

102-(8) 風洞水槽内二層流の流速分布について

九州工業大学 正 浦 勝
 フ 大学院 学 ○ 尾玉 英信
 フ 学 松村 武彦
 フ 学 隆内 康司
 フ 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態を下層部との間に密度の急変する密度界面が形成され、引き続く外乱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る。前報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_e 、上層水深 H_1 の $\sqrt{u_e H_1}$ 、上下層の密度差 ρ を代表量とするRe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歴点において、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 $60 \times 60 \times 200$ cmで、このうち風路高は20cm、貯水部は全水深39cm、長さ500cmである。実験は貯水層に初期密度差 ρ 、初期界面深さ H_1 の二成層の場合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_{τ} は $X = 200$ cmにおける値であり、Reは $u_{\tau} H_1$ を用いたRe数($Re = 498 H_1 / u_{\tau} d_{\tau}$)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 $du/dz = u_e$ より求めた。吹送流の流速分布はこれまで水素気泡法、ウオーターバブルー粒子の軌跡などを用いて調べてきたが、水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らようにならぬが、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、流向は球洋子を系で結びつけたアドバルーンの傾きにより判定し、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、 $\Delta z = 2.5$ cmとして用いた。内部波高計は抵抗式波高計で0.3中白金線を用いたプローブを2対 $\Delta z = 2$ 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波は本実験が時間と共に 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なった。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。

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りていないうち、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、時間刻み $\Delta t = 0.02$ 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 、 z' は測定時刻の内部界面深さ、

Table-1

Exp. No.	V-33	SI-33	V-145	SI-143
Fan (rpm)	600.0	600.0	1200.0	1200.0
u_{τ} (cm/s)	32.0	32.0	60.0	60.0
$u_e / u_{\tau} (\times 10^{-3})$	39.0	39.0	178.0	187.0
H_1 (cm)	10.35	10.2	19.0	19.0
Re	39.1	38.0	43.9	51.6
$u_e / u_{\tau} (\times 10^{-3})$	9.1	5.0	23.0	13.6
$u_e / u_{\tau} (\times 10^{-3})$	3.19	1.75	2.96	1.85

Obs. point x(cm)

Velocity	241.0	246.0
Surf. wave	227.5	193.0
Int. wave	247.0	223.0

Table-2

Exp. V-33	z (cm)	z'/z_1 (—)	\bar{u} (cm/s)	u' (cm/s)	L (cm)	u/v	u'/u
600rpm	0.3	0.051	5.08	7.85	0.154	5.02	1.55
	1.0	0.501	1.76	0.80	0.624	1.74	0.46
	5.0	2.247	-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	0.233	-0.72	0.12	0.827	0.71	0.17
	17.0	0.825	-1.52	0.29	1.15	1.51	0.19
	20.3	0.273	-0.26	0.07	0.484	0.26	0.25
$v_s = 1.01$ cm/s	2.0	0.08	18.6	8.86	2.38	8.77	0.43
	6.0	0.227	-2.56	1.24	0.416	-1.18	0.50
1200rpm	10.0	0.334	-2.71	1.38	3.05	-1.28	0.52
	14.0	0.536	-2.49	1.20	1.07	-1.18	0.49
X=246cm	18.0	0.253	-2.50	1.11	2.36	-1.18	0.45
	22.0	0.813	-2.85	1.20	4.53	-1.34	0.42
	$v_s = 2.12$ cm/s	26.0	0.549	-1.36	0.931	1.50	0.54

これは \bar{u} における水平流速の時間平均値、 \bar{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 の渦結乱流の仮定を用いて自己相関係数の積分時間でに τ を乗じて求めた。 β は水の摩擦速度で $\beta = \sqrt{\mu/\rho} \cdot 1.62$ 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 $\frac{1}{2}$ となり小さいことがわかった。しかし、相対乱れ強度 \bar{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 $\bar{u}'/\bar{u} \approx 0.05$ 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、 \bar{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、他の解析結果を待して述べたい。

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 法を用いた表面波と内部波の水位変動スペクトルは $N=512$, $\Delta t = 0.04 \text{ sec}$ で 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 $f(\text{Hz})$ 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_0 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つてゆく。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⁾、内部界面は表面波によって誘起された乱れによる動搖を行つていると推定される。

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つ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東一郎教授はじめ助言と協力をいた

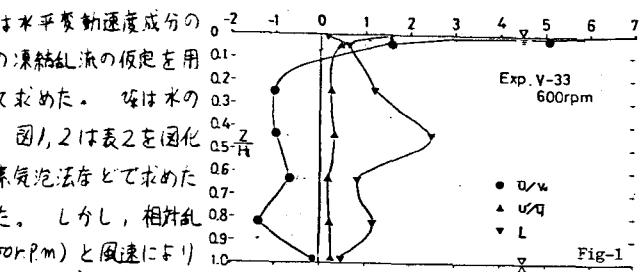


Fig-1

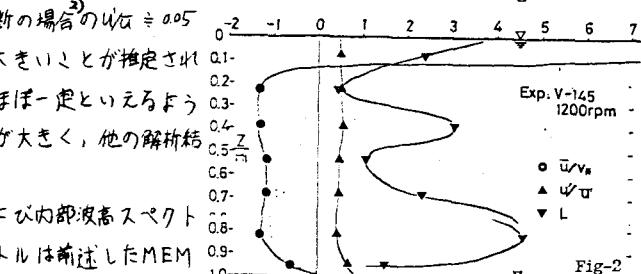


Fig-2

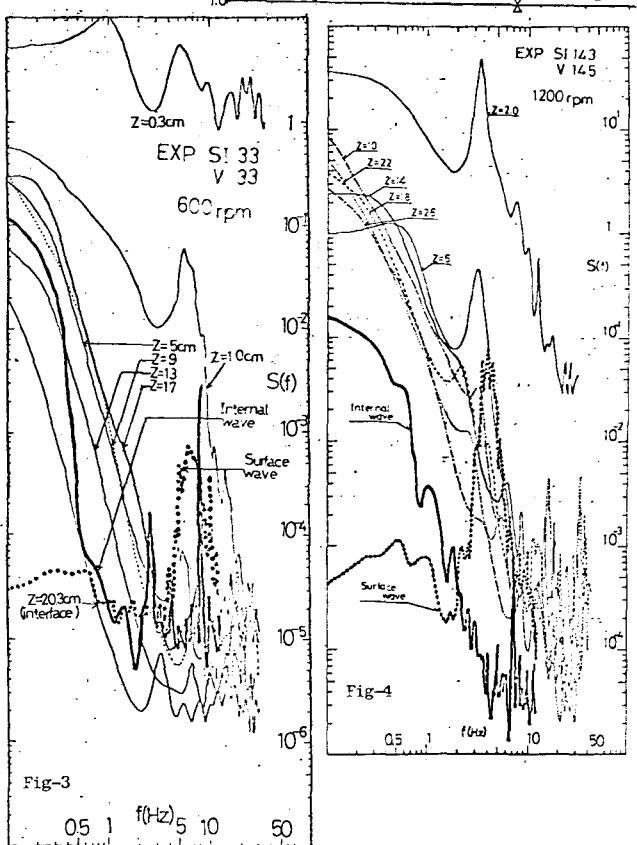


Fig-3

Fig-4

いた九大・小松利光助教授、柴田敏彦技官、九工大・園田敏勝助手、矢鳴虎夫助教授、西村直人技官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) 濑ほか: 九工大研報(工学) NO. 41 P63 (1980) 2) 橋、小松、下田: 水理講演会論文集 (1981)