

Ⅱ-24 間欠ばっきによる流動特性

東北大学工学部 学生員 ○長尾 正之
東北大学工学部 正会員 真野 明
東北大学工学部 正会員 後藤 光亀

1. はじめに 間欠ばっきは、富栄養化した貯水池や湖水の水質を改善するための有効な手段として各地で行われている。しかし、これを行なった場合の鉛直、水平方向の水温分布の変化、ばっき筒周辺の流れについては、あまりよくわかっていない。著者らは、仙台市近郊の貯水池で間欠ばっきをおこない、そのときの2次元流速分布、温度分布を実測した。本研究では、この時のデータをもとに、おもにばっき塔上部での流れ特性について考察する。

2. 実験方法 観測を行った場所は、仙台市の中原補充貯水池である。この貯水池は、水の出入りが少なく、そのため、水位変動もほとんどないという利点がある。貯水池の水深は、約7.2m、長さ400m、幅100～150m、貯水量は33万 m^3 である。

実験に使用したばっき筒は、間欠式空気揚水筒型であり、その内径は10cm、本体の長さは3mである。また、本体の取水口と空気だまりの位置は、水底より50cm上にあり、ばっき塔先端から水面までの距離は3.6mである。このばっき塔は、一回のばっきで4.0から4.5 ℓ の気泡を発射する。

次に、実測のための座標系を次のように定義した。z軸：水面を原点として、鉛直下向きが正の方向。x軸：ばっき塔を原点とし、ばっき塔から水平に遠ざかる方向が正。実験の範囲は、 $x=0\sim350\text{cm}$ 、 $z=0\sim355\text{cm}$ であり、x方向に4カ所、z方向に11カ所の41点を選んで流動特性を観測した。

観測のために取水用のテラスにトロリーを設置した。トロリーには、二成分電磁流速計とサーミスター温度計をとりつけ、流速と温度を測定した。トロリーで測定される流速は、x方向の流速 V_x 、z方向の流速 V_z の2成分である。このほかに、ばっき塔内の二カ所に光センサーを応用して開発した気泡感知センサーを設置して、ばっき塔内の気泡の上昇および気泡のばっき塔先端の通過のタイミングを測定した。観測は、0.1秒間隔で2分間おこない、上記の項目をA/Dボードを通してパソコンに入力した。

3. 観測結果及び考察 図-1に観測中の鉛直方向の水温分布を示す。水面の温度は、約28℃、ばっき筒取水口での水温は約18℃であった。ばっき筒先端から発射される水塊の温度は、別の日の実測により、ばっき筒取水口の温度とほぼ等しいことが確かめられている。

また、気泡センサーによれば、ばっき間隔は23.3秒、標準偏差は1.1秒であった。また、観測をおこなった時間により、ばっきの間隔は若干相違した。

2分間の観測記録は、4から5の間欠ばっきによる波形を含むので、これらの波形を気泡感知センサーの出力を利用して位相平均をおこなった。そして、高周波成分を取り除くために、9項移動平均をおこない、その観測での代表的な波形を求めた。図-2に $x=0\text{cm}$ 、 $z=25\text{cm}$ での、位相平均された鉛直流速 V_z 、および水温 T を示す。ここで、横軸の時間 t の原点は、ばっき塔先端を気泡が通過した時刻である。位相平均をおこなった波形から、

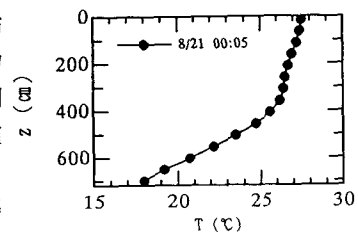


図-1 水温分布

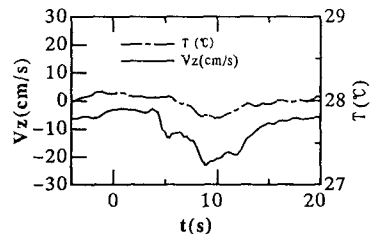


図-2 $x=0\text{cm}$ での位相平均

さらに1サイクルの平均流速もとめ、流速ベクトル図を作成し、図-3に示した。また、 $t=4\text{ s}$ 、 10 s での2次元流動特性を図-4、5に示す。

