

噴流型流動促進装置の装置形状が吸引・噴流性能に及ぼす影響

呉工業高等専門学校専攻科 学生員 ○濱本 光蔵
日本たばこ産業株式会社 非会員 西岡 孝哲
呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司

1. 序論

貯水池等の富栄養化問題を解決する手段の1つとして、噴流型流動促進装置が挙げられる。しかし、噴流型流動促進装置の装置形状を変化させると噴流の流速や吸引量が変化するなど、装置形状と流動特性の関係は不明確である。そこで本研究では、噴流型流動促進装置の模型を用いて実験的に両者の関係を検討するとともに、流動促進装置の流動原理から流速比の理論式を導出し、定量的な評価を行った。

2. 流動原理および理論式

図1は流動促進装置の原理をエネルギー的に表した図である。図中の実線はエネルギー線、破線は動水勾配線を表している。表層水がポンプにより圧送され、駆動水（流量 Q_1 ）としてノズルから噴出されると円筒内で負圧が発生する。これにより、円筒内と円筒後方の間に水压差が生まれ、吸引水（流量 Q_2 ）という円筒後方からの円筒内への連行流が発生する。その結果、円筒部から流量 Q_1+Q_2 の吐出水（ Q_3 ）が噴出され、装置前方に送水される。ここで、装置本体部のノズル出口を点①、吸引水が発生する円筒部後端を点②、円筒部前端を点③とし、各断面にベルヌーイの定理と運動量の定理を適用すると、駆動水の流速 v_1 と吸引水の流速 v_2 の比は2次方程式の形となり、次式のような理論式を導くことができる。なお、 A_1 、 A_2 、 A_3 はそれぞれ点①、②、③の断面積であり、 k_1 、 k_2 、 k_3 は断面積 A_1 、 A_2 、 A_3 と各損失係数を含む係数である。

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad a = k_1 + k_3 \frac{A_1^2}{A_3^2}, \quad b = 2k_3 \frac{A_1 A_2}{A_3^2}, \quad c = k_2 + k_3 \frac{A_2^2}{A_3^2}$$

3. 実験装置および実験方法

装置本体部は(株)共立の「みずきよMk-III」の5分の1スケールの模型を使用した。本体部に設置する円筒部は、基準となる管長20cmの円筒を含め、図2に示す7種類のモデルを厚さ1mmの塩化ビニルで作成した。ここで、図2に示す寸法のうち、 l が管長、 d_1 、 d_2 がそれぞれ吐出側と吸引側の管の直径である。また、円筒の名称として、 $d_1=d_2$ の円筒を円柱型、 $d_1>d_2$ の円筒を漸縮型と呼ぶこととする。なお、ポンプは吐出口径20mm、全揚程6m、最大吐出量50L/minのものを使用した。

実験は幅60cmの開水路で、下流端を堰き止めて水深50cmの静水状態に保って行った。装置内に送水するポンプも同水路の表面付近に設置したが、水の吸い込みが装置付近の流速に影響を及ぼさないようにポンプは装置後方3mに設置した。流速は電磁流速計（ケネック VMT2-200-04P）を用いて、装置本体部と同じ高さ（水深37cm）の水路横断方向7箇所、縦断方向6箇所について測定した。

4. 結果および考察

4.1 実験結果

図3に円柱型における吐出水の断面最大流速と流下距離の関係を示す。管長20cmの円筒が最も大きな流速を示しているが、流下に伴い流速が急減している。これに対して、管長20cm以外は傾向が似ており、流下に伴う流速の減少が

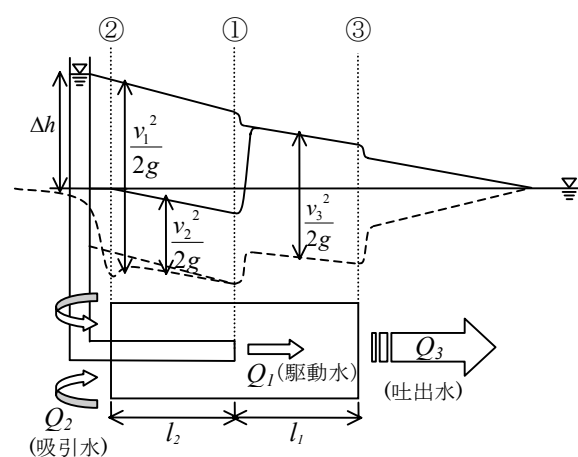


図1 流動促進装置のエネルギー線と動水勾配線

モデル名	寸法(cm)		
	d_1	d_2	l
円柱型	10	10	20
			40
			60
			80
漸縮型	10	8	20
		6	
		4	

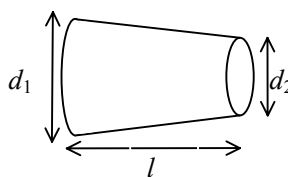


図2 円筒部寸法

小さい。この理由として、管長 20cm では管長が短いために円筒内での吸引水と駆動水の混合が完了しないままに吐出され、吐出直後の流速は大きい、吐出後に混合が発達し、流下に伴い流速が急激に減少したものと考えられる。

図 4 に漸縮型における吐出水の最大流速と流下距離の関係を示す。最大流速を比較すると、漸縮率 40% で最大となった。同一地点の流速に着目すると、装置前方 10cm では分布が広範囲にバラつくのに対し、流下距離が大きくなると結果が収束する傾向が見られた。ここで、各漸縮率別に流下に伴う流速の減少率に着目すると、漸縮率が大きいほど急激に流速が落ちているのが分かる。このことから、漸縮率が大きいと断面最大流速が大きい反面、拡散するまでの時間も早い。そのため、装置前方 100cm での収束が起こったものと考えられる。したがって、吸引性能に関して言えば、適度に漸縮した円筒は円柱型と比較して優れているといえる。

