

マイクロバブルによる貯水池表層の混合効果を対象とした数値解析

中国電力株式会社

正会員

○土屋

善之

中国電力株式会社

正会員

井上

智子

中国電力株式会社

非会員

柳川

敏治

中国電力株式会社

正会員

河内

友一

産業技術総合研究所

非会員

高橋

正好

1. 目 的

貯水池表層での夏期の藍藻類（アオコ）の発生に対しては、これまで様々な対策が実施されている。その中でも、マイクロバブルにより貯水池表層を混合し、水温を下げるなど表層環境をアオコの最適増殖環境から変化させる方法が注目されている。これらの混合効果は複数地点での試験的な運用により一定の効果が期待できる結果が得られているが、装置仕様や最適な設置位置を決定するための設計手法は確立されていない。そこで、マイクロバブルによる流体作用力を考慮し、混合効果を予測できる3次元の数値解析手法について検討した。

2. 流速分布の再現解析

はじめにマイクロバブル発生装置を設置している兵庫県河内ダム貯水池における流速分布の再現解析を実施した。河内ダムでは貯水池のアオコ対策のために図-1に示すマイクロバブル発生装置を水面下5mの位置に設置しており、装置から水平方向にマイクロバブルを発生させている。平成27年11月19日にマイクロバブル発生装置から60m離れた位置における発生時の鉛直流速分布を計測した。この流速分布の再現解析を実施するにあたり、現地では様々な粒径のマイクロバブルが発生しているため、最も再現性の高いマイクロバブルの径を選定するために、0.1mm(100μm)、0.2mm、0.5mmおよび1mmに変化させた条件で解析を実施した。解析条件は表-1のとおりである。数値解析ではマイクロバブルを質量粒子と仮定し、浮力を考慮するとともに粒子による流体作用力を考慮した。解析時間・メモリ上の制約から発生粒子の個数は1秒当たり100個に制限し、実際の粒子数による作用力を再現できるよう1個の粒子の作用力を調整した。それぞれの粒径条件における解析結果のうち、1200秒後の粒子の分布（図中白点）、流速コンター図を図-2に示す。粒径の小さい条件では浮力が小さくマイクロバブルが浮上しにくいいため、表層に大きな流速が生じない。一方、粒径の大きい条件では浮上しやすいため、マイクロバブル発生装置に近い位置の表層で大きな流速が生じている。



図-1 河内ダムのマイクロバブル発生装置

表-1 再現解析の解析条件

諸元	内容
解析ソフトウェア	Stream Ver. 12（ソフトウェアイトル製）16並列版
解析内容	3次元流れ（乱流）・粒子追跡解析（非定常解析）
解析領域	河内ダム貯水池内を立方体で模擬（200m×50m×7m）
乱流モデル	標準k-εモデル
粒子の性質	粒子直径0.1mm（100μm）、0.2mm、0.5mm、1mmの4ケースを実施（均等粒径、密度は空気と同じ）
粒子発生個数	ポンプ自吸引空気量190ℓ/minと粒子直径から個数を計算。解析上は計算時間・メモリの制限から1秒あたり粒子100個発生で計算する。粒子が流体に与える作用力は実際の個数の作用力に合うように解析上の粒子1個あたりの作用力を調整
粒子初速	4m/s（マイクロバブル発生口面積から計算）
粒子発生・消滅個所	粒子発生個所は水面下6mの位置に1m×1mの発生口を仮定。粒子が水面に達すると消滅
境界条件	底面：ノンスリップ 湖面：フリースリップ

キーワード

マイクロバブル、貯水池、アオコ、数値解析

連絡先

〒730-8701 広島市中区小町4-33 中国電力株式会社流通事業本部土木計画グループ

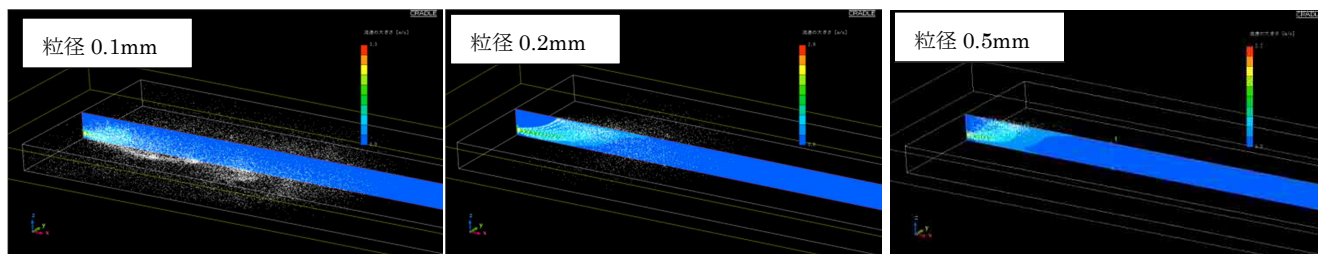
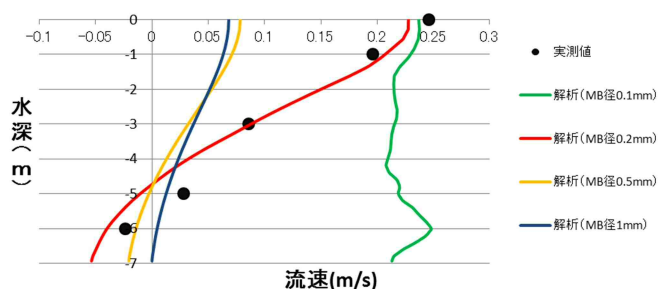


