

成層期・非成層期における噴流型流動促進装置による流況と水質改善効果

呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○北 真人 呉工業高等専門学校 正会員 黒川岳司
日本たばこ産業株式会社 非会員 吉岡佑馬

1. 序論

現在、貯水池のような閉鎖性水域では富栄養化の進行による水質の悪化が問題視されており、様々な水質浄化対策が施されている。そこで、本研究では、成層期と非成層期における流動促進装置稼動時の流況の変化を超音波ドップラー多層流向流速計（ADCP）を用いて明らかにするとともに、水質分布観測によって水質改善効果を検討した。また、装置導入時の貯水池内の流況変化を数値的に表現するために3次元流動解析を行った。

2. 対象貯水池の地勢・地形と現地観測

本研究で対象とする貯水池は、湛水面積は2.2ha、流域面積1.09km²、総貯水量は約112000m³を有する周囲を山で囲まれたため池である。本研究では、表1に示す成層期と非成層期において現地観測を行った。水質分布観測では図1に示す各測点において鉛直方向0.5mごとに水温、DO、pH、濁度を多項目水質センサー（HORIBA W-22XD）により測定した。また、流動観測では測線①や②のように横断方向の8本の測線についてADCP（TRDI社 Work Horse Sentinel）を浮体に取り付け観測船で曳航した。

3. 噴流型流動促進装置の概要

噴流型流動促進装置の浄化原理を図2に示す。まず、浮体部で表層水を取り込み底層へ送水する。次に、攪拌混合器内で表層水が噴流として吐出されることにより、混合器内では負圧が発生し底層水が連行され、内部で表層水と底層水の混合が行われる。そして、混合された水は吐出水として底層で吐出される。この結果、吐出水によって生じる浮力によって水温成層が破壊されることが期待されるが、この吐出水は表層水と底層水が混合していることから、吐出後にすぐ浮上せず、より遠方にまで、またより緩やかに成層破壊効果をもたらす。さらに、酸素を多く含む表層水を含み、同時に気泡が吐出されることから底層の溶存酸素を高め、貧酸素状態の解消を促す。

4. 断面流速分布による稼働能力の評価

図3に測線①、②の断面流速分布を示す。測線①の鉛直分布中心部では、最大46cm/sの流速が確認でき、最大流速周辺でも20～30cm/sの流速を確認することが出来た。また、中心部以外の箇所では、流速が2～3cm/sとなっている。このことから、中央部に発生する局所的な流れは装置によるものと考えられる。しかし、中央部には斑に空白の部分が見られる。原因としては、ADCP本体から発信される音波パルスが装置から吐出される気泡にあたり散乱したことにより、データの回収が出来なかったことが考えられる。装置前方30mの測線②でも、空白部があることから装置の影響が確認できる。つまり、前方30mまで気泡による酸素供給があることが考えられる。また、気泡の存在が確認できることからさらなる流速の存在が期待でき、その流速は15cm/s～30cm/s以上と推測される。

表1 観測日程

成層期	成層形成期	2009/6/26
	部分循環期	2009/9/17
非成層期	全層循環期	2008/10/15
		2008/11/19
		2009/11/25

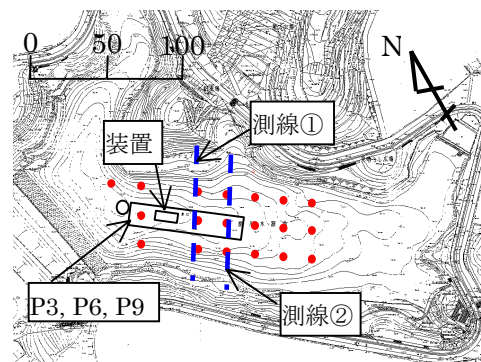


図1 地形および観測地点

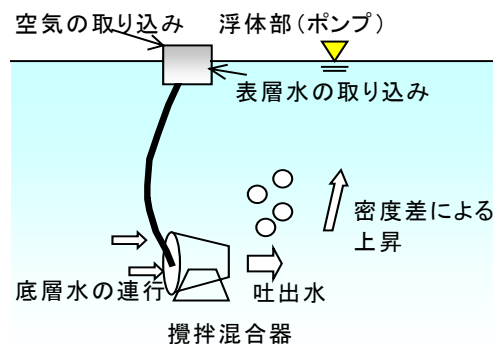


図2 流動促進装置浄化原理イメージ

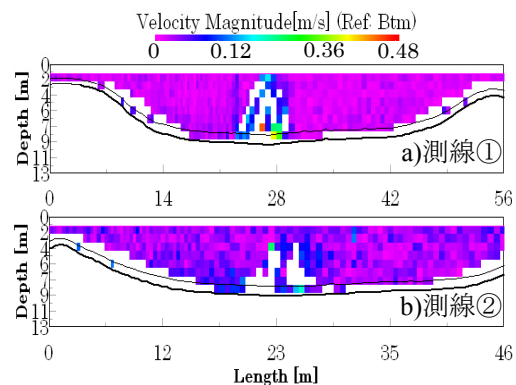


図3 断面流速分布(測線①、②:09/11/25)

5. 流速水平分布による稼働能力の評価

図4に非成層期（2008年11月19日）における貯水池の水平流速分布を示す。水深6.52mの水平分布では、促進装置前方約30～35mまで周囲より流速が大きくなっていることが分かる。このことから、装置の影響範囲は流下方向では35m程度であることが分かる。噴流の特性の一つとして、連行現象を伴いながら流下に従い流速分布の拡がり幅が増加することが挙げられるが、分布は比較的直線的となった。

