

九州工業大学

正 満 勝

大学院 学 〇 児玉 英信

学 松村 武彦

学 陸内 康司

学 平野 文裕

1. はじめに

貯水池など閉じた水域において温度や物質濃度の差により鉛直方向に密度成層された状態が存在することが多いが、このとき、水表面に風によるせん断力が与えられると上層部に波や吹送流の乱れの卓越した混合層と静穏な下層部との間に密度の急変する密度境界面が形成され、引き続く外力によって下層部の流体が上層に連行されてゆく。このプロセスを明らかにすることは、貯水池を熱交換器あるいは水資源として利用するためには重要なことであると考ええる。前報¹⁾までは風洞水槽を用いて実験を行い、連行速度を規定する量として、上層部の吹送流の逆流最大速度 u 、上層水深 H_1 の与えなわち $H_1/2$ 、上下層の密度差 $\Delta\rho$ を代表量とする Ri 数を用いれば平均流による連行速度と同じ関係で表示されることを示した。その後、密度分布の流れ方向の変化などを考慮し流れ方向の数点において、吹送流の流速分布、乱れ強度、内部波、表面波のスペクトルなどを測定して解析を行っている。本報告は現在得られている吹送流と内部波、表面波の結果の一部を報告するものである。

2. 実験装置及び方法

風洞水槽は $60 \times 60 \times 20$ cmで、このうち風路高は20 cm、貯水池は全水深39 cm、長さ500 cmである。実験は貯水池に初期密度差 $\Delta\rho$ 、初期界面深さ H_1 の二成層の場と水道水と塩水を用いて作り、風はファンの回転数を一定として実験を行った。今回報告するものは水槽のほぼ中央点近傍での測定結果である。実験条件を表-1に示す。

なお、空気摩擦速度 u_{*a} は $x=200$ cmにおける値であり、 Ri_2 は u_{*a} を用いた Ri 数($Ri_2 = \rho g H_1 / \rho_a u_{*a}^2$)である。なお、連行速度 U_e は鉛直密度分布の測定より界面の低下速度 $dy_{it}/dt = U_e$ より求めた。吹送流の流速分布はこれまで水素気泡法、ウオーターゲル一粒子の軌跡などを用いて調べてきたが、水表面の波動運動のため、かなり困難であった。今回はコニカルタイプのホットフィルム流速計を使用して測定を行った。しかし、後述の結果からわかるように流向が変化し、しかも流速の絶対値が小さいため測定にはかなり苦労したが、流向は球浮子を糸で結びつけたアドバルーンの様子により判定し、一応の成果は得られたと考える。

表面波高は、市販の容量式波高計を2対、 $\Delta x = 2.5$ cmとして用いた。内部

波高計は抵抗式波高計で0.3 cm白金線を用いたプローブを2対 $\Delta x = 2$ cmで境界面

近傍にセットして測定した。内部波高計の出力検定は本実験が時間と共に

ρ 、 H_1 が変化する非定常現象であるため、毎測定時の直前と直後に行った。

以上の測定はデータレコーダーに記録した。データの解析はミニコンで

AD変換し、大型計算機にデータを転送後計算を行った。

Table-1

Exp.No.	V-33	SI-33	V-145	SI-143
Fan (rpm)	600.0	600.0	1200.0	1200.0
u_{*a} (cm/s)	32.0	32.0	60.0	60.0
z_1/z_2 ($\times 10^{-1}$)	39.0	39.0	178.0	187.0
H_1 (cm)	10.35	10.2	19.0	19.0
H_2 (cm)	39.1	38.0	43.9	54.6
$u_{*e} \times 10^{-1}$ (cm/s)	9.1	5.0	23.0	13.6
$U_e \times 10^{-1}$ ($\times 10^{-1}$)	3.19	1.75	2.96	1.85
Obs. point x(cm)				
Velocity	241.0		245.0	
Surf. Wave		227.5		193.0
Int. Wave		247.0		223.0

