

同欠式曝気筒より噴出する空気泡プルームの解析

中部大学工学部 正員 松尾直規

1. はじめに

ダム貯水池の富栄養化に対する湖内対策の一つとして曝気循環法がある。この方法には各種のものがあるが、いずれにせよ、その水質改善効果を明らかにするために、まず曝気により生ずる流れの水理特性と十分に把握しておくことが必要である。本研究は、同欠式曝気筒を用いる場合のこうした流れ、とくに曝気筒より噴出する空気泡プルームとそれに伴う表層水平流の水理特性について、現地実験資料を用いて考察するものである。

2. 同欠式曝気筒より噴出する空気泡プルームの水理特性

ここでは、実際の貯水池の一面で実施されているエアレーション実験において、電磁流速計を用いて測定された流速に関する資料を用いて考察を進める。まず、対象とする空気泡プルームの軸上流速の時間的変化についてみると、図-1の例のようである。プルームは曝気筒より同欠的に噴出されるため、流速はその噴出間隔に応じて周期的に変化していることがわかる。こうしたプルーム軸上流速を時間的に平均化し、その水深方向への変化をみると図-2の例のようになる。同図は、水深5mの位置に曝気筒出口が設置された場合のもので、時間変化に関するピーク値及び谷値の移動平均も合わせて示しているが、いずれの値も出口から約1m上方で最大値に達し、その後水深が残くなるにつれて徐々に減少する傾向がみられる。このような傾向は、実源から連続的に空気を放出した場合に生ずる空気泡プルームのそれ（例えば Kobus¹⁾のエアバブルに関する実験結果など）とほぼ一致するものであり、時間的に平均化してみれば散気方式による特性の違いは特に認められないようである。なお、注入空気量、曝気筒設置水深及び筒長を変えて行うた他の測定例でもほぼ同様の変化傾向がみられる。また、この水深方向における速度特性では Rouse²⁾の実験より得られた軸対称鉛直プルームのそれと同様に、噴出口からの距離のほぼ一乗根に比例して流速が減少するようである。

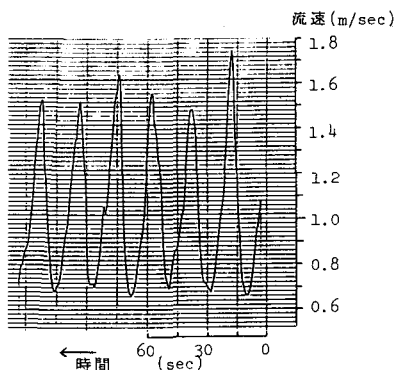


図-1 プルーム軸上流速の時間変化

図-2は、水深5mの位置に曝気筒出口が設置された場合のもので、時間変化に関するピーク値及び谷値の移動平均も合わせて示しているが、いずれの値も出口から約1m上方で最大値に達し、その後水深が残くなるにつれて徐々に減少する傾向がみられる。このような傾向は、実源から連続的に空気を放出した場合に生ずる空気泡プルームのそれ（例えば Kobus¹⁾のエアバブルに関する実験結果など）とほぼ一致するものであり、時間的に平均化してみれば散気方式による特性の違いは特に認められないようである。なお、注入空気量、曝気筒設置水深及び筒長を変えて行うた他の測定例でもほぼ同様の変化傾向がみられる。また、この水深方向における速度特性では Rouse²⁾の実験より得られた軸対称鉛直プルームのそれと同様に、噴出口からの距離のほぼ一乗根に比例して流速が減少するようである。

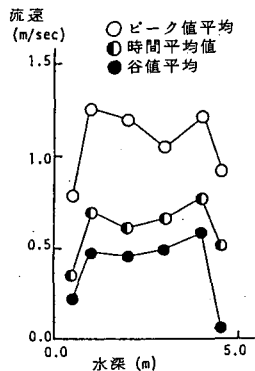


図-2 軸上流速の水深方向の変化

つぎに、注入空気量及び曝気筒出口の水深とプルーム軸上流速との関係と、上述した時間平均流速の最大値を使って示せば図-3、4のようである。図-3より、空気量が多いと主として、流速値が大きくなることがわかる。これは、従来のいくつかの実験結果や理論解析より指摘されている関係と定性的には一致するものである。一方、図-4

