

東京工業大学工学部 正員 瀧岡和夫
 同上 正員 日野幹雄
 (株) 奥村組 佐藤彰彦

1. はじめに

温度躍層を形成した湖沼等の水域での吹送流の特性、特にその乱流特性を明らかにすることは、躍層の形成あるいは、躍層を通しての上下層水の混合のメカニズムを知る上で重要である。しかしこの種の成層密度流（特にその乱流構造）については、以外に研究例が少なく、しかも適切な流速測定装置が存在しなかったことなどから、これまで、信頼性の高いデータに基づいた議論はあまりなされていない。

本研究では、流速測定装置としてレーザードップラー流速計を用いることにより、塩水二層流での吹送流の平均流速分布や乱れ強度分布を測定して流速場の全体的特徴を把握するとともに、可視化により淡水層内の渦構造や界面直上の流体運動の特性をとらえて界面での連行現象との関連性について考察した。

2. 実験方法

実験は、図-1に示すようなアクリル樹脂製の風洞付水槽で行った。淡水内には少量のラウリル硫酸ナトリウムを溶かし込ませ、風波の発達をできるだけ抑制するようにした。設定風速は、入口の風洞中心部で 8.1 m/s となるようにした。

流速測定は、上述のようにレーザードップラー流速計を用いており、密度測定には導電率計を用いた。また、流れの可視化法としては、界面付近の流れに対してはフルオレセインないしはローダミンによる色素注入法を、淡水層内の渦構造の可視化には四塩化炭素とトルエンの混合液を粉塵状に注入するトレーサ法を用いた。

3. 密度場の全体的様相

図-2・aは、初期上層水深 9.0 cm の場合の通風開始後40分での等密度線を示したものである。風の作用による set-up 効果で、等密度線が全体的に大きく傾いている。また、風上側端近くには明瞭な中間層が形成されているが、これは水路が有限であるために存在する界面直上部の return flow が下層流体を少しずつ連行しながら風上側端の方向へ輸送するためである。この中間層は時間とともに発達していくが、本実験では実験条件の制御の観点から、この中間層を取水してその発達を抑えながら実験を行った。図-2・bはその場合の等密度線を示している。なお、ここで示した等密度線の全体的特徴は、村岡・平田（第27回水議）による中禅寺湖での現地観測結果とかなり近くなっている。

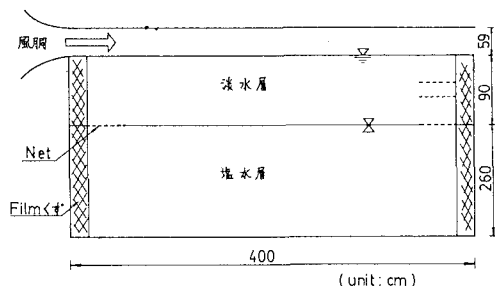


図-1

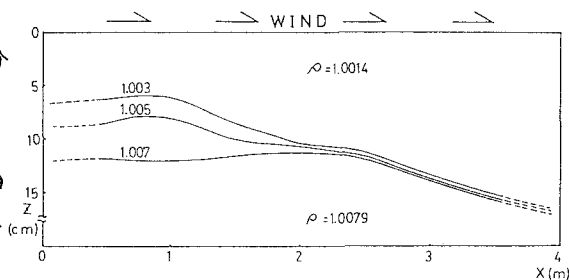


図-2・a (中間層の取水ナシ)

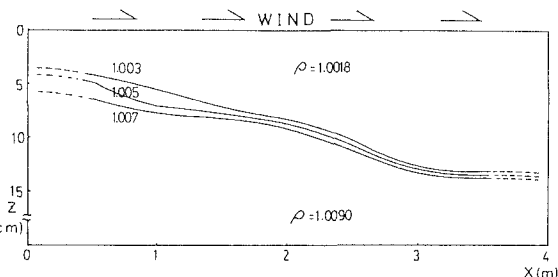


図-2・b (中間層の取水アリ)

4. 平均流速と乱れ強度の鉛直分布

図-3・aは、上流端から2.5m地点での平均流速 $\bar{U}$ の鉛直分布を示したものである。図-3・bはそれを片対数紙にプロットしたものであるが、淡水層上部の強いシアを有する層はほぼ対数則にのっていることがわかる。

