

噴流型流動促進装置を設置した貯水池内の流況と水質の変化

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○北 真人 呉工業高等専門学校 正会員 黒川岳司
呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 平原 裕

1. 序論

現在、貯水池のような閉鎖性水域においてアオコの発生など水質の悪化が問題となっている。これらの水質問題に対する浄化対策の一つに、水域の流動性の向上を図り、自浄能力を高める手法として噴流型流動促進装置の導入が挙げられる^{1), 2)}。しかし、装置の導入例が少ないことから、装置が貯水池内の流況や水質に与える影響について実証が十分ではない。そこで、本研究では、実際に噴流型流動促進装置が導入された貯水池において、超音波ドップラー多層流向流速計 (ADCP) による流動観測を行い、装置稼働時における流況の変化を明らかにするとともに、溶存酸素 (DO) やクロロフィル-a 濃度 (Chl-a) などの水質分布観測を行うことで、装置による水質の変化を検証した。

2. 対象貯水池の地勢・地形および現地観測

本研究で対象とする鹿川貯水池は、湛水面積 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。なお、本研究では、成層期と非成層期における流況と水質の変化の違いを検討するために、表 1 に示す日程で現地観測を行った。水質分布観測では図 1 に示す各測点において、0.5m ごとに多項目水質センサー (HORIBA ;W - 22XD) を垂下し、水温、DO, pH, 濁度の計測を行った。また、Chl-a 濃度に関しては、P3~P18 列において表層水を採水し、ポータブルクロロフィル計 (アムコ;Aquafluo) を用いて計測を行った。流動観測では、測線①や②のように横断方向の計 8 本の測線について ADCP (TRDI;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

本研究で対象とする鹿川貯水池では噴流型流動促進装置として、水流発生装置 (株式会社共立「みずきよ」形式 Mk-III) が設置されており、水流は南東方向に噴き出ている。この装置の原理を図 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、貧酸素化の解消へとつながる。

表 1 観測日程

| | | |
|------|-------|------------|
| 成層期 | 成層形成期 | 2009/ 6/26 |
| | | 2010/ 6/17 |
| | | 2010/ 7/ 6 |
| | | 2010/ 7/27 |
| | 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 |

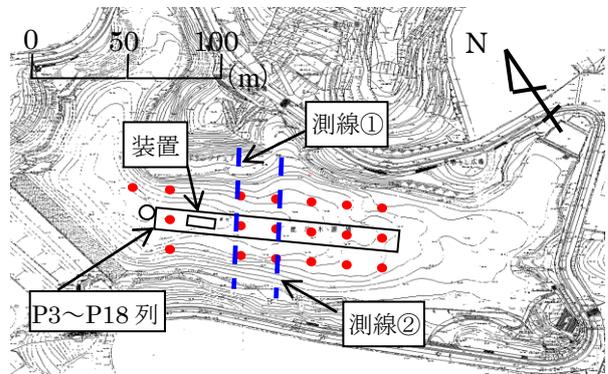


図 1 地形および観測地点

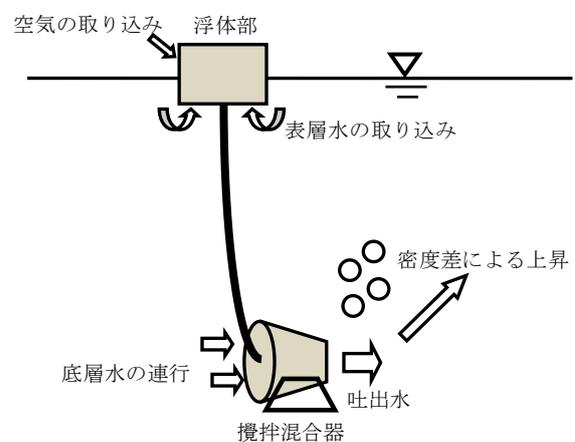


図 2 流動促進装置の原理

4. 流動観測による装置導入時の流況の変化

4.1 断面流速分布における流況の変化

図1中の流動観測線①、②の断面流速分布を図3に示す。測線①の鉛直分布中心部で、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が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、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、周囲の水の計測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による気泡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。

