

II-216 空気揚水筒を用いた密度層破壊に関する実験的考察

芝浦工業大学 正員 菅 和利
 埼玉大学 正員 浅枝 隆
 神戸大学大学院 学員 北野 哲司

1. はじめに

現在、貯水池や湖沼などの閉鎖性水域においては、底層部が酸欠となり、そのため夏の停滞期に発生する硫化水素や流入する栄養塩類の濃度が高められることにより起こる富栄養化などの現象が問題になっている。そこで水質改善対策として、深層曝気施設が試みられ空気揚水筒方式がエネルギー効率の面からみても有効とされている。この方式は、水深より少し短い長さの円筒を立て、円筒の下端に空気を送り込み、気泡を間欠的に発生させて筒内の酸欠した底部高密度水を押し上げ、表層水と混合させるものである。この場合、気泡により高密度水が持ち上げられた後、筒外の周囲水と筒内の水とに密度差が発生し下向きの浮力が作用する。そのため、筒内の上昇流は次第に減速しやがて下降流が生じる。本報告では、この下降流に着目しエネルギー効率について検討を行ったものである。

2. 実験装置及び方法

実験には図-1のように、幅2.2m、奥行き1.5m、深さ1.5mで前面には、1m四方の透明アクリル板が設置された実験水槽を使用した。中央部には円筒(直径7cm)とその下端に気泡発生装置を取り付けた。槽内には、温度成層の代わりに密度差 $\Delta\rho=0.005\text{ (g/cm}^3\text{)}$ の塩水層(50cm)と淡水層(60cm)の成層をつくり、実験観察を容易にするために塩水を染料(スカーレット)で着色した。実験中の密度分布の変化は4電極法により電気伝導度を6点で随時測定した。筒直径7cmの場合の下降流発生開始時間は気泡放出後、10秒前後であった。よって、気泡発生間隔は下降流が始まる10秒と下降流が終了する24秒との間の値、15秒を今回の実験では採用した。

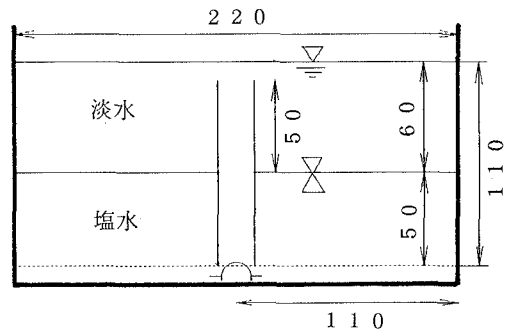


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

図-2は筒上部端での流速を、上向きをプラス、下向きをマイナスとして示したものである。図中実線は気泡発生間隔が10秒の場合で、破線は15秒の場合である。気泡の上昇によって円筒内の下層水が押し上げられ、気泡が円筒上部端を通過した時点が上向き流速は最大となり、その後下向きの浮力の為に流速は減速される。気泡の発生間隔が10秒のケースでは、下降流が発生する以前に再び気泡が上昇して来る為に、押し上げた下層水は再び筒内に戻ることはないが、15秒間隔のケースでは、下向きの流れが生じ、押し上げられた下層水の一部が筒内に戻っている。この下降流の存在が効率を悪くしていることが判る。

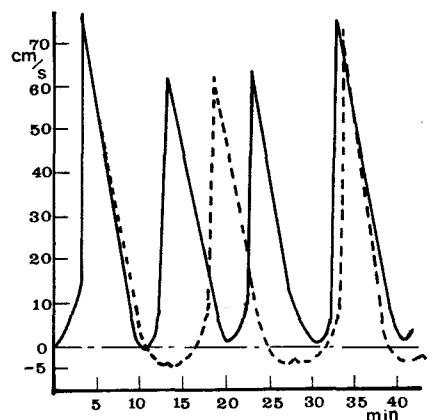


図-2 流速の経時変化

次に密度分布の時間変化を示したのが図-3である。図-3-1は10秒間隔のケースで40分付

近で濃度分布が直線になり混合が終了しているが、15秒のケースでは60分後でもまだ成層が保持されており、また10分間での密度分布の変化を比較しても下降流の影響が少ない10秒間隔のケースの方が混合速度が速いことを示しており、エネルギー効率がよいことがわかる。

