マイクロバブル発生技術による広閉鎖水域の水質浄化*

Waste Water Purification in Wide Water Area by Use of Micro-bubble Techniques

大 成 博 文**

ONARI Hirofumi

Abstract Two water purification techniques in wide-closed water area polluted by waste water were developed using two types of aerators which could generate a large quantity of micro-bubbles, which diameters are less than 100 micron, and form large-scale circulating secondary flows in the whole water area. The efficiency of the techniques was experimentally proved for two kinds of waste water quality in fields. The results indicate that the both aeration systems play a great important role of waste water purification and the growth of animals and plants.

Keywords: Waste Water Purification, Micro-Bubbles, Water Quality, Closed Water Area

1. はじめに

「清らかな水を思い浮かべてください」と聞かれたとき、私たちは深山の谷川の水を思い出すであろう。反対に、「汚れた水は？」と問われれば、街の湖やヘドロが堆積した川のことを思い浮かべるかもしれない。常に流転し、酸素が豊富な水は清らかであり、よどみ、排水が侵入する水は汚い。このような認識は、今や多くの人々の常識となっている。

本研究開発の動機は、この2つの認識に由来し、よどんだ汚れた水域で、「水を動かし、酸素溶解効率がよいはずの微細気泡を大量に注いだら水質がよくなるのではないか」というさ細で単純な思い付きにあった。

さて、国内の水環境は、依然、環境基準を達成できない状況にあり、「水環境管理が行きづまった状況[1]と指摘されている。なかでも、湖沼については、その

基準達成率が5割を切るに留まり、全国いたるところに「汚れた湖や池」が散在する事態を招いている。この湖沼の達成率は、海域や河川と比較して約30%ほど低い。水が動かない、浸入する汚濁物質に対して水域の容量が比較的小さいことなどが自然的要因となっている。

技術的には、次の4点が問題となっている。

①従来の生物処理方式では量的に限界があり、広い水域には適用が難しい。

②洪水や降雨の影響を受けやすく、浄化能力を安定して発揮できない。

③各種成層など汚濁の進行と関係する水理現象を安定して制御することが難しい。

④装置が大型で莫大な設置費および運転費が必要となる。

* 1997. 7. 15 受付

** 徳山工業高等専門学校土木建築工学科 〒745 徳山市久米高城3538 TEL(0834)29-6323
E-mail : onari@tokuyama. ac. jp

そこで、これらの問題点を解決する一手法として、マイクロバブルを発生するエアレータの開発とその現地実験に関する技術を紹介する。

2. マイクロバブル発生技術

(1) 開発目的

水中に気泡を注入する際、第1に、その溶存酸素効率を高めるのに、気泡径は小さい方が望ましい。単位容積あたりの気泡は、その気泡径が小さいほど表面積が増大し、上昇速度も小さく、わずかな流れで水中に滞留しやすい。本論では、気泡の直径が100ミクロン以下のものを「マイクロバブル」と呼ぶことにする。第2に、水域内に循環流を形成させ、水中内の流動を促進させるためには気泡径が大きいほどよい。

この両方の要求を満たすエアレータの開発がその目的となった。本エアレータには、R型(旋回式)とV型(自吸式)の2種類があり、それらの特徴を以下に示す。

(2) R型エアレータ

R1型のエアレータの断面図をFig. 1に示す。本エアレータは、先細りのメガホン型外筒と内部の4枚のらせん板から成り立っている。空気は、下部のパイプから小型プロアによって送り込まれ、エアレータ内を上昇する。この上昇によって、その気泡周囲の水塊も連行され、エアレータ内で気液2相の旋回上昇流が発生する。この旋回上昇の過程で、空気と水は混合し、大量のマイクロバブルをその出口付近で発生させる。マイクロバブルの発生状況をFig. 2に示す。計測の結果、白く写るマイクロバブルの気泡径の再頻値は数十ミクロンであった。