4.2 水平流速分布における流況の変化

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、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(2009年6月26日)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、吐出水が引き伸ばされるように、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。

5. 水質分布観測による装置導入時の水質の変化

5.1 水質鉛直分布によるDO, 水温の変化

図6に非成層期(2009年11月25日)のP3(装置後方7m)、P6(装置前方10m)、P9(装置前方30m)点のDOと水温の鉛直分布を示す。装置の影響がほぼないと考えられるP3(装置後方7m)では、DO、水温ともに日成層が見られるのに対し、P6(装置前方10m)においてはDO、水温ともに全水深にわたってほぼ一様となっている。この理由として、季節変化により水温成層が弱まったことに加え、装置による循環作用が生じたことにより上・下層の混合が行われたことが考えられる。また、底部では

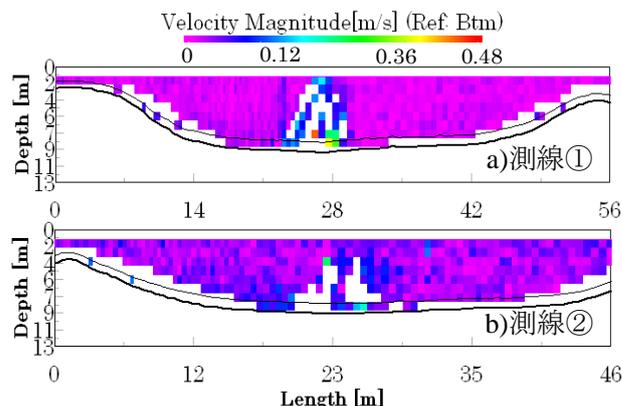


図3 断面流速分布(測線①, ②: 2009/11/25)

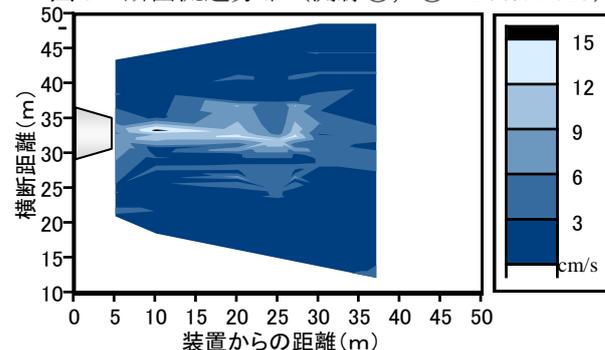


図4 流速水平分布(水深6.52m: 非成層期)

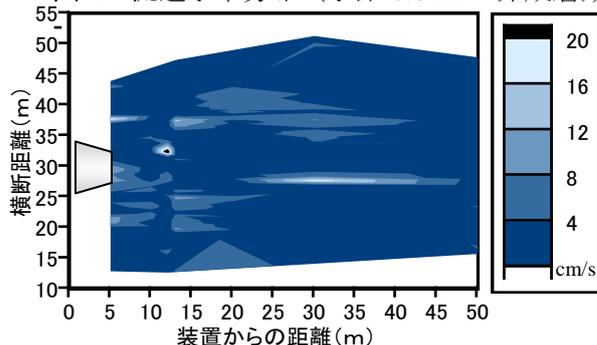


図5 流速水平分布(水深6.52m: 成層期)

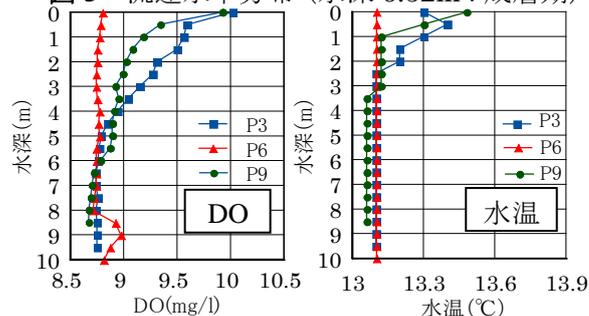


図6 水質鉛直分布(非成層期: 2009/11/25)