図-2 流速分布再現解析結果

発生装置から 60m 離れた位置の鉛直方向の流速分布の実測値と解析値を比較すると図-3 のとおりであり、マイクロバブルの径を 0.2mm とした条件で、最も流速分布の再現性がよいことがわかった。なお、実際のマイクロバブル発生時には様々な粒径の気泡が発生しており、今回は粒径が均等 0.2mm と仮定すると流速分布が再現できているが、粒径条件についてはさらに多くの観測結果により検証していく必要があると考えられる。

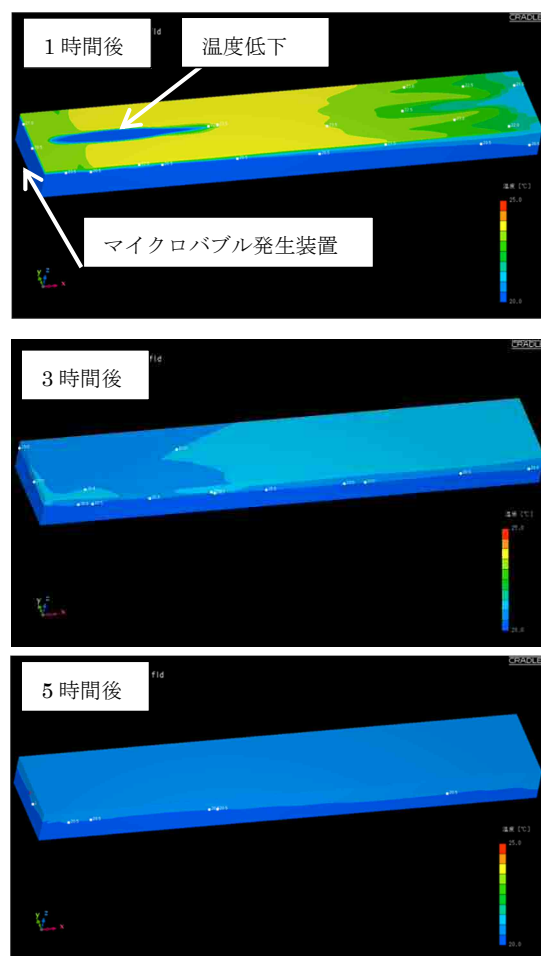
図-3 鉛直流速分布の解析結果と実測値の比較
(発生装置から 60m)

3. 温度躍層発生時の混合効果確認解析

河内ダムにおける現地計測は秋期に実施されており、表層に温度躍層がない状態であった。アオコは主に温度躍層が生じている夏期に発生することから、温度躍層により鉛直混合が抑制される条件での混合効果を確認する必要がある。そこで、粒径 0.2mm の条件で、夏期の貯水池において温度躍層が発達した水温条件下でのマイクロバブルによる貯水池鉛直混合効果を解析により評価した。温度躍層としてアオコが発生している近傍の貯水池の計測結果を参考に、表層を 25℃、深さ 3m 位置で 20℃、その間は線形で変化させた初期の水温鉛直分布を仮定した。また、乱流モデルでは、温度躍層形成時の鉛直混合抑制効果を考慮した。その他の解析条件は表-1 と同じである。表層の温度分布の解析結果(鳥瞰図)を図-4 に示す。運転開始後 1 時間では、発生装置周辺の表層の温度のみ低下しているが、3 時間後には全域の表層の温度低下が認められており、5 時間後にはほぼ完全に混合された。マイクロバブル発生装置により河内ダム貯水池規模の表層面積 1.5 万 m^2 (300m×50m) の範囲を混合した場合、約 5 時間の稼働により温度躍層を完全に破壊できることがわかった。

4. おわりに

マイクロバブル発生時の貯水池内流速の再現解析を実施し、粒径 0.2mm とした場合に再現性がよいことがわかった。また、温度躍層を考慮した解析結果から、河内ダム貯水池の規模において、マイクロバブル発生 5 時間で温度躍層がほぼ解消される混合効果が期待できることがわかった。

図-4 温度躍層発生時の解析結果
(温度コンターの鳥瞰図)