図-4・aとbは、乱れ強度の水平方向成分 u' と鉛直方向成分 v' の鉛直分布を示したものである。これから乱れ強度は上述のせん断層($z \leq 5$ cm)内で大きな値を示し、下方に向って単調に減少すること、また $z \geq 5$ cmでは、低レベルのほぼ一様な乱れ強度分布になっていることが分る。このようなことから淡水層内の流速場は、①通常の乱流境界層と類似した表面直下の「表面せん断層」、②平均流速がほぼ一様で乱れ強度レベルが低い「拡散層」、③界面の影響を受けて平均流速が多少勾配をもつ「界面せん断層」の三層に分割しうることが分る。

5. 淡水層内の渦構造の可視化

写真-1・aは、2で述べた方法で淡水層内部の渦構造を可視化したものである。表面せん断層内に比較的明瞭な形で組織的構造を持った渦が存在することが確認できる。このような組織渦は、写真-1・bに示すように間欠的に下方へ進入し、界面変動の引き金になる。



写真-1・a

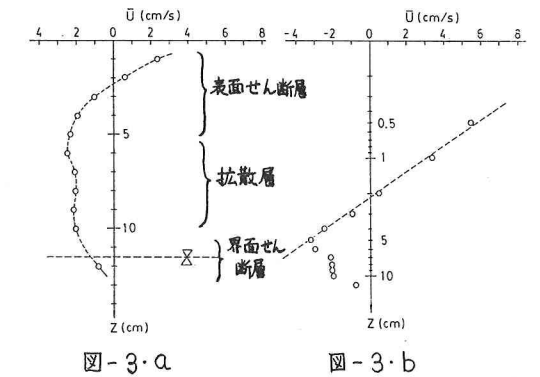


図-3・a

図-3・b

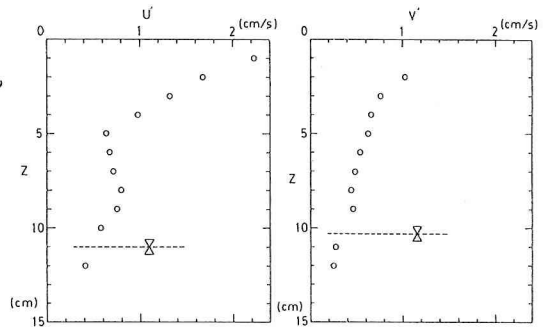


図-4・a

図-4・b

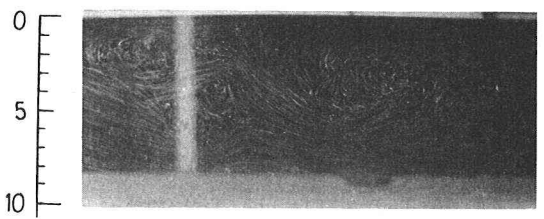


写真-1・b

6. 界面変動および連行

塩水くさび型の成層密度流では通常二種類の界面波が存在し、これらの界面波が界面での連行現象に密接に関連していることが知られている。日野らによれば、これらの界面波は擬周期的であり、またそれらの波速は浜田・加藤の理論値とよく一致する。図-5は、2で述べた方法で可視化した界面変動のビデオ記録を1秒おきに図示したものである。この図から分るように、本実験で得られた界面変動記録には界面波の擬周期性はほとんど見られず、むしろその発生間隔はランダムであると言った方がよい。また、ここには示していないが、波速の実測値は浜田・加藤の理論値にはほとんど一致せず、界面での平均流速に近くなっている。このようなことから、吹送流型の成層密度流の界面変動および連行は、塩水くさび型のものと異なり、淡水層内の乱れ(渦)にかなり影響されているものと考えられる。なお、可視化により、界面直上にバースティング的な大規模な上昇流が間欠的に発生し、それによって連行が引起される場合が観察されたが、現在のところ、これと淡水層内の組織渦との関連は明らかでない。

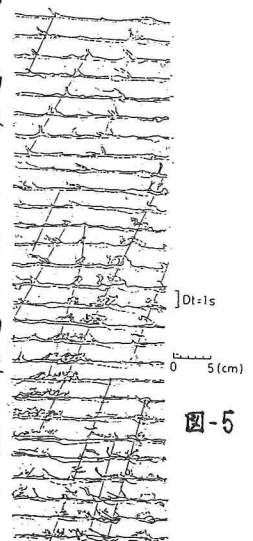


図-5