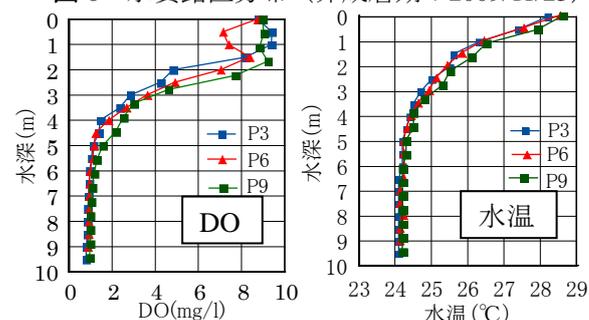


図7 水質鉛直分布(成層期: 2009/6/26)

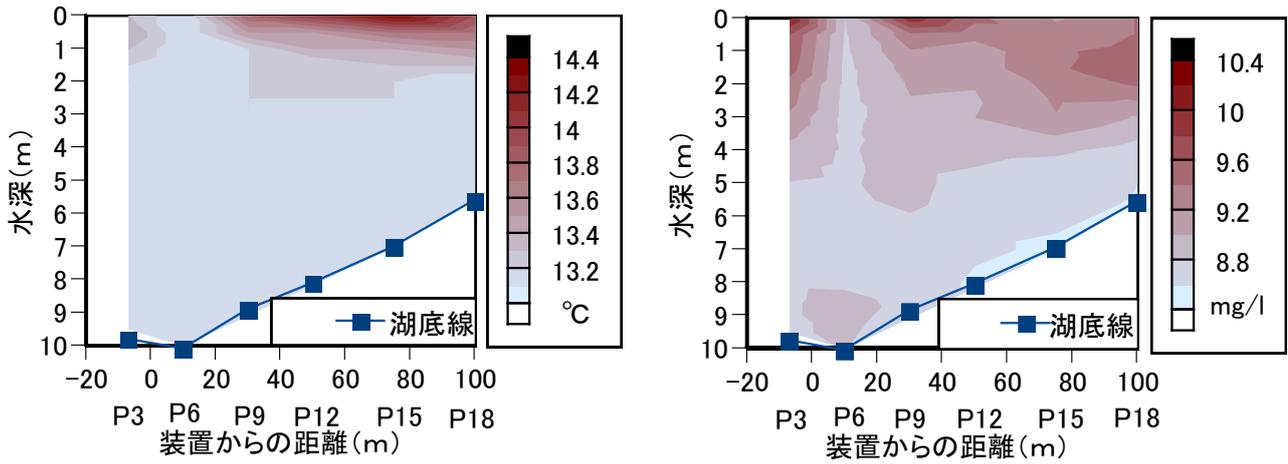


図8 非成層期（2009/11/25）の水質縦断鉛直分布（左：水温，右：DO）

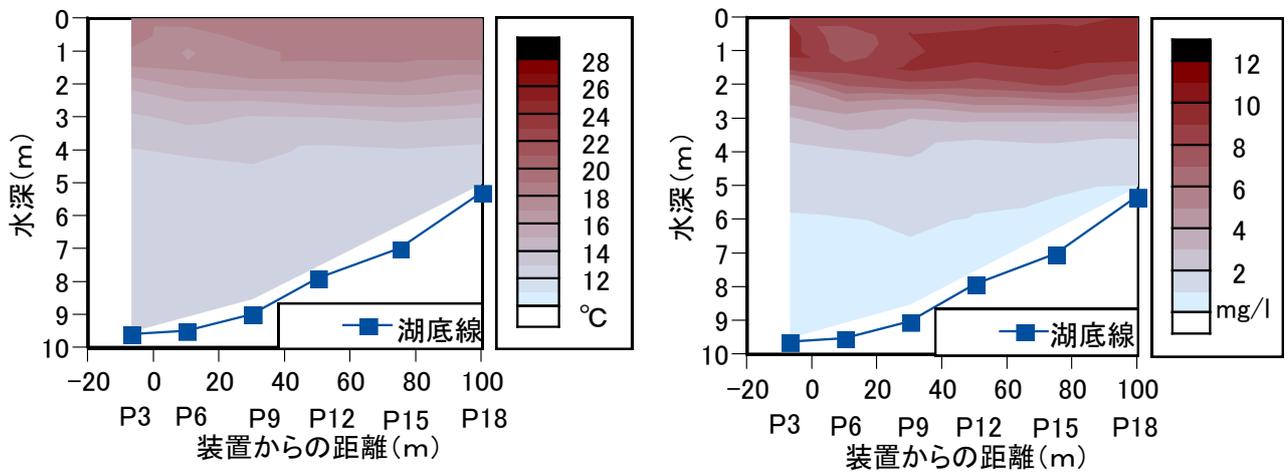


図9 成層期（成層形成期：2009/6/26）の水質縦断鉛直分布（左：水温，右：DO）

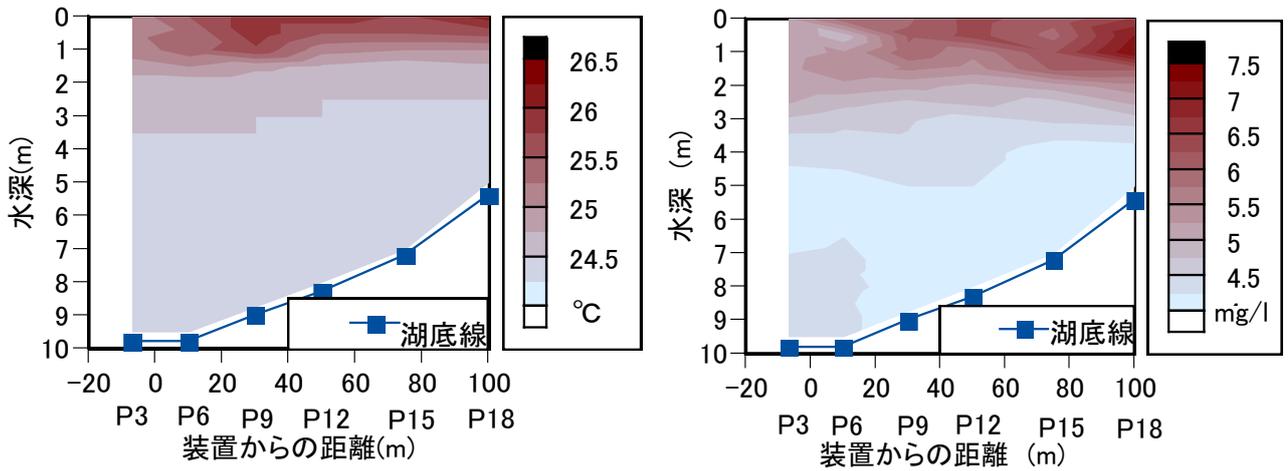


図10 成層期（部分循環期：2009/9/17）の水質縦断鉛直分布（左：水温，右：DO）

僅かにDOの上昇が見られた。これは、噴流と同時に吐出される気泡により酸素供給が行われたことが考えられる。さらに、P9（装置前方30m）に関して、P3（装置後方7m）と比較して、表層の水温、DOともに低下していることから、装置による成層の緩和が確認できた。

図7に水質分布の成層期（2009年6月26日）における同地点のDOと水温の鉛直分布を示す。DO分布に関して、水深4m以深では分布はほぼ一様であり、1~2mg/lとDOの低下が見られた。4m以浅ではDOは上昇し、表層部では9mg/l前後となる。また、P6（装置前方10m）に関しても他の観測点と比較して明確な違いが見られな

