

閉鎖性小水域における上下循環促進装置の形状が循環流に及ぼす影響に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 西 広人 長崎大学大学院工学研究科 学生会員 西久保 龍佑
長崎大学大学院工学研究科 正会員 鈴木 誠二 (株)エコ・プラン 非会員 原 美輝
長崎大学大学院工学研究科 正会員 夢田 彰秀

1. はじめに

日本の河川は河川延長が短く、勾配が急なため雨水はすぐに海に流出する。さらに降雨量の年変動が大きいため、頻繁に渇水や洪水が引き起こされる。特に、渇水は生活に直結するため、その対策として、ダムなどの貯水池を用いた雨水・再生水の利用が各地で行われている。貯水池等の閉鎖性が強い水域では、外部との水交換が弱く、夏季には強固な成層化が生じるために、富栄養化、底層汚染や貧酸素化などの水質悪化が懸念されている。これまでに、閉鎖性水域において局所的な下降流を発生させることができる上下循環促進装置の開発し、三角形の上下循環促進装置では水質浄化効果や強い上下循環流の発生を確認した。本研究では、正多角形状の違いが循環流に及ぼす影響に着目し、室内実験及び現地実験(貝瀬川ダム(図1))を実施した。

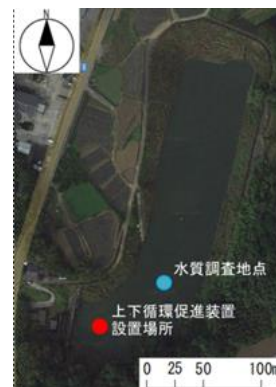
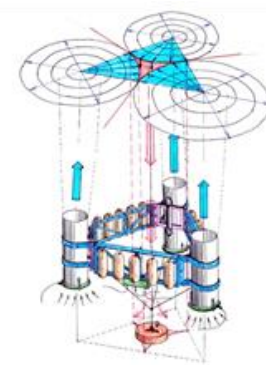


図1 貝瀬川ダム

2. 上下循環促進装置

上下循環促進装置を図2に示す。上昇流発生装置を正多角形状に配置し、連行流が水面において同心円状に広がり、装置中央部で相互干渉することにより局所的に下降流が生じ、強固な上下循環流が発生する。図3に示す通り、上層水と下層水を循環させることによって、成層の破壊と貧酸素の改善を目的とした装置である。従来の水質改善装置にはない3次元的な流動によって、低エネルギーで効率よく水循環を発生させることが可能となる。



3. 観測及び実験概要

本研究では、装置形状が上下循環流に及ぼす影響を把握するために、模型実験と現地実験を行った。模型実験では、縦4m、横2.5m、水深60cmの水槽を使用し、三角形、四角形と六角形の上下循環促進装置の1/10の模型を用いて、水平方向と鉛直方向の流速を詳細に測定した。空気注入量は20.0L/minとし、測定は電磁流速計を用いて行った。

図2 上下循環促進装置

また、貝瀬川ダムにおいて2015年9月8日に四角形の上下循環促進装置の実験機、9月9日に六角形の上下循環促進装置の実験機について流動を計測した。上下循環促進装置の中心を測点1とし、測点6まで約1m間隔で計測を行った。なお、水平方向と鉛直方向の流速は各測点ごとに表層と表層から0.5m毎の位置で底層まで観測を行った。空気総注入量は正四角形、正六角形共に605.0L/minとした。計測には電磁流速計を用いて、装置の形状の一边の長さがそれぞれ2m、3m、4mの場合で測定した。

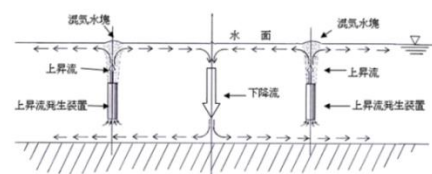


図3 流動模式図

4. 観測結果

4.1 流動計測結果

図4に模型実験三角形流速分布、図5に模型実験四角形流速分布、図6に模型実験六角形流速分布、図7に現地観測三角形上下

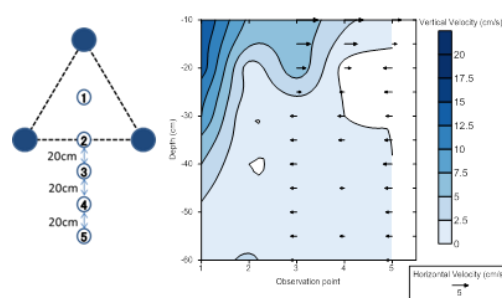


図4 三角形流動分布(模型実験)

循環促進装置の流速分布, 図 8 に現地観測四角形実験機の流速分布, 図 9 に現地観測六角形実験機の流速分布を示す. 模型実験では, 角数が多いほど鉛直方向, 水平方向共に流動がより強く発生していることがわかったが, 現地観測では, 角数が増えるほど流動の広がりは大くなるが, 鉛直方向の流速が小さくなっていった. 下記に示すように, 総鉛直流量は増加しているものの, 装置の径が大きくなったため, 流速は小さくなったと考えられる.