図5に成層期における水平流速分布を示す。非成層期（図4）と比較すると、分布が直線的なものとならず、また、装置前方45m以上でも約10cm/sの流速が確認でき、影響範囲の増加が見られた。これは、成層の発達により吐出水の浮上が抑制され、吐出水の流動域が下層のみとなり、全層が流動域となる非成層期と比べて流下方向、横断方向ともに影響範囲が拡がりやすくなったと推測される。

6. 装置導入時の3次元流動解析

図6に装置モデルを縦断するコンター図を示す。空間モデルの天面を26℃、床面を23℃とし水温成層を再現した。また、流入流出機器の温度設定を26℃とし、表層で取り込んだ水の吐出を再現した。

これらの条件で計算を行った結果、装置モデルから約15m地点までモデルによる流れが見られた。また、15m付近でベクトルが上向きになり、浮力による吐出水の上昇であると考えられる。しかし、流動観測の結果と比較して、影響範囲は小さいものとなった。これは、実機の攪拌混合器内で生じる混合がモデルでは表現できなかったことにより、吐出水が短距離で浮上したことが考えられる。

7. 水質の鉛直分布における水質改善効果の検討

成層期（2009/6/26）と非成層期（2009/11/25）のP3、P6、P9点の鉛直DO分布（図7）と鉛直水温分布（図8）を示す。成層期に関しては、水深4m以下ではDO分布は一樣となり、4m以上では値の上昇が見られた。また、P6点（装置前方10m）に関しても他の地点と比較して明確な違いが見られず、直接的な水質改善効果が見られなかった。理由としては、同日の水温分布においても同様な傾向が見られたことから、強い水温成層の形成によるものだと考える。

非成層期に関しては、P6点ではDO、水温ともに分布は一樣となっている。季節変化により成層が弱ったことに加え、装置による鉛直循環が生じたことにより上層と下層の混合が行われたと考えられる。また、底層では僅かなDOの上昇が見られ、気泡による酸素供給であると推測される。さらに、P9点（装置前方30m）ではDO、水温ともに緩い成層が確認できた。装置の流下方向の影響範囲と一致することから、装置によって成層が緩められたと考えられる。

8. 結論

以下に、得られた知見を列挙する。1) 成層期では流動域が狭まることから流下距離、横断方向ともに影響が拡がりやすくなることが考えられ、成層状態による違いが確認できた。2) 流動解析では、モデル前方15m付近まで装置による流れが発生し、浮力による上昇が見られた。3) 非成層期に関しては、装置前方10mでは水温、DO分布は一樣となり、前方30mで緩い成層が見られ流下方向の影響範囲と一致することから装置による水質改善効果が確認できた。

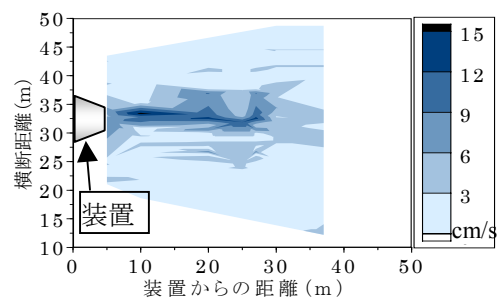


図4 流速水平分布(水深6.52m:非成層期)

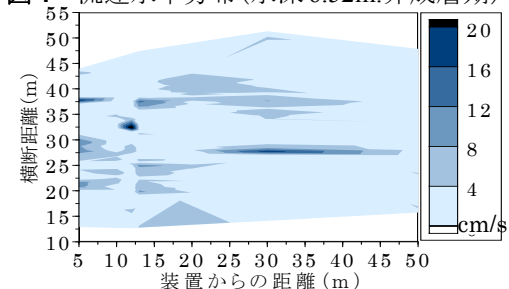


図5 流速水平分布(水深6.52m:成層期)

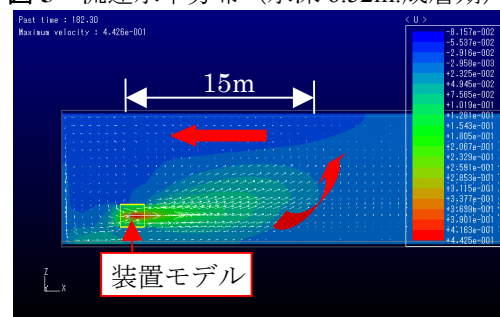


図6 解析結果コンター図

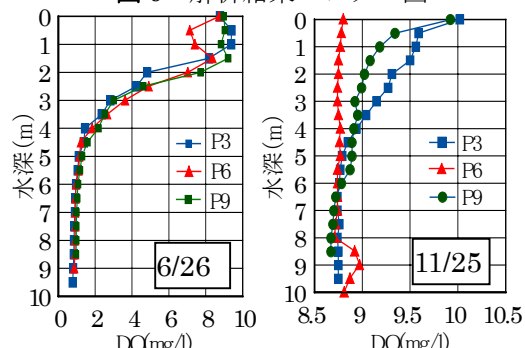


図7 鉛直DO分布(成層期, 非成層期)

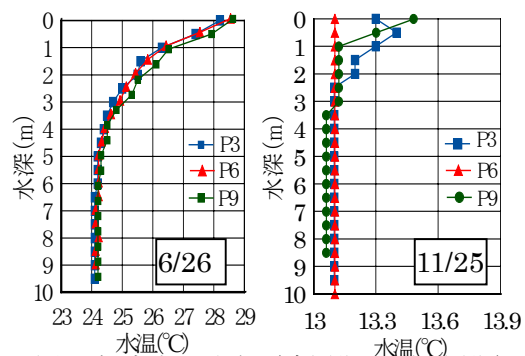


図8 鉛直水温分布(成層期, 非成層期)