

II-261

成層化水域の風循環に関する実験的研究

東京都立大学大学院 正員 新谷哲也
 東京都立大学 学生 森藤明子
 東京都立大学大学院 正員 梅山元彦

1. まえがき

湖沼及び内湾等の閉鎖性水域では、水温、塩分などによる密度差によって水深方向に密度が急変する内部境界面が形成される。特に夏期には、水面近くの水が温められるために強い温度成層が形成される。下層では通常、外界の影響が遮断されるために水質汚染が問題となる他、大気からの酸素の供給が少なく、生物の死骸等の分解により酸素の消費が促進されるために貧酸素となる。また、下層水が何らかの原因によって水面近くに湧昇することがあり、青潮の原因になる。閉鎖性水域に作用する外的要因は水表面に作用する応力及び大気との熱の授受であり、水質構造を決める重要な因子となっている。水域全体を循環させるような流れは主に吹送流であり、吹送流による成層化水域の水循環を把握することは、水質管理や周辺の生態系の維持に関して非常に重要である。

そこで、本研究では、室内実験によって密度成層の強度と風によるせん断力を様々に変化させた場合の上層及び下層での流況を詳しく調べるとともに理論計算で得られた結果と比較・検討を行った。また、電気伝導度計を用いて断面での密度を測定し、密度境界面で起こっている混合(連行)現象¹⁾について考察した。

2. 実験法

図-1は、実験で用いた長さ6m、幅0.15m、高さ0.35mのガラス張りの矩形風洞水路である。風速を4種類(ケース1~4)、密度差を2種類(上層密度 $\rho_1 = 1.000g/cm^3$ 、下層密度 $\rho_2 = 1.015g/cm^3$ 及び上層密度 $\rho_1 = 1.000g/cm^3$ 、下層密度 $\rho_2 = 1.028g/cm^3$)の組み合わせで実験した。風速は、ピトー管を用いて上流端から3mの場所で測定した。全実験を通して上層の厚さを $h_1 = 15cm$ 、下層の厚さを $h_2 = 19cm$ とした。水槽内には、上層に真水、下層にはウォーターブルーで着色した塩水を入れて、塩分濃度差によって二層の密度成層を作った。計測は、流速分布、濃度分布、及び内部境界面変位について行なった。水平及び鉛直流速の鉛直分布は、水槽上流端から1.3m(No.1)と3.5m(No.2)のところに電磁流速計を設置し水面から1cmごとに測定し、濃度分布は、電気伝導度計を使って水槽上流端から20cmの位置で測定した。また、内部境界面の変位を求めるために、下流端から25cmの位置に内部波高計を設置した。

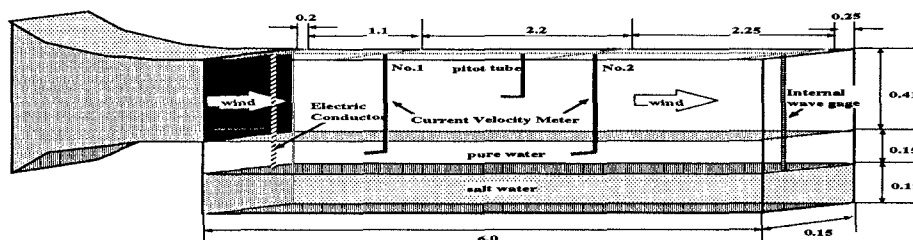


図-1 実験装置 (単位:m)

3. 実験結果の考察及び解析解との比較

図-2は、4ケースの風の条件下での風速の鉛直分布を示したものである。平均風速の鉛直分布が水面付近では片対数グラフ上ではほぼ直線分布になっており、この領域では対数則に従っていることがわかる。

流れの状況については、水槽内に風が吹き始めるとまず上層水が下流方向に吹き寄せられ、それに対応して上流端で下層水の湧昇が起こりはじめた。その後、上層全体では層内循環流が形成されたが、下層ではどの

Key Words: 風循環, 密度成層, 連行現象

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Tel.0426-77-1111, Fax.0426-77-2772

ケースにおいても境界面付近を除いて流速はほとんど見られなかった。密度境界面付近では、風送開始後、風送前から分子拡散で形成されていた上層と下層流体の混合層が上流側に吹き寄せられた。風速が小さい場合(ケース1、ケース2)は、混合流体によって形成されるくさび型の混合層が上流側に薄く広がっているだけであるが、風速の大きい場合(ケース3、ケース4)では、これらに加えて、下流側の境界面においてせん断流によって生じた混合流体が上流側に移動し、中間層に加わり中間層を拡大してゆく様子が確認できた。

