

乱れの卓越した二層流の界面における

連行に関する研究

九州工業大学工学部

正員

浦 勝

学生員

○塚田 誠

//

学生員 江藤 一洋

学生員

ハミダ ハムザ

1. 緒言 乱れが卓越した二層流において密度界面における連行係数 Em は、層平均リチャードソン数 Rim で整理すると式(1)で表される。この式(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 Tf によって支配され、式(3)の関係にあることがわかった¹⁾。ところで Tf の値は流れの種類や表面波の状態によってかなり大きく変化することがわかってきた²⁾。そこで今回風洞水槽に取り付けた造波板の振動周波数を変化させ波高と Tf との関係を調べる実験(C-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

実験に用いた水槽は、長さ5m、幅20cmの風洞水槽で上流端に図-1に示すような片振幅 $\alpha=21^\circ$ の造波板を設置し、周波数を変化して振動させることで、水表面に発達する風波が増幅されるようになっている。

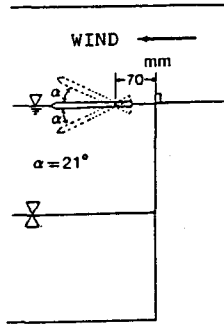


図-1 造波板

今回採用した周波数は 図-1 造波板
0.147, 2.17, 2.72Hzの4種で、これは一様風速 $U_{ma}=9.3m/s$ のもとで有義波高 $H_{1/3}$ と造波板周波数 F_0 との関係を図-2のように求めた結果から、△印で示す4点を選んだものである。風洞水槽内に二成層場(上層:淡水、下層:塩水)を形成し、吹送流の流速及び連行速度の測定を行った。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。水位変動の測定は、容量式波高計を $X=30, 271.5, 275cm$ の3ヶ所に設置し、流速測定は $X=284cm$ 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 $X=197, 322cm$ の2点に塩分濃度計を設置し、風速は $U_{ma}=9.3m/s$ の一定

とし、表-1に示す4ケースの測定を行った。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 $ue=dh/dt$ として求めた。 h_0 は h の初期値である。水の摩擦速度 u^* は、水面近傍の流速分布が対数分布則に従うとして求めた。

3. 実験結果 造波板の周波数 F_0 を変化させて増幅した風波の $X=275cm$ における有義波高 $H_{1/3}$ 、有義周期 $T_{1/3}$ 、波速 C 及び波長 λ の測定結果を表-1に示した。吹送流の平均流速 U 、乱れ強さ u' および積分長さスケ-

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

$$Tf = (u'/Um)^4 (L/h)^{-3/2} \quad (2)$$

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

ここに、 $Em=ue/Um$, $Rim=\varepsilon gh/Um^2$

ue :連行速度, Um :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

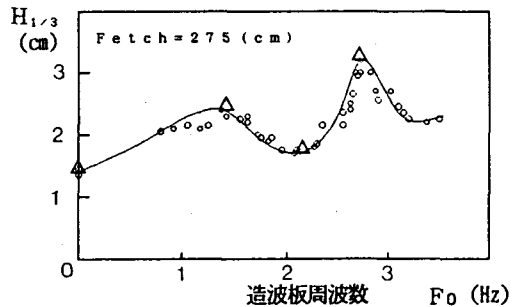


図-2 造波板による波の特性

表-1 波に関するデータ及び乱れ特性量

実験番号	501	502	503	504
造波板周波数 F_0 (Hz)	0	1.47	2.17	2.72
有義波高 $H_{1/3}$ (cm)	1.46	2.76	1.9	3.30
有義周期 $T_{1/3}$ (sec)	0.261	0.352	0.315	0.375
波速 C (cm/s)	9.30	27.39	27.78	28.35
波長 λ (cm)	2.21	9.40	7.58	10.54
摩擦速度 u^* (cm/s)	1.53	1.81	1.71	2.84
連行速度 U_r (cm/s)	2.8	2.7	2.5	3.2
u' / u^*	0.65	0.62	0.58	0.55
u' / U_r	0.329	0.430	0.376	0.301
L / h	0.16	0.17	0.135	0.15
乱れ係数 Tf	0.162	0.486	0.403	0.402
相対密度差 ε	0.0271	0.0270	0.0252	0.0267
初期水深 h_0 (cm)	19.28	19.05	19.10	18.85
連行速度 U_e ($\times 10^{-3} cm/s$)	0.83	1.30	0.88	2.28
係数 A	0.118	0.277	0.233	0.239