かった。これは、同日の水温分布が DO 分布と同様に水深 4m 以下ではほぼ一様であり、水温成層の形成によるものであると考えられる。

P3～P18 列の非成層期（2009 年 11 月 25 日）、成層期（成層形成期：2009 年 6 月 26 日）、成層期（部分循環期：2009 年 9 月 17 日）における水温・DO 分布の縦断鉛直分布を図 8, 図 9, 図 10 に示す。非成層期（図 8）では、前述のように装置付近で分布は一様となり、前方 30m 付近で成層の緩和が見られ、流下方向の影響範囲と一致することから成層の緩和効果が確認できた。成層形成期（図 9）では、前方 40m まで表層の水温・DO の若干の低下が見られたことから、僅かに成層の緩和が確認できた。このことから、成層形成期（図 9）では成層を維持するエネルギーが上回るが、装置の混合作用による若干の DO の改善効果が期待できる。部分循環期（図 10）では非成層期と同様に底層で DO の上昇が見られ、前方 30m 付近で成層の緩和が確認できた。また、成層形成期（図 9）と比較して装置付近では底層水が表層へ押し上げられる様子が見られた。以上のことから、非成層期では、成層が弱まり、装置直近において、装置による混合促進効果が明確に見られた。一方、成層期においては、成層が強固となることから、混合促進効果が不明瞭となり、この傾向は特に成層形成期で顕著であった。

5.2 Chl-a 分布の変化

図 11 に成層期（2010 年 6 月 17 日、7 月 6 日、7 月 27 日）における装置前方（P6～P18 点）のクロロフィル - a（Chl-a）濃度の分布を示す。なお、図中の縦軸の濃度は現地の水を基準とした相対値をとり、単位は無次元となっている。まず、7 月 27 日に関して、他の観測日と比較し値が大きくなっている。この理由として、他の二日と比べて気温が高く、水表面がより暖められたことから、植物プランクトンの内部生産がより活発化したことが考えられる。また、全体の傾向として、装置から遠ざかるほどに濃度が増加していることが分かる。これは、表層水が装置の混合作用により、Chl-a 濃度の低い底層水と混合し、希釈されたことによって、濃度が減少したことが考えられる。

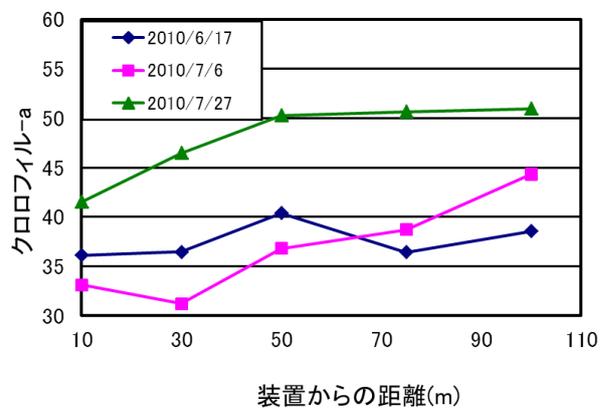


図 11 Chl-a 濃度分布（装置前方 P6～P18）

6. 結論

本研究では、噴流型流動促進装置の稼動時における貯水池内の流況と水質の変化の検証を目的とし、流動観測と水質分布観測を行った。以下に、得られた知見を列挙する。1) 装置前方 10m で最大 0.46m/s の流速が確認でき、前方 30m まで気泡による酸素供給がある。2) 流下方向では非成層期で装置前方 35m まで流速が確認でき、成層期に関しては前方 40m まで流れが確認でき、両期における流況の違いが見られた。3) 水質分布の変化では、非成層期において、装置直近で、成層の破壊が見られた。一方、成層期の成層形成期では、成層の緩和が僅かで、部分循環期では、底層水が表層水を押し上げる様子が成層形成期よりも見られたことから、成層の消長による装置の混合促進効果の違いが見られた。4) 装置前方においてクロロフィル - a 濃度は減少し、装置から離れるほどに増加することから、装置による混合作用で希釈され、濃度が減少したことが考えられる。

以上のことから、装置による流況と水質の変化が確認でき、装置の混合作用による DO の改善効果が得られた。しかし、季節変化による成層の消長が装置による流動に影響を及ぼすことから、非成層期と比較して、成層期に関しては、その効果は緩やかなものとなった。

謝辞：本研究を行うにあたり株式会社共立には多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 北真人, 黒川岳司: 成層期・非成層期の違いが流動促進装置による流況と水質改善効果に及ぼす影響, 第 65 回土木学会年次学術講演会講演概要集, II - 163, 2010.
- 2) 中野光隆, 黒川岳司: 小規模な貯水池に導入された流動促進装置による溶存酸素の改善効果, 第 62 土木学会回年次学術講演会講演概要集, II - 047, 2007.