Table-2

Exp. V-33	z	z/E_1	u	u'	L	u/v	u'/v
	(cm)	(-)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	(-)	(-)
	0.3	0.015	5.08	7.85	0.154	5.02	1.35
600rpm	1.0	0.050	1.76	0.80	0.623	1.74	0.45
	5.0	0.247	-1.11	0.26	1.20	1.10	0.24
X=241cm	9.0	0.441	-1.07	0.34	2.45	1.06	0.32
	13.0	0.633	-0.72	0.12	0.327	0.71	0.17
$v_e = 1.01$ cm/s	17.0	0.825	-1.52	0.29	1.15	1.51	0.19
	20.3	0.973	-0.26	0.07	0.484	0.26	0.25
Exp. V-145	2.0	0.028	18.6	8.86	2.38	8.77	0.43
	6.0	0.087	-2.50	1.24	0.416	-1.12	0.50
1200rpm	10.0	0.144	-2.71	1.38	3.05	-1.28	0.51
	14.0	0.200	-2.49	1.20	1.97	-1.18	0.43
X=245cm	18.0	0.261	-2.50	1.11	2.36	-1.18	0.43
	22.0	0.313	-2.85	1.20	4.53	-1.32	0.42
$v_e = 2.12$ cm/s	26.0	0.369	-1.36	0.931	1.50	-0.64	0.58

3. 吹送流の流速分布

流速分布の測定結果の解析はまだ全てを行っていないので、全体像を明らかにするまでに到っていないが、水路中央部における吹送流の代表量を表2に示す。流速測定の解析は今回、時間刻分 $\Delta t = 0.22$ sec、データ総数 $N = 512$ として、MEM法を用いた。表-2の z は測定水深 H_1 は測定時刻の内部境界面深さ、

$\bar{u}$ は Z における水平流速の時間平均値、 u' は水平変動速度成分の RMS、 L は乱れの積分スケールで、Taylor の凍結乱流の仮定を用いて自己相関係数の積分時間窓に $\bar{u}$ を乗じて求めた。 α は水の摩擦速度で $\alpha = \sqrt{\rho/\rho_a} \cdot u_{*a}$ を用いて求めた。図 1, 2 は表 2 を図化したものである。これより、平均流速は水素気泡法などで求めた値に比べて約 1/2 となり小さいことがわかった。しかし、相対乱れ強度 $u'/\bar{u}$ は 0.25 (600 rpm) および 0.5 (1200 rpm) と風速により異なるが非常に大きく、平均流によるせん断の場合の $u'/\bar{u} \approx 0.05$

に比べて 5~10 倍大きく、表面波の影響が大きいことが推定される。また、 $u'/\bar{u}$ の深さ方向変化は少なくほぼ一定といえるようである。乱れの積分スケールはばらつきが大きく、他の解析結果を持って述べたい。

4 流速の変動スペクトルと表面波高および内部波高スペクトル

水平流速の変動成分のスペクトルは前述した MEM 法を用い表面波と内部波の水位変動スペクトルは $N=512$, $\Delta t = 0.04 \text{ Sec}$ の FFT 法を用いて計算を行った。表 1, 2 の条件で求めたスペクトルの周波数 f (Hz) に対する分布を図 3, 4 に示す。同図には表面波 (SW) (太点線)、内部波 (IW) (太実線) の変位スペクトル (cm^2/sec) および水平流速変動成分のスペクトル (cm^2/sec) を細線で各測定深さごとに示した。これより水表面に近い V スペクトルは表面波のスペクトルピーク周波数 f_m とほぼ同じ位置でピークを持つが、深さが増すにつれてこのピークは目立なくなってゆく。そして、内部波高のスペクトルはほぼ変動スペクトルの減衰傾向と同じ傾き $-1/3$ を持ち²⁾、内部境界面は表面波によって誘起された乱れによる動揺を行っておりと推定される。

おわりに 以上、得られた解析結果の一部を述べたが、今後他のデータの解析も行、て別の機会に全体像を明らかにしたい。最後に御指導いただいた九大工学部橋梁一郎教授をはじめ助言と協力をいただいた九大・小松利光助教授、柴田敏彦教官、九工大・國田敏勝助手、矢嶋虎夫助教授、西村直人技客の各位に心からの謝意を表す。また本研究は科学研究費(特定研究、代表者九工大平尾一郎教授)の援助を得た。記して、謝意を表す。

(参考文献) 1) 浦ほか: 九工大研報(工) NO. 41 P63 (1980) 2) 橋, 小松, 下田: 水理講演会論文集(1981)