次に、ポテンシャルエネルギーの増加を用いてエネルギー効率を数量化する。簡略化するために気泡のもつ浮力エネルギーが密度層の破壊に使用され、位置エネルギーに変換されると仮定し、その変換率を効率と考える。従って位置エネルギーの時間変化で効率を比較することとする。任意時間の t' の単位幅当りのポテンシャルエネルギーは

$$E_p / A g = M_p = \int_0^H \rho Z dZ \quad (t = t')$$

となり、密度分布の断面1次モーメントを表す。ここに E_p はポテンシャルエネルギー、 Z は水底から上向きに取った鉛直座標、 A は水槽の断面積、 H は全水深である。密度分布の重心水深 G_p は

$$G_p = M_p / A_{HT} = \int_0^H \rho Z dZ / A_{HT}$$

となる。ここに A_{HT} は任意の時間 t' の密度分布形の面積である。この重心位置の時間変化よりポテンシャルエネルギーの変化を知ることが出来、エネルギー効率の比較をすることが出来る。

図-4は重心位置の時間変化を表したものである。上昇間隔10秒の場合の変化しなくなった部分は水槽内の密度分布が一樣となり完全に混合したことを表している。直線の傾きは位置エネルギーへの変換の度合を表すと見ることが出来、気泡発生間隔10秒間隔の場合は0.73、15秒の場合は0.35であり、10秒間隔の方が約2.0倍の効率であることが知られる。次に放出全気泡量が9600ccの時刻での重心位置の比較をすると、上昇間隔10秒（放出開始後40分）の方は完全混合の重心位置5.5cmの96%となり、5秒（60分後）の方は47%となっている。以上の考察から下降流の影響が少なければ少ないほど効率がよいことが実験的に明らかになった。

なお本研究は文部省科学研究費（代表 浅枝隆）の助成を受けて行ったものである。

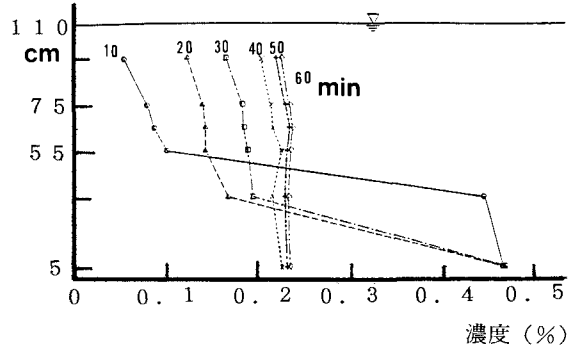


図-3-1 濃度分布の時間変化（10秒間隔）

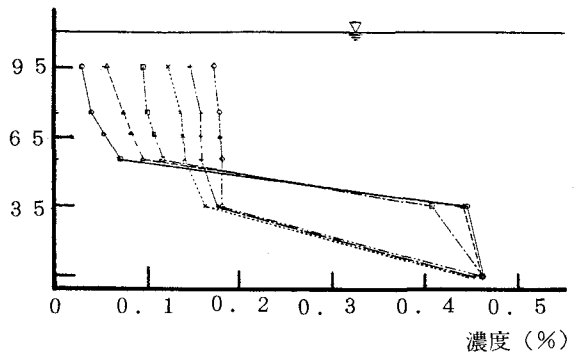


図3-2 濃度分布の時間変化（15秒間隔）

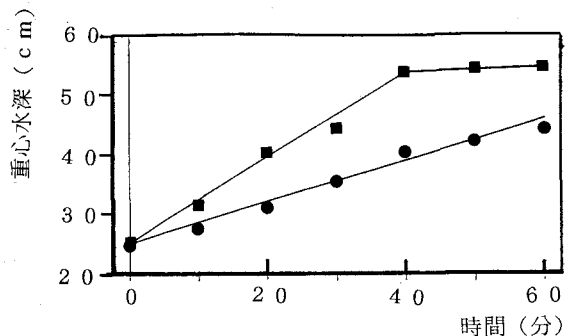


図-4 重心位置の時間変化