

ジェットポンプ式流動装置の攪拌混合および吸引性能の効率化に関する研究

呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司
中国電力株式会社 非会員 小野 翔輝

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専攻科 学生会員 西岡恵里奈

1. 序論

貯水池などでの水質改善手法として期待されるジェットポンプ式流動装置は、表層水が混合管内に送られ駆動水として噴射されると、その噴流に伴い混合管内で水圧が低下して後方から周囲の底層水が吸引され、混合管内で表層水(駆動水)と底層水(吸引水)が攪拌混合されてから放出される。混合管内で十分に混合させるには管長 l は管径 d との比で 5~6 倍以上必要であることが明らかになっている¹⁾。この $l/d > 6$ という条件は、実スケールでは装置の長大化が懸念され、貯水池への適用が困難となる可能性がある。そこで本研究では、ジェットポンプ式流動装置の攪拌混合・吸引性能の効率化、つまり流動性能の向上と装置規模の縮小を目的として、混合管への縮小部の挿入や、混合管内への障害物の設置など装置形状の変更を提案し、様々な装置形状において実験的に検討した上で、現象を定式化して理論的な評価を加えることとした。

2. 理論式

図1に、途中に縮小部を設けた混合管での駆動水と吸引水が混合した後、吐出水として前方に放出されているときのエネルギー線と動水勾配線を示す。実線は駆動水、点線は吸引水を表している。駆動水に関して、流速を v_1 、ノズル径を d_1 、ノズル断面積を $A_1 (= \pi d_1^2 / 4)$ 、流量を $Q_1 (= v_1 A_1)$ とし、吸引水では v_2 、 $A_2 (= A_3 - A_1)$ 、 $Q_2 (= v_2 A_2)$ とする。縮小させていない区間長($l_2 - l_3$)において v_3 、 d_3 、 $A_3 (= \pi d_3^2 / 4)$ とする。縮小させている区間長 l_3 では v_5 、 d_5 とし、吐出後は v_4 とする。また、縮小管を挿入しない混合管については、 $l_3 = 0$ 、 $d_5 = d_2$ となる。

断面①、②、③においてベルヌーイの定理と運動量式を適用すると流速比 v_2/v_1 を求める理論式は次式で表すことができる。

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

ここで、 a 、 b 、 c は各断面積や損失係数などから構成される係数であり、それぞれ以下のように表される。

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

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

$$k_3 = \left(2 - \alpha + f_0 + f_2 \frac{(l_2 - l_3)}{d_2} + f_{gc} \frac{A_3^2}{A_5^2} + f_{ge} f_{se} \frac{A_3^2}{A_5^2} + f_3 \frac{l_3 A_3^2}{d_5 A_5^2} \right) A_3 + \left(-f_2 \frac{(l_2 - l_3)}{d_2} - f_0 - f_{gc} \frac{A_3^2}{A_5^2} - f_{ge} f_{se} \frac{A_3^2}{A_5^2} - f_3 \frac{l_3 A_3^2}{d_5 A_5^2} \right) A_1$$

ここで、 α : エネルギー補正係数 ($\alpha = 1.1$)、 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_{sc} : 急縮損失係数、 f_{ge} : 漸拡損失係数、 $f_1 \sim f_3$: 摩擦損失係数、 f_v : 障害物による損失係数である。

混合管内に障害物を設置した混合管については、縮小管を挿入しない混合管($l_3 = 0$ 、 $d_5 = d_2$)に障害物による損失が加味されるとして、 k_3 は次式のようになる。

$$k_3 = \left(2 - \alpha + f_0 + f_2 \frac{l_2}{d_2} + f_{sc} + f_v \right) A_3 + \left(-f_2 \frac{l_2}{d_2} - f_0 - f_{sc} - f_v \right) A_1$$

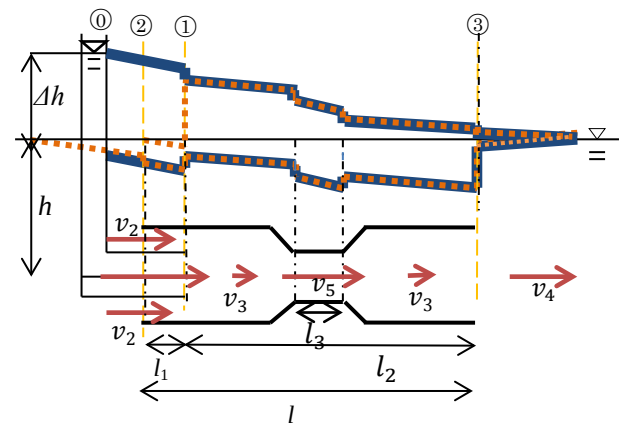


図1 エネルギー線と動水勾配線

キーワード 貯水池、ジェットポンプ式流動装置、噴流、損失水頭

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

3. 理論値と実験値の比較による考察

管長の吸引性能への影響として、流速比 v_2/v_1 の理論値と実験値を比較したものを図 2 に示す。理論値は、摩擦損失のため管長が長くなるとともに漸減している。実験値は短い管長では理論値と合致せず極端に低い値となっており、管長が長くなるほど理論値に近づいているが、これは、理論式では駆動水と吸引水が短い管長でも即座に混合すると仮定しているためで、実際に十分な混合には、管長 50cm~60cm 以上が必要であることを示している。