図-2のような鉛直流速の変動は、 $x=0\text{ cm}$ のみで観測されている。これは、ばっき筒内の水塊が、時間的な遅れを伴って、水面に向かって上昇していくためだと考えられる。この図によると、 $t=4\text{ s}$ 付近から、鉛直流速 V_z の大きさが増大し始める。一方、水温 T は $t=6\text{ s}$ 付近から低下し始める。 $t=9\text{ s}$ では、 V_z は上向きに最大の大きさを記録し、同時に T は最低値となっている。 $t=9\text{ s}\sim 20\text{ s}$ にかけて、 V_z と T はゆるやかに変化して、安定値に近づく。このように、 V_z と T の変化の始まりには、 2 s 程度の遅れがある。

この場合、最初にトロリー近傍の水の動きが流速値の変化として観測され、このとき水温は、当然変化しない。この後、トロリー近傍の水が水面に向かって上昇した後に、ばっき筒内の冷水が、観測位置に達し、図のような水温変動が始まるものと考えられる。

ただし、このときの水温は、最低値で 27.8°C であり、ばっき筒先端から発射される水塊の温度とは大きく異なる。このことから、ばっき筒先端から発射された水塊は、水面に到達するまでに、付近の水と混合しつつ上へ昇っていくと推測できる。

図-3によると、 $x=0\text{ cm}$ では鉛直上向きの流れがあり、これが水面に達すると、水平方向に向きを変えていることがわかる。ばっき筒の真上と水面以外の場所では、ばっき筒の軸に集まってくるような循環流が存在している。

図-4、5は、 $t=4\text{ s}$ 、 10 s における水温と、流速を同時に示したものである。 $x=0\text{ cm}$ を上向きに上昇する水塊の様子と、それに伴って変化する水温分布がよくあらわれている。このほかに、水面付近が、その下側の水よりも温度が 0.1°C 低いことが図から読み取れる。このように、水面付近で温度の逆転が生じるのは、ばっきにより下層の冷水が水面まで運ばれ、周りの流体と混合しながら水平方向に広がり、これが何回も繰り返されることで水面が徐々に冷やされていくからだと考えられる。

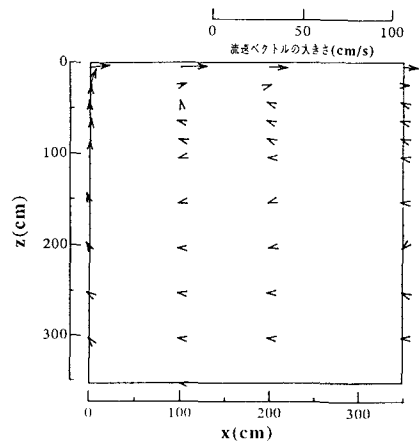


図-3 平均流速による流速ベクトル

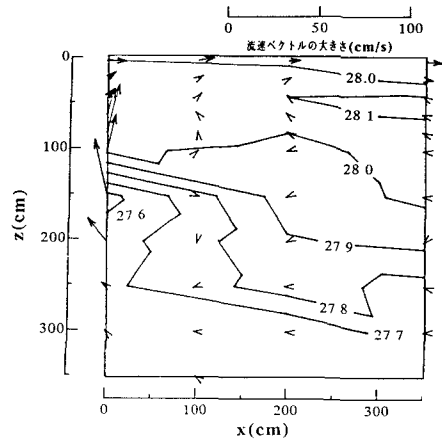


図-4 $t=4(\text{s})$ における流動特性

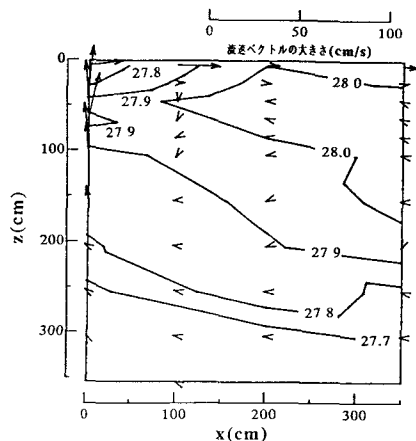


図-5 $t=10(\text{s})$ における流動特性