

噴流型流動促進装置の配置が循環流形成と成層破壊過程に及ぼす影響

中国電力株式会社 正会員 ○奈古 祐介
呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司

1. 序論

閉鎖性水域における表層と底層の水温成層の形成は、鉛直混合を妨げるため水質悪化の原因となる。その対策として、水温成層を破壊・緩和する噴流型流動促進装置の導入が挙げられる。噴流型流動促進装置は図1に示す通り、基本的には表層に設置したポンプにより吸水した水温が高く密度の小さい表層水を底層で噴流として吐出し、密度差による浮力効果で上昇流を生み、混合・循環させることにより成層を破壊する。既往の研究において、数値シミュレーションにより、流動促進装置の吸水口を吐出口からより遠距離に設置した方が、広範囲で循環流が形成されることが示されている。

そこで、本研究ではスケールを縮小した装置モデルを用いて、実験的に流動促進装置の吸水口・吐出口の配置が循環流の形成や成層破壊過程に及ぼす影響を検討することとした。

2. 実験方法

実験には幅 300mm×長さ 4400mm×高さ 900mm の水槽を用い、水道水を高さ 800mm まで貯水して貯水池を模した。装置配置として、吐出口から吸水口までの水平距離 $D=0\text{mm}$ （吸水口が吐出口の真上）、 $D=600\text{mm}$ 、 $D=1200\text{mm}$ 、 $D=1800\text{mm}$ 、 $D=2400\text{mm}$ の吸水口の位置を変えた 5 種類を行った。併せて、吸水口と吐出口を上下反対にした場合でも実験を行うこととした。

なお、吸水口と吐出口の接続は内径 25mm のホースを使用し、その長さは $D=0\text{mm}$ 、 $D=600\text{mm}$ および吸水口と吐出口を上下反対にした場合で 1350mm、 $D=1200\text{mm}$ ～ 2400mm で 5800mm である。また、吐出口のノズル口径は 26mm で、各条件での流量 Q （および吐出流速 v ）は、 $D=0\text{mm}$ 、 $D=600\text{mm}$ で $Q=0.55\text{l/s}$ ($v=10.4\text{m/s}$)、 $D=1200\text{mm}$ ～ 2400mm で $Q=1.04\text{l/s}$ ($v=19.7\text{m/s}$)、吸水口と吐出口を反対にした場合で $Q=1.38\text{l/s}$ ($v=26.0\text{m/s}$) であった。

流速分布の測定では、48 カ所（鉛直方向 4 点×水平方向 12 点）の測点で電磁流速計を用いて測定し、 $X \cdot Y$ ベクトルを合成した。

成層破壊実験は、吸水口と吐出口を上下反対にした場合で実施し、同じ水槽内で底層（高さ 400mm）におよそ 1% の塩分濃度の水を、表層（高さ 400mm）に淡水を貯水して成層状態をつくって実験に供した。塩分濃度は塩分濃度計で表層・中間層・底層の 3 ヶ所について、流速は電磁流速計で表層・底層の 2 ヶ所について、装置稼働

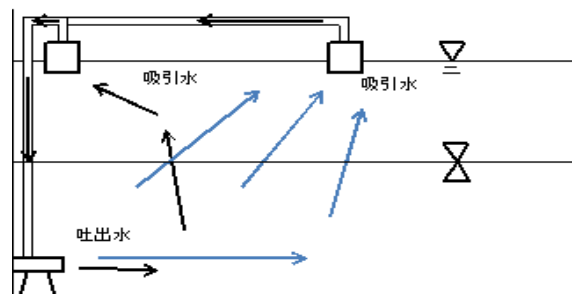


図1 噴流型流動促進装置の概略

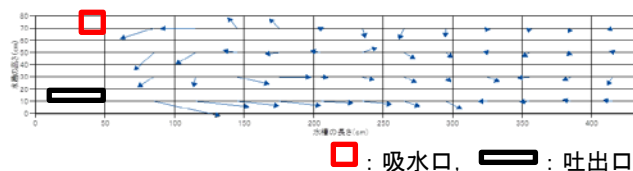


図2 吸水口と吐出口の距離 $D=0\text{mm}$ での流速分布

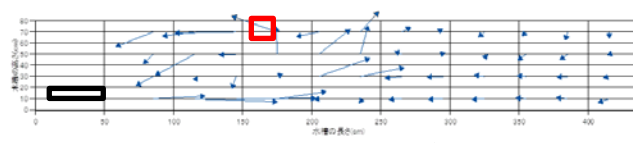


図3 $D=1200\text{mm}$ での流速分布

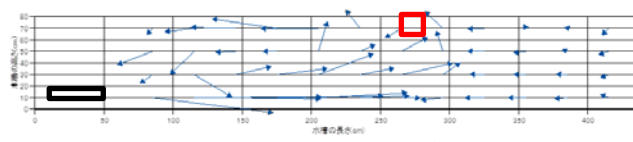


図4 $D=2400\text{mm}$ での流速分布

時の変化を追跡した。

3. 実験結果および考察

3.1 吸水口位置の循環流への影響

図2、図3、図4に吸水口と吐出口の距離 $D=0\text{mm}$ 、 $D=1200\text{mm}$ 、 $D=2400\text{mm}$ それぞれでの流速分布を示す。循環流は吸水口が吐出口から離れるほど大きくなっており、吸水口的位置によって循環流の範囲が規定されていることが分かる。また、それに伴って吐出口から遠方のほとんど流動が生じない死水域は、吸水口的位置によって縮小できることが分かった。ただし、 $D=0\text{mm}$ （図2）の場合、吐出口から前方方向へ延びる流れと還流として吸水口へ向かう流れが一体となっており循環流が不明瞭である。なお、いずれの場合もノズルからの吐出に伴う連行のため、中間層あたりから吐出口方向に向かう流れが顕著である。