図 5 に吸引水の最大流速と管長、漸縮率の関係を示す。流速が大きいほど吸引水量は多くなるが、円柱型の装置後方 2cm では管長 40cm で最大の値が得られ、それ以降は管長が長くなるに従って流速は減少した。一方で漸縮型では、装置前方を漸縮することにより、著しい流速の増加傾向が見られた。流速は漸縮率 40% で最大の値が得られたが、漸縮率 60% では流速は負となり、送水方向とは逆の流れが発生した。また、装置後方 30cm では、装置長さに関わらず流速はほぼ 0 に等しく、装置の吸引能力は後方 30cm 地点の範囲までは及ばないことが分かった。

4.2 理論値との比較

図 6 に吸引速度比と管長比の関係を示す。図 7 に吐出速度比と管長比の関係を示す。両図より、理論値は、管長が長くなるに従って流速が減少する傾向が見られた。これは模型実験による実測値と同様の傾向である。ここで理論値と実測値を比較すると、管長比 0.5 では大幅な誤差があるが、管長比 0.25 以下では概ね理論値と一致した。管長比 0.5 における理論値が実測値と一致しなかった理由として、理論式の仮定に問題があったことが挙げられる。理論式は、駆動水と吸引水が円筒内で即座に混合するとの仮定の下で導いている。しかし、図 7 から推測できるように、実際は管長比 0.5 程度の円筒では、吸引水と駆動水の混合が不完全である可能性が高い。以上のことから、管長比 0.5 における理論式の信頼性が低くなったものと思われる。

5. 結論

本研究で得られた知見を列挙する。1) 円柱型における吐出水の流速は管長 20cm (管長比 0.5) で最大となり、管長が長いほど、流速は小さくなる傾向が見られた。2) 漸縮型における吐出水の最大流速は漸縮率 40% で最大となり、漸縮率は円柱型と比較すると、流速は大きくなるが、漸縮率が 60% を超えると逆効果となる。3) 理論式によって管長が長い場合 (管長比 0.5 以下) の流速を表現することができた。

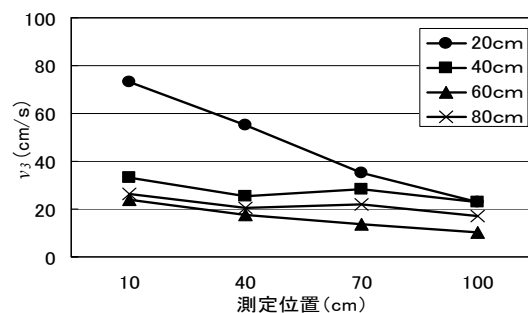


図3 吐出水の最大流速と流下距離の関係(円柱型)

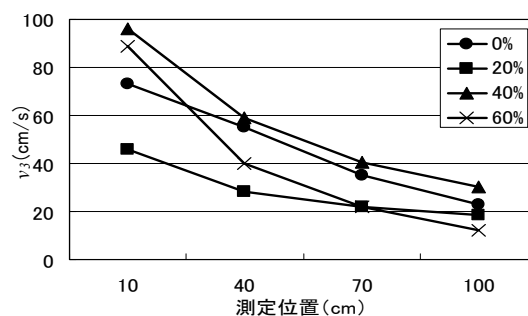


図4 吐出水の最大流速と流下距離の関係(漸縮型)

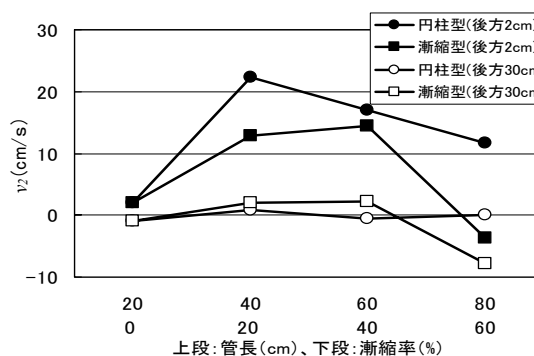


図5 吸引水の最大流速と管長および漸縮率の関係

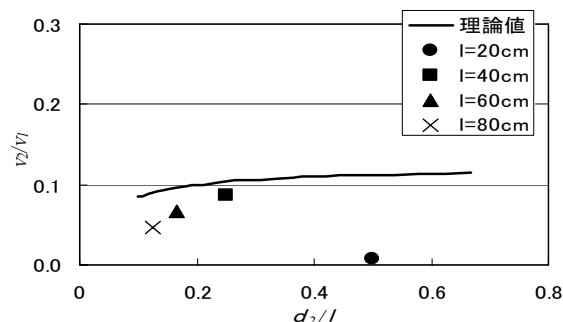


図6 吸引速度比と管長比の関係

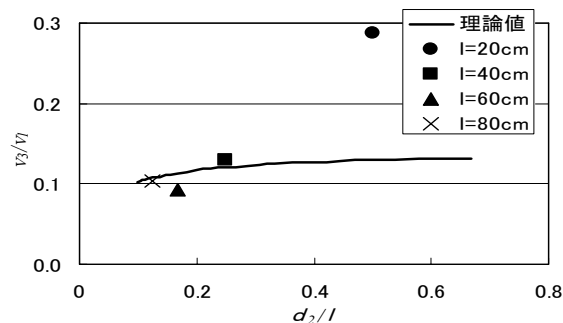


図7 吐出速度比と管長比の関係