

増幅した風波による吹送流の乱れと密度界面の連行

九州工業大学工学部
〃正員 浦 勝 学生員 ○ 淡谷 武司
学生員 塚田 誠 〃 江藤 一洋

1. 緒言

種々の二層流の密度界面における連行係数 E_m は、乱れが卓越する場合には層平均リチャードソン数 Ri_m で整理すると、式(1)で表されることがわかった。

$$E_m = A \cdot Ri_m^{-3/2} \quad (1)$$

ここに、 $E_m = u_*'/U_m$, $Ri_m = \varepsilon gh/U_m^2$

u_*' : 連行速度, U_m : 混合層の一様流速, ε : 相対密度差,

g : 重力加速度, h : 混合層厚。このとき、式(1)における比例係数 A は、混合層内の界面近傍の乱れ強さ u_*' 、積分長さスケール L を用いて式(2)で定義する乱れ係数 T_f

$$T_f = (u_*'/U_m)^4 (L/h)^{-3/2} \quad (2)$$

によって支配され

$$A = 0.7 \cdot T_f \quad (3)$$

の関係にある。¹⁾

そこで以上の関係式が T_f のより広い範囲に対しても成立するかどうかを調べるために、今回、風洞水槽に造波板を設置し風波を増幅させた場合の実験(A-Type)を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験装置及び方法

実験装置は、図-1に示す風洞水槽の上流端に図-2に示す片振幅 $\alpha=21^\circ$ の造波板が設置され周波数2.3Hzで振動させることにより、水表面に発達する風波が増幅されるようになっている。風洞水槽内は、波高測定の場合は淡水を満し、流速及び連行速度の測定には二成層場(上層: 淡水、下層: 塩水)を形成した。風洞水槽内の位置表示は、水槽部上流端静止水面を原点にとり風下側にX軸、鉛直下向きにZ軸をとった。波高測定は、容量式波高計を $X=94, 194, 278, 323\text{cm}$ の4ヶ所に設置し風速を変化させ3ケース行った。 X 方向の流速測定は $X=280\text{cm}$ の位置にコニカルタイプのホットフィルム流速計を設置し、連行速度は $X=197, 322\text{cm}$ の2点に塩分濃度計を設置し、風速と相対密度差を変化させて7ケース行った。密度界面の深さ、即ち混合層厚 h は上・下層の中間密度を有する位置と定義し、連行速度は $u_*' = dh/dt$ として求めた。水の摩擦速度 u_*' は、水面近傍の流速分布が式(4)の対数分布則に従うとして求めた。

$$U/u_*' = (1/K) \ln(Z/Z_0) \quad (4)$$

ここに、 U : 深さ Z における流速, K : カルマン定数, Z_0 : 粗さのパラメータ,

3. 実験結果

造波板により増幅された風波の有義波高 $H_{1/3}$ と吹送距離 F の関係を図-3に●印で示す。同図の○印は、造波板を設置しない場合(D2-Type)の結果²⁾を示している。またA-TypeとD2-typeの水面変位のスペクトルを

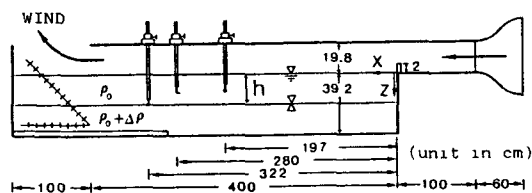


図-1 風洞水槽

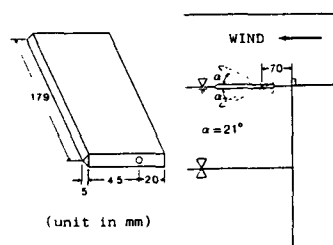


図-2 造波板

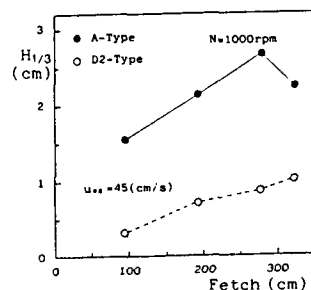


図-3 有義波高の変化

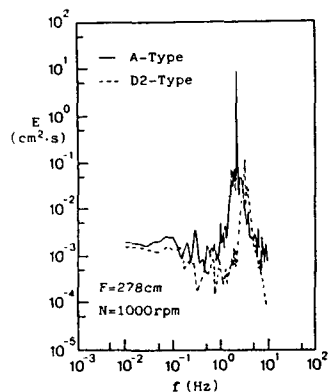


図-4 風波のスペクトル図

比較したものを図-4に示す。これらの図から、風波を造波板で増幅させたことにより表面波の特性が変化しているのがわかる。次に、吹送流の平均流速 U 、乱れ強さ u' および積分長さスケール L の鉛直分布を、 h, u^* を用いて無次元化したものを各々図-5(A)(B)(C)に示す。同図より、 $Z/h=0.25$ で流向が逆転し、 $0.4 < Z/h < 0.9$ でほぼ一様な逆流流速 U_r をとっていることなど図-5に示した分