キーワード 貯水池、噴流型流動促進装置、循環流、成層破壊

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

3.2 吸水口位置の吐出水流下性能への影響

図4に示されるように、吸水口の位置を吐出口から離すと、吐出水の噴流性能とともに吸水口への吸引の相乗効果によって、吐出水の流下能力が向上することが考えられる。他方で、吸水口の位置を吐出口から離すほど、吸水口から吐出口まで流送するのに要するホース長が長くなるために摩擦抵抗が増す。この相反する影響について、図3または図4から読み取ると、吐出水の流速には向上がほとんど見られない。つまり、本実験条件においては、吸水口を遠方に配置することに伴うホースの摩擦損失により吸水口への吸引による効果が相殺され、結果的に流速の向上は見られないことが分かった。

3.3 吸水口と吐出口を反転させた場合の特徴

噴流型流動促進装置は通常、成層破壊・緩和に浮力効果を利用するために、表層水を吐出する吐出口を底層に置くが、吐出水の流下能力だけを考えると、固定壁の影響を受けやすい底層よりも表層で吐出すると抵抗が小さくなるため、吸水口と吐出口の逆配置による成層破壊効果を検討してみることにした。

図5は、吸水口と吐出口の配置を上下反対にした場合の流速分布である。通常配置に比べて、循環流の範囲が大きくなった。この理由は、吐出口が底層にある場合では吐出水が底面の抵抗を受けて減速しやすいのに対し、水面近くで吐出した場合は大気との抵抗のみとなるためと考えられる。

図6は、成層破壊実験下での表層（測点1）のX軸方向（縦断方向）流速の経時変化、図7、図8は、底層（測点2）のX軸方向およびZ軸方向（鉛直方向）流速の経時変化を示している。なお、表層（測点1）、底層（測点2）いずれも吐出口から水平距離で1000mmの位置にある。写真1は装置稼働25秒後の様子である。図6より、測点1のX軸方向の流速変化は表層にあることから装置稼働開始から暫くは密度の高い底層水が流れているため流速が比較的小さい。しかし、水槽内の水の密度が一樣になると流速が大きくなる。図7より、装置稼働開始からすぐに吸水口方向への流速のピークを迎え減速する。この流速変化は測点2の底層水が吸水口に一気に吸水され、吐出水や表層水による循環流に移り変わったために起きている。図8より、測点2に底層水がある時は循環流の連行によって、底層水が吸水された後には循環流により、吐出口へ向かう流れが生じる。しかし、水槽内の水が一樣になれば吐出口への流れが弱まり、Z軸方向は減速するとともに、図7より吸水口へ流れが向かうのでX軸方向は加速する。

成層破壊は、表層水と吐出水は循環流をつくり、水槽下流端から底層水を連行し吐出口まで運ぶ。それにより、底層水を循環流に合流させることで、より早く成層を破壊することができる。さらにこの連行作用により、底層の縮小が速く、循環流を時間が経過するほど増大させる。このような相乗効果から成層破壊の効率が良いことが明らかとなった。

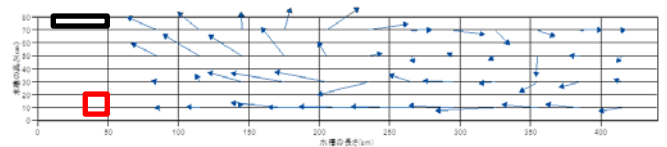


図5 吸水口と吐出口を反対にした場合の流速分布

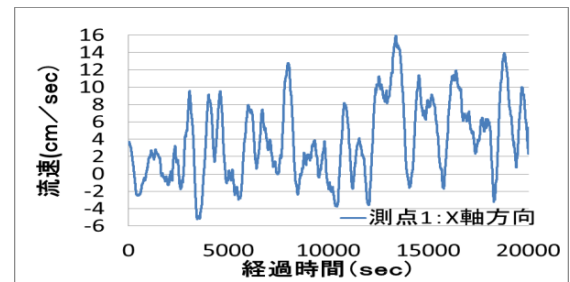


図6 表層のX軸方向流速の経時変化

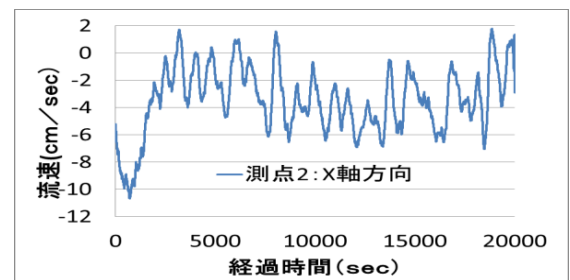


図7 底層のX軸方向流速の経時変化

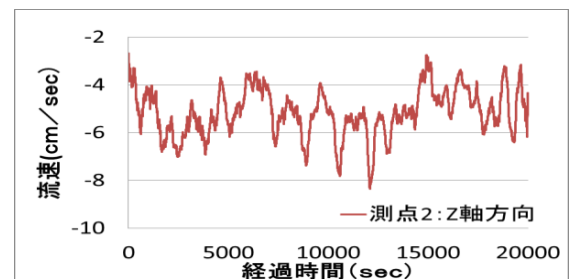


図8 底層のZ軸方向流速の経時変化



写真1 成層破壊の様子（装置稼働25秒後）

4. 結論

流動促進装置の吸水口を離して配置することで、循環流の範囲が広まることが明らかとなった。ただし、ホース延長の影響で流速の向上はほとんどない。

吐出口と吸水口の逆配置にすることで、循環が広範囲になるだけでなく、成層破壊を効率よく表層部分の水に底層水を混合させることが明らかとなった。