Fig. 1 R1型エアレータの断面図

Fig. 2 マイクロバブルの発生状況

(3) V型エアレータ

R型がマクロな気泡とマイクロバブルの両方を発生させるのに対し、V型エアレータは、マイクロバブルのみを発生させることを特徴としている。動力は200W程度のポンプを使用し、旋回部を有するエアレータ内に送水する。空気は大気中から管を通じて自吸し、旋回流中で発生する気液2相の界面における強せん断作用によって、マイクロバブルが発生する。発生気泡径は、そのほとんどが10~30ミクロンの範囲にあり、しかも、その時の空気自吸量は $0.1\text{ cm}^3/\text{s}$ ほどであり、きわめてわずかである。Fig. 3に発生気泡分布の一例を示す。この気泡径の計測は、最新のデジタルカメラを用いて、約200倍の接写撮影を行うことによって可能となった。本マイクロバブルは、小型ポンプの水流にのって、どこまでも伝播し、水域内に充満する。

Fig. 3 マイクロバブルの発生頻度分布

(4) エアレータの適用条件

水質浄化を必要とする閉鎖水域は、通常、広い領域であることが多く、当然のことながら浄化を必要とする水量も多くなる。これに対し、浄化を行う側では、装置が小型でその数も可能なかぎり少ないことが望ましい。そこで、浄化装置の適用条件を明らかにすることが必要となる。Fig. 4に、R1型エアレータを用いた場合の、水深に対する最適エアレータ間隔についての結果を示す。これは、Fig. 5に示される下降流の形成位置から求められ、エアレータ間隔は水深の約2.5~3倍でよいことが明らかである。これは、実際の水域

Fig. 4 R型エアレータの適用条件

Fig. 5 鉛直循環流の模式図

において、都合のよいことに、比較的少数のエアレータの配置でよいことを示している。

3. 現地実験の結果

実際に対象とする水域においては、それぞれ必要とされる浄化目的が存在する。これは、汚水の性質にも依存することから、それに適した浄化法を選ぶ必要がある。汚水は、次の4つに大別される。

- ①生活排水など有機物を主とする汚れ
- ②微細な粘土粒子や浮遊物質を含む汚れ
- ③アオコなど植物性プランクトンによる汚れ
- ④重金属など無機物質による汚れ

本エアレータは、このなかでも②、③の浄化に適しているようであり、その現地実験結果[2]を以下に示す。

(1) Nゴルフ場調整池

徳山市Nゴルフ場の5番ホール横の調整池で浄化実験を行った。この池の大きさは、縦横60m、40mで、水深は約3m、容量は5,500m³であった。実験前の水質は、透視度20cm、COD9.4mg/l、SS22mg/lであり、池面は、鉄分、粘土分を含む茶褐色を呈していた。エアレータは、R1型を6機、池の底面に約10m間隔で設置した。ブローアは、小型で出力750W、総送風量360l/分を用いた。Fig. 6に、実験開始後の水質の経時変化の結果を示す。これより、濁度および浮遊物質(SS)の減少が顕著であり、668時間経過後に、それらは約90%も低減している。

本池では、その後も継続して実験が行われ、3m下の底に落ちているゴルフボールが見えるまでになっ

た。また、2年目には、池面の半分以上を覆う菱の大群が発生した。同時に、たくさんの昆虫や水中生物も発生し、近くの2つの池が汚れたままで生物がほとんどいないのと比較して、文字通り「動植物の楽園」と化したようであった。Fig. 7, 8に、実験前の池の様子とその2年後の菱の大群が現れた池の写真を示す。両者の相違は明らかである。Fig. 8の写真右手の白い斑