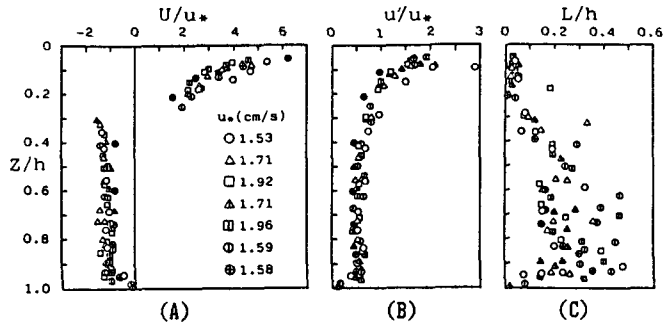


図-5 吹送流の平均流速、乱れ強さ、積分長さスケールの鉛直分布
表-1 界面近傍における乱れ特性量

Type	U/u^*	u'/u^*	u'/U	L/h	$T_r (\times 10^2)$
Smooth	1.85 ± 0.30	0.65 ± 0.10	0.35	0.35 ± 0.05	$8.0 \sim 10.0$
Surfactant	1.85 ± 0.40	0.39 ± 0.15	0.21	0.20 ± 0.02	$2.5 \sim 3.5$
D-6	1.50 ± 0.15	0.82 ± 0.13	0.52	0.45 ± 0.05	$26 \sim 58$
D-2	1.40 ± 0.15	0.61 ± 0.10	0.44	0.28 ± 0.02	$18 \sim 27$
Amplifier	1.14 ± 0.20	0.54 ± 0.15	0.47	0.25 ± 0.05	$40 \sim 125$

にはほとんどわからない。連行現象に最も影響を及ぼすと考えられる相対水深 $Z/h=0.9$ における各々の値を従来の測定結果と共に表-1に示す。同表より、表面波の特性が変化したことにより、 $Z/h=0.9$ における U_r/u^* 、 u'/u^* 及び L/h が何れも減少しているが、流れの相対的乱れ強さ u'/U と T_r の値を増大させていることがわかる。

4. 連行係数の平均流表示

本実験の結果を用いて求めた E_n と Ri_n の関係を図-6に■印を用いて示す。なお、吹送流の場合は U_n の代わりに U_r を用いている。同図には、平均流を持つ他の二層流の測定結果も示している。また、各々の流れにおいて測定された T_r の値も図中に示している。同図より本実験で得られた

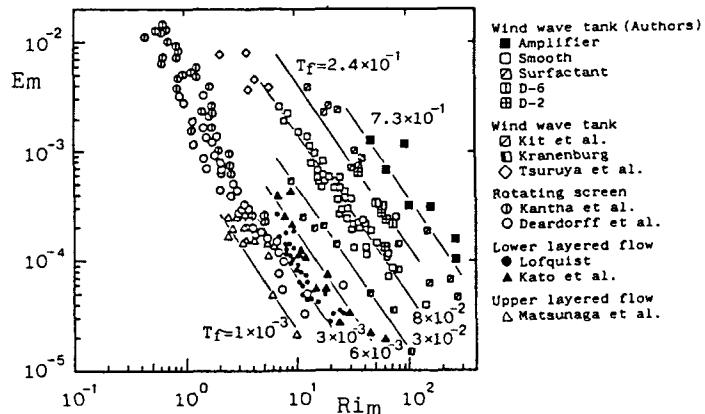


図-6 連行係数 E_n とリチャードソン数 Ri_n

結果も T_r をパラメータとして式(1)で表せることがわかる。さらに式(1)を用いて求めた係数 A の値と乱れ係数 T_r の関係を示したものを図-7に示す。同図より、 A は T_r によって一義的に定められ $1.4 \times 10^{-3} < T_r < 1.25$ の範囲で式(3)をほぼ満足しているといえる。

5. 結言

以上、風洞水槽内に誘起される風波を造波板により増幅させることにより吹送流の平均流速と乱れ特性の鉛直分布を求め、図-5を得た。界面近傍の特性量は表-1に示したが、 u'/U が大きく、 L/h が減少するため T_r は Smooth と比較して1桁ほど大きくなる。連行関係式(1)~(3)はこの場合にも成立することが確認された。

(参考文献)

- 1) 浦 勝, 岩永 洋, 淡谷武司: 第34回海講論 pp.641~645, 1987
- 2) 浦 勝, 淡谷武司, 山本 一: 土木学会第43回年講概要集 II

pp.514~515, 1988

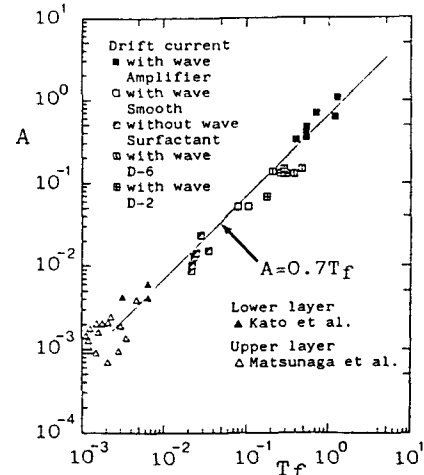


図-7 係数 A と乱れ係数 T_r