，その形状と性能の関係にはまだ不明な点が多い．そこで，本研究では装置形状として円筒状のものと縮小部を設けたものを用いて実験を行い，実験結果と一部修正した理論式から得られる理論値を比較・考察することで，装置形状と流動性能の関係を求めていく．

2. ジェットポンプ式流動装置の構造と原理

表層水は駆動水ポンプによって駆動水(流量 Q_1)として混合器内に噴射され，噴流が発生する．この駆動水(流量 Q_1)によって，モデルの中の流速が増加しモデルの出口付近で負圧が発生する．その結果，モデル入口付近の水圧が低下して，吸引水(流量 Q_2)が発生し，駆動水と吸引水が混合した流量 $Q_3(=Q_1+Q_2)$ となって放出される．

図-1 は，管路の途中が縮小している形状の装置の駆動水と吸引水が混合しているときのエネルギーを示したものである．図中の記号について，駆動水の流量を Q_1 ，ノズルの直径を d_1 ，断面積を A_1 ，流速を v_1 としている．同様に吸引水について Q_2 ， d_2 ， A_2 ， v_2 ，縮小していない区間(l_2-l_3)について Q_3 ， d_3 ， A_3 ， v_3 ，縮小中の区間 l_3 について d_5 ， A_5 ， v_5 ，放出後について v_4 としている．また断面 I，II，III の水圧をそれぞれ P_1 ， P_2 ， P_3 とする．本研究では l_1 は1cmに固定し，途中に縮小部を設けない形状については $l_3=0$ ， $d_5=d_3$ とする．

以下の式が流速比 v_1/v_2 を求めるための理論式である．

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

ここで， a ， b ， c は各断面積や損失係数から構成される係数であり，今回の実験では以下のように設定した．

$$a = \left(k_1 + k_3 \frac{A_1^2}{A_3^2} \right), b = \left(2k_3 \frac{A_2 A_2}{A_3^2} \right), c = \left(k_2 + k_3 \frac{A_2^2}{A_3^2} \right)$$

$$k_1 = (-2 - f_{se} + \alpha)A_1, k_2 = (-2 + \alpha + f_e + f_1 \frac{l_1}{d_1})A_2$$

$$k_3 = \left(2 - \alpha + f_0 + f_2 \frac{(l_2 - l_3)}{d_2} + f_{gc} \frac{A_3^2}{A_5^2} + f_{ge} f_{se} \frac{A_3^2}{A_5^2} + f_3 \frac{l_3 A_3^2}{d_5 A_5^2} \right) A_3$$

$$+ \left(-f_2 \frac{(l_2 - l_3)}{d_2} - f_0 - f_{gc} \frac{A_3^2}{A_5^2} - f_{ge} f_{se} \frac{A_3^2}{A_5^2} - f_3 \frac{l_3 A_3^2}{d_5 A_5^2} \right) A_1$$

ここで， Δh ：ポンプによるエネルギー水頭， α ：管内流速分布が一樣でないために補正するエネルギー補正係数（本研究では $\alpha=1.1$ とする）， f_e ：入口損失係数， f_0 ：出口損失係数， f_{se} ：急拡損失係数， f_{ge} ：漸拡損失係数， f_{sc} ：急縮損失係数， f_{gc} ：漸縮損失係数， f_{1-3} ：摩擦損失係数， f_{in} ：駆動水ポンプ内の形状損失である．

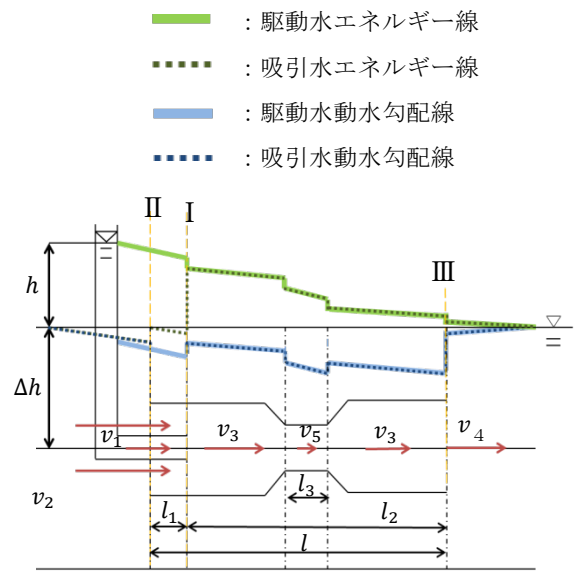


図-1 装置内のエネルギー線と動水勾配線

3. 理論値と実験値の比較による考察

$d_3 = 10\text{cm}$ において d_5 を変化させ、理論式から算出した値と同条件での実験値の比較を行う。縮小部を設けない場合（円筒状： $d_5 = d_3 = 10\text{cm}$ ）については図-2に記載する。縮小部を設けるものについて、 $d_5 = 7.5\text{cm}$ の場合を図-3、 $d_5 = 6.5\text{cm}$ の場合を図-4、 $d_5 = 5.0\text{cm}$ の場合を図-5にそれぞれ記載する。縮小部を設けない場合、全長40cm以下の短い管では理論値と実験値に大きな隔たりがある。これは、理論式を立てる際に駆動水と吸引水は管内で即座に混合すると仮定したが、管長が短いと十分に混合される前に放出されたことにより生じたと考えられる。