そこで、管長 50cm の混合管での縮小管挿入の効果の検討として、 v_2/v_1 の理論値と実験値を比較したものを図 3 に示す。なお、理論値は急縮・急拡していると想定したものと漸縮・漸拡していると想定した 2 つの理論値で検討する。縮小管の管径を小さくすると、実験値は混合管途中を漸縮・漸拡していると考えた理論値にほぼ一致していることが分かる。混合管を縮小させていない場合で十分に混合させるためには、混合管の管長はかなり長くなければならなかったが、混合管の途中を縮小させることで混合管の管長 l が 50cm と比較的短い混合管であっても混合管内で十分に駆動水と吸引水を混合させることが可能だということが分かった。しかし、混合管の途中を 10cm~7.5cm, 7.5cm~6.5cm と 10~20%, 縮小させる毎に、実験値、理論値ともに 20%程度も低下し、吸引性能が極端に悪くなっていることも分かる。このジェットポンプ式流動装置の流動性能は、いかに効率よく負圧を発生させて、底層水を吸引して、混合管内で駆動水と混合させるかにかかっている。そのため、混合管の途中を縮小させることで、混合管内で十分に駆動水と吸引水を混合させることができても、吸引性能が低下しては、効率的な装置形状であるとはいえない。

そこで、混合管の途中を縮小させることなく、混合管内で十分に混合させることを検討する。管長 50cm の混合管内に障害物を設置した場合と、混合管内で十分に混合させることができ最も吸引性能が良い管長 90cm の円筒型の混合管で比較したものを図 4 に示す。混合管内に大きいサイズの障害物(円錐(大), 半球(大))を設置した場合の、実験値と理論値がほぼ合致していることから、混合管内で十分に駆動水と吸引水を混合させることができていると考えられる。しかし、円筒型の混合管と比べると、混合管内に障害物を設置することで、吸引性能が 20%程度低下してしまうことが分かった。小さいサイズの障害物(円錐(小), 半球(小))と漸変管については、実験値の値は小さく、理論値と全然合致していないことから、吸引性能は良くなく、混合管内で駆動水と吸引水を十分に攪拌混合させることもできていないことが分かる。

4. 結論

装置形状を工夫することによって、混合性能は高められ、10~20%の装置の短縮化が可能であることを明らかにすることができた。しかし、吸引性能においては、構造上の原因から円筒型よりも 20%程度低下することも明らかになった。

参考文献

- 1) 小谷拓弥, 黒川岳司: ジェットポンプ式流動装置の吸引・攪拌混合性能の向上に関する実験的研究, 第 65 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, II-33, 2012.5

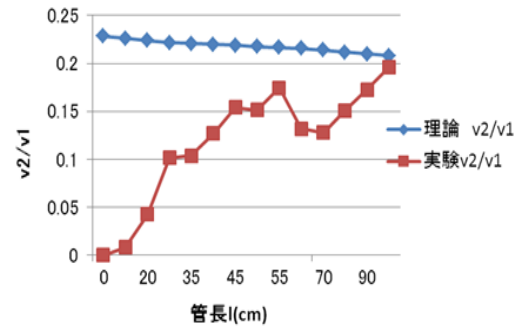


図 2 管長 l の変化による理論値と実験値

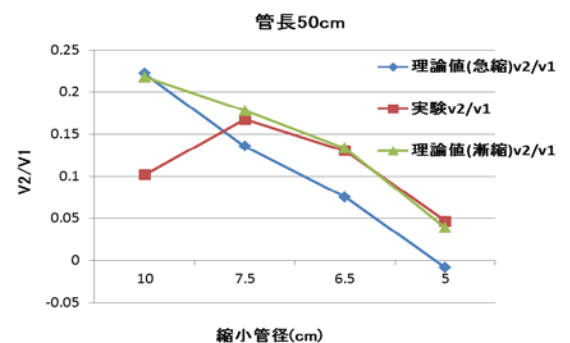


図 3 縮小管径の変化による理論値と実験値

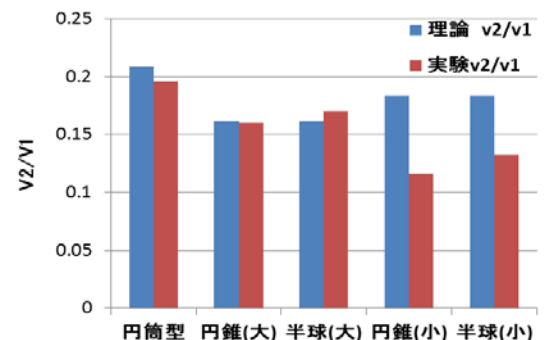


図 4 障害物を設置による理論値と実験値