4.2 連行流及び鉛直流量の算出

模型実験の結果をもとに, 連行流及び鉛直流量の算出をした. 図 10 に, 連行流・鉛直流量算出概念図を示す. 鉛直流量及び鉛直流量効率は以下のとおりである.

$$Q_w = 2\pi r \int_0^d u(y) dy \times p \quad (1) \quad , \quad Q_E = Q_w / Q_A \quad (2)$$

$$Q_V = 2\pi r \int_0^{r_s} w(r) dr \quad (3) \quad , \quad Q_{EV} = Q_V / Q_A \quad (4)$$

なお, Q_w : 連行流 (cm³/s), Q_E : 連行効率, Q_V : 鉛直流量 (cm³/s), Q_{EV} : 鉛直流量効率, r : 上昇流発生装置からの距離(10cm), d : 表層からの深さ(cm), p : 多角形数, Q_A : 空気注入量(cm²/min), r_s : 中心部から辺までの距離(cm), w : 表層 10cm の鉛直下向きの流速(cm/s)である. 連行流・鉛直流量算出結果を表 1 に示す.

模型実験と現地観測共に角数が増加すると連行流と鉛直流量は増加傾向にある. 模型実験に比べ現地観測は角数の増加に伴う連行流と鉛直流量の増加比率の割合は小さい. これは, 現地の風や流れによる外的要因が影響していると考えられる.

5. まとめ

本研究では, 角数の増加に伴い強い循環流を発生させることがわかった. また, 模型実験と現地観測の結果から六角形型では三角形型の 7 倍超の鉛直流量が発生することがわかった. 今後は, 上下循環流の水深依存性について研究していく必要がある.

参考文献

1) 鈴木誠二, 森永茂夫, 原美輝: 正多角形状の上下循環促進装置を用いた水質改善効果の検証, 平成 26 年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp114-115, 2014.

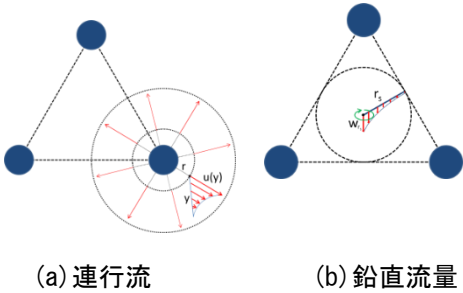


図 10 連行流・鉛直流量算出概念図

表 1 連行流・鉛直流量算出結果

	模型実験				現地観測			
	連行流 Q_w (cm ³ /s)	空気流量 Q_A (L/min)	連行効率 Q_E	鉛直流量 Q_V (cm ³ /s)	連行流 Q_w (cm ³ /s)	空気流量 Q_A (L/min)	連行効率 Q_E	鉛直流量 Q_V (cm ³ /s)
三角形	64,056	20	192.17	2,278	6,834	1,472,303	384	230.0
四角形	71,592	20	214.78	5,891	17,672	1,589,038	384	248.3
六角形	90,432	20	271.31	17,672	53,014	2,077,378	384	324.6

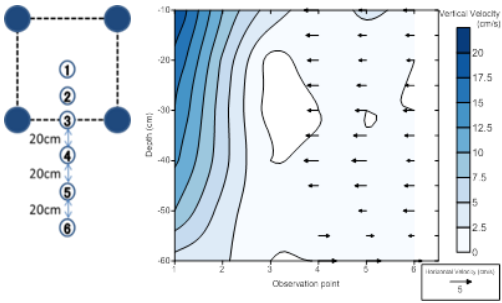


図 5 四角形流動分布 (模型実験)

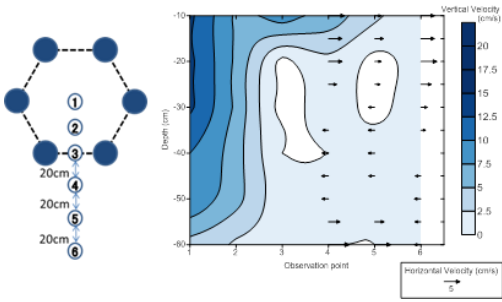


図 6 六角形流動分布 (模型実験)

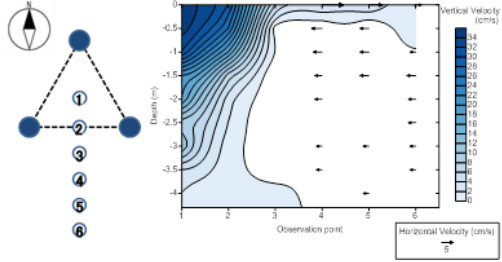


図 7 三角形流動分布 (現地観測)

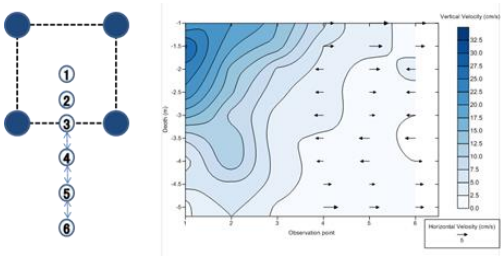


図 8 四角形流動分布 (現地観測)

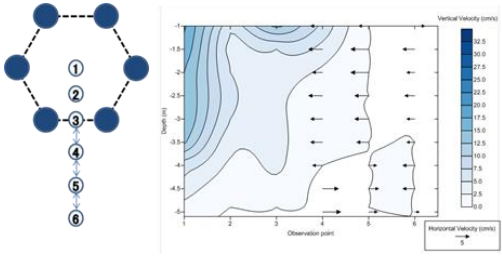


図 9 六角形流動分布 (現地観測)