Fig. 6 水質の経時変化

Fig. 7 実験前の池の様子

Fig. 8 2年目に菱の大群が発生した実験池

点状のものが、エアレータから発生したバブルの水面模様であり、その隣には、目印のブイが浮かんでいる。菱は、1年草で池の底部に根を張って水面に向かって伸び、水面に放射状の浮水葉を密生して広げる。3m下の池底のゴルフボールが見えるほど、それに加え水質が好ましい条件下でないと生育しない。1960年代、日本各地の水のきれいな水域の至る所に菱が生えていた。その典型は霞ヶ浦で、45ヘクタールに渡って菱が群生していたそうである。しかし、それが水域の汚れで1年にしてアオコに駆逐され、それ以来、菱は二度と現れていない[3]。

ところが、本池では、日本各地で駆逐されたその菱の大群を再現することができたのである。当然のことながら、隣接の池の水は実験前の汚れたままであり、現地では、常にこの比較が好対照であった。このことは、本浄化技術によって、約30年前の水環境を蘇らせる可能性があることを示唆している。

(2) T高専庭池

鑑賞用の池で、年間を通じて水の入替えはない。池の容量は38m³、水深は70cm程度である。夏場は藻類が繁茂し、透視度は10～20cm程度である。水域内を観察すると浮遊性のミクロンオーダーの藻類が常に漂い、これが濁度の進行の主原因を担っていた。本池底に、V1型エアレータ1機を設置し、マイクロバブルを注入しつづけた。実験開始から数日で、水面におびただしい藻類が浮上してきた。この藻類は、直径1cm～10cmほどの円形塊状で形成され、それをよく観察すると、無数のマイクロバブルが付着していた。このマイクロバブルの介在によって、藻類が凝集し、その結果として、相対的に比重が周囲の水よりも小さくなり、浮上してきたと考えられる。それが証拠に、この藻類の凝集塊に擾乱を与えて壊すと、藻類の小塊だけがすぐに沈んでいった。このことは、池の底に堆積している藻類の一部も浮上させていることを示している。Fig. 9に藻類浮上の様子を示す。Fig. 10に、その接写写真を示すが、写真中の白い点状のものがマイクロバブルである。

このように、藻類の浮上とともに、池内の透視度は徐々によくなり、70cm下の底面がくっきりと見えるようになった。濁度も、試験前の10 (NTU) から、15,000時間で1程度までに低減した。

この技術の特徴は、わずかな温度や対流で浮沈を繰り返す藻類を大量にマイクロバブルで浮上させたことにある。マイクロバブルは、10～30ミクロンの直径を有し、その浮上速度はわずか(10ミクロンの気泡のそれは0.1mm/s程度)であることから、わずかな流れ

Fig. 9 水面に浮上した藻類塊 (夜間撮影)

Fig. 10 浮上した藻類の接写写真

で伝播し、池中に充満することを可能とする。それが証拠に、藻類浮上は、池の全表面で発生した。この浮上後は、簡単に藻類塊の除去・回収も可能であり、V1型エアレータの適用によって、藻類の除去とそれに伴う水質改善の簡単でよい方法が見出された。

4. おわりに

RおよびV型エアレータによって発生するマイクロバブルおよび循環流は、気液混相流そのものであり、これらに関連して、次の混相流学的課題が存在する。

- ①マイクロバブル発生メカニズムの解明
- ②R型におけるマイクロバブルと循環流の相互作用
- ③マイクロバブルによる水質浄化機構の解明
- ④数ミクロン以下のマイクロバブル発生装置の開発

これらを踏まえ、水質浄化におけるRおよびV型エアレータの同時併用効果の解明および小型・省エネ型・安価な実用化装置の開発が重要である。また、ダム湖、河川、湖沼など個々の水域ごとに、それらの解明を詳しく検証することも必要である。なお、本研究は、文部省科研費(基盤研究(B)2)の補助を受けた。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- [1] 宗宮功, 資源環境対策, 33, 3, 209(1997)
- [2] 大成ら, 土木学会論文集, 553/VI-33, 33(1996)
- [3] 桜井善雄, 水辺の環境学, 新日本出版社(1991)