風送開始後しばらくすると定常状態になり、上層、中間層、下層は釣り合いを保っているのが確認できた。上流($x = 0.2m$)における中間層の鉛直密度分布を電気伝導度計を用いて測定した結果が図-3に示してある。無風状態では、境界面が存在する $z = 15cm$ のところで鋭く密度が変化しているが、風速が大きくなるにつれて混合層が徐々に発達している様子がこの図からも読みとれる。

図-4は、上層の密度 $\rho_1 = 1.000g/cm^3$ 、下層の密度 $\rho_2 = 1.015g/cm^3$ の場合、No.1地点において測定した水平流速の実験結果をプロットしたものである。図中の実線は、水平と鉛直の渦動粘性を一定として、定常状態の下で得られた理論解²⁾から計算した流速分布曲線である。全体的に理論解は実験結果を良く再現しているが、水深15cmの位置の境界面付近に大きなズレが見られる。これは、中間層の影響によるものと考えられる。

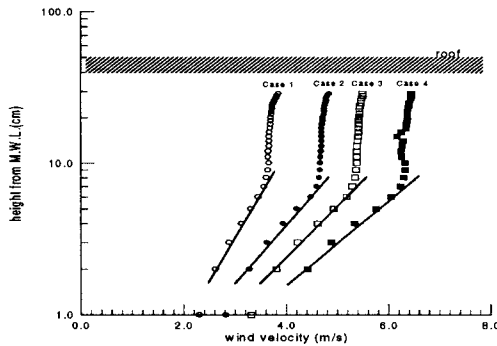


図-2 風速分布

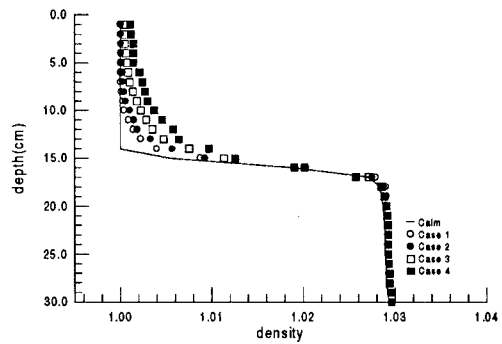


図-3 電気伝導度の鉛直分布

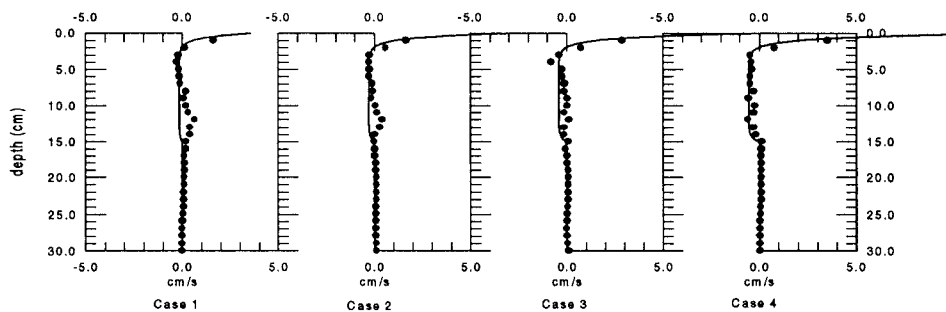


図-4 理論解と実験結果の水平流速の比較(上層密度 $\rho_1 = 1.000g/cm^3$ 、下層密度 $\rho_2 = 1.015g/cm^3$;地点No.1)

4. 結論と今後の課題

今回の実験では二成層の閉水域における流況及び内部境界面変位、混合層の特性を定量的に測定した。また、実験で得られた流速分布と理論解を比較することによって風速の違いによる流速の分布を検証した。

今後は、混合層内の流速分布や混合層の発達と定常に到達するまでの過程をより詳しく測定する予定である。

参考文献

- 1) 尹 鍾星, 成層水域における貧酸素水塊の湧昇現象に関する水理学的研究, 大阪大学工学博士学位論文, 1994
- 2) Umeyama, M., and Shintani, T. (1999): Wind-induced circulation in a shallow flume with stratified water, Proc. of XXVIII IAHR Congress(投稿中)