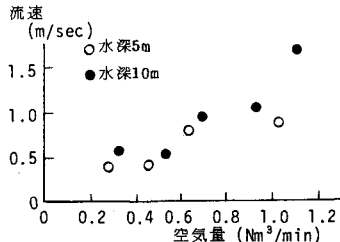


図-3 軸上流速と空気量との関係

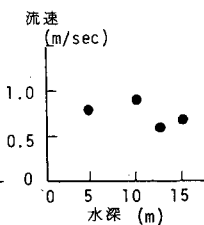


図-4 軸上流速と曝気筒出口水深との関係

では、曝気筒出口の水深と流速値との間に一定の傾向を見出し得ず、この資料をみる限りにおいては、流速値は出口の水深に因係しないと言、たうがよい。

3. 表層水平流の水利特性

曝気筒より噴出する空気泡アルームが水表面で水平方向に転じて形成される表層水平流について、まず、その層厚の変化をみた例が図-5である。同図では、距離 x 、層厚 h を貯水池水深 z で無次元化し、注入空気量 Q 及び曝気筒出口水深 h_1 を変化させた場合について比較しているが、いずれも曝気筒から5m地更まではその厚さを減じ、その後徐々に増大していく様子が見られる。

これらの層厚は貯水池水深の一割以下であり、また曝気筒出口の水深でみてもたかだかその15%程度の値に過ぎない。この値は、鉛直深流噴流やエアバブルカーテン流におけるそれよりもイア小さいようである。なお、曝気筒より5m地更までについてはアルームの発生源が深い層厚が大くなる傾向がみられ、この点は従来の報告例と同様である。図-6は、測定断面における各測定の流速とその断面での最大流速で、測定の水深を層厚でそれぞれ無次元化した U/U_{max} 及び z/h を用いて水平流の流速分布をみた例である。同図より、流速分布は水表面近傍を除くと両対数で傾きが $-1/2$ をとり指数分布形で近似されるようであり、また各断面での分布形状には大差がないことがわかる。次に、水平流速の U/U_{max} の減衰状態をみるため、各断面での最大流速 U_{max} と曝気筒からの距離 x とを、曝気筒から1m地更での最大流速 U_{1max} 及び x この層厚 h で無次元化し図示したものが図-7である。同図より1/ケースを除くと、図-5に示した層厚の増大とともに流速がほぼ

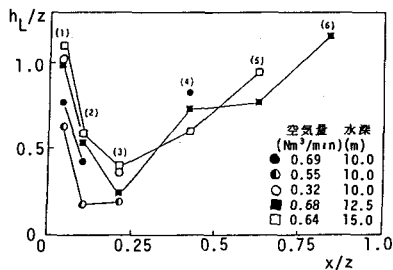


図-5 表層水平流の層厚の変化

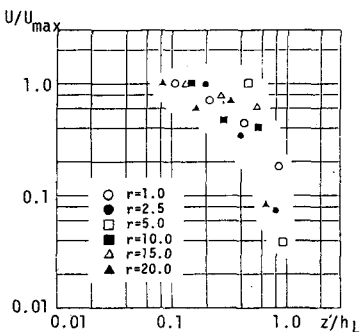


図-6 表層水平流の流速分布

指数関数的に減少する傾向が認められるが、その U/U_{max} の減衰率は各ケースで異なるようである。最後に、表層水平流の最大流速（ここでは曝気筒より5m地更の値）と注入空気量との関係を図-8に示す。従来のエアバブルカーテン流に関する研究では最大流速が空気量の $1/3$ 乗に比例するといわれているが、図-8においてもそれとほぼ同様の傾向が見い出される。なお、曝気筒出口の水深との関係については、2.で述べた鉛直流の場合と同様、既存の資料でみる限り両者の相関は明らかでない。

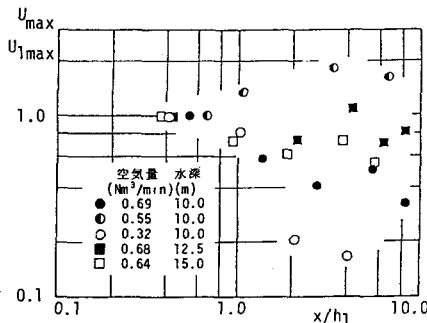


図-7 表層水平流の最大値の U/U_{max} の減衰特性

4. おわりに、
ここで対象とした筒穴式曝気筒より生ずる空気泡アルームの水利特性は、時間的に平均化してみれば従来より取り扱われてきた連続散気方式によるそれと少なくとも定性的には一致することがわかった。今後、数値解析も含めて行いより定量的な取扱いを進めていきたい。

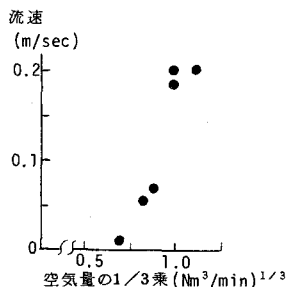


図-8 表層水平流の最大値と空気量の関係

参考文献: 1) Kobus, E.H.; Analysis of the flow induced by air bubble systems, Proc. 11th Conference on Coastal Engineering, 1968
2) Rouse, H.; Gravitational Convection from a boundary source, Tellus, 1952