縮小部を設けた管では、縮小管径が小さくなることによる理論値の変化が実験値に比べて急激である。これは理論式における断面の縮小・拡大時のエネルギー損失を考慮する際の仮定が、急縮・急拡（漸縮・漸拡の効果なし）とし、さらに断面変化に伴う混合は即座に行われるとしているためで、実際の流れの様子は、縮小部の管径を小さくすると流れが管壁まで当たらず混合が十分に行われていないことが推測される。

そこで、このことを明らかにするために、縮小部を設けた場合の縮小・拡大部の漸縮損失係数 f_{gc} と数漸拡損失係数 f_{ge} を、それぞれの実験値より最小二乗法により求めた（表-1）。しかし、断面の縮小と拡大による影響を明確に分けることができなかつたため、理論式より断面の縮小による損失と拡大による損失はともに縮小部の速度水頭に各係数をかけて求めることを考慮して、これらを合計して $f_{all}(=f_{gc}f_{sc}+f_{ge}f_{se})$ として求めた。比較のために示す急縮および急拡の損失係数の合計($f_{sc}+f_{se}$)に比べて、 $d_5 = 6.5\text{cm}$ と 5.0cm の場合の f_{all} は極めて小さくなっており、つまり縮小部の管径が小さ過ぎると、流れが管壁まで当たらず混合の効率が劣ることが明らかとなった。

4. 結論

理論式を立て、実験結果と比較することで装置形状と流動性能の関係について検討を行い、次のような知見を得た。

- (1) 混合を行うためには十分な長さが必要であり、縮小部の有無によらず、管長の変化による流動性能への影響は小さい。
- (2) 縮小部を設けた場合の損失は、縮小部を通過することに起因する損失として、断面の縮小・拡大による損失を合わせて求めることができる。
- (3) 縮小部の管径が小さ過ぎると、流れが管壁まで当たらず混合の効率が悪くなり、結果として、円筒状の装置形状の方が高い流動性を得ることができると言える。

参考文献

- 1) 山本龍之介,黒川岳司,濱本光蔵,横山英里：噴流型流動促進装置の装置形状と流動特性に関する理論的検討：土木学会第65回年次学術講演会講演概要集,Ⅱ-014(2010)

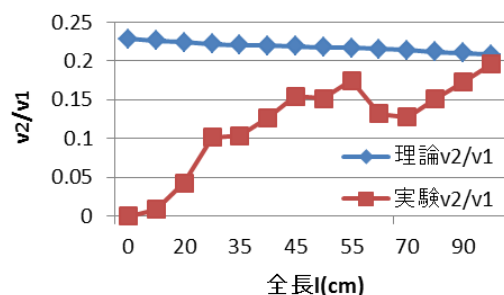


図-2 理論値と実験値の比較($d_5 = 10\text{cm}$)

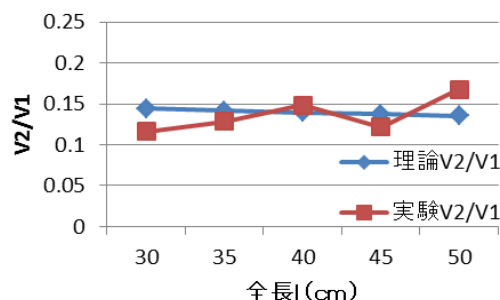


図-3 理論値と実験値の比較($d_5 = 7.5\text{cm}$)

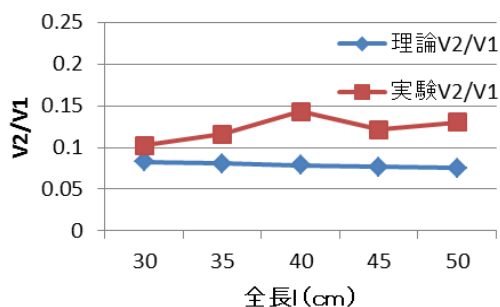


図-4 理論値と実験値の比較($d_5 = 6.5\text{cm}$)

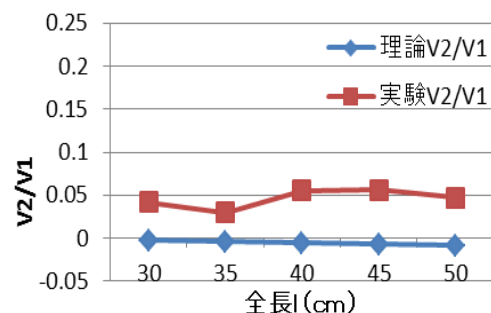


図-5 理論値と実験値の比較($d_5 = 5.0\text{cm}$)

表-1 断面縮小・拡大部の損失係数

$d_5(\text{cm})$	f_{gc}	f_{ge}	f_{all}	$f_{sc} + f_{se}$
7.5	0.975	0.65	0.356	0.430
6.5	0.6	0	0.201	0.670
5.0	0.2	0.225	0.212	0.990