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-3(a)(b)(c)に示す。同図より、 $Z/h \approx 0.3$ で流向が逆転することや、 $0.4 < Z/h < 0.8$ でほぼ一様な逆流流速 U_r をとっていることなど定性的には従来の分布形とほとんど変わらない。ただし、 $Z/h=0.9$ 付近では、風波が大きいために界面波が影響を受けて変動が激しい。このため、連行現象に最も影響を及ぼす各々の値は $Z/h=0.8$

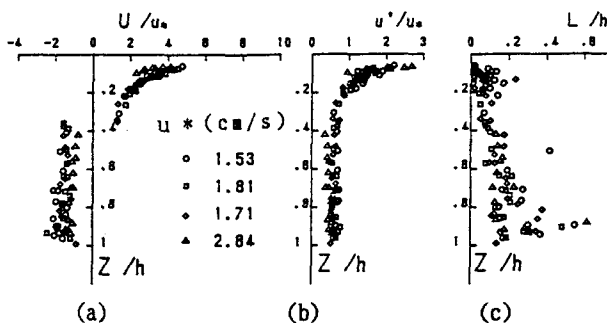


図-3 吹送流の平均流速、乱れ強さ、積分長さスケールの分布図

近傍の値を用いることとし、それらの値を用いて求めた乱れ係数 Tf を表-1に示す。同表より造波板周波数の増加に伴い波速 C が増加しているのがわかる。これらの結果より界面の乱れに及ぼす表面波高の影響を見るため Tf と $H_{1/3}$ との関係を示したものが図-4である。同図の■印が今回の測定結果でありその他の記号は昨年までに得られた結果を示したものである。図-4より波の発達と共に Tf が増加し $H_{1/3}$ が2cm以上に発達した領域では Tf の値が頭打ちになっているといえるようである。

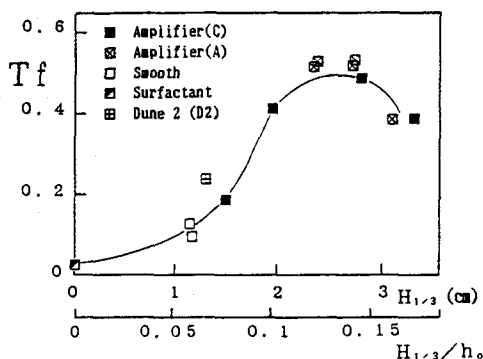


図-4 乱れ係数 Tf と有義波高 $H_{1/3}$

4. 連行係数の平均流表示 本実験の結果を用いて求めた Em と Rim の関係を図-5に■印を用いて示す。なお吹送流の場合は、 U_m 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 Tf の値も図中に示している。同図より本実験で得られた結果も Tf 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 Tf の関係を示したものを図-6に示す。同図より A は Tf によって一義的に定められ、 $1.4 \times 10^{-3} < Tf < 0.6$ の範囲で式(3)をほぼ満足しているといえる。

5. 結言 以上、風洞水槽内の造波板により風波を変化させ吹送流の平均流速と乱れ特性の鉛直分布を求め、図-3を得た。乱れに関する特性量と波に関するデータを表-1に、 $H_{1/3}$ と Tf との関係を図-4に示したが、 Tf は $H_{1/3}$ の増加と共に大きくなるが、 Tf の上限値が存在するようである。連行関係式(1)~(3)はこの場合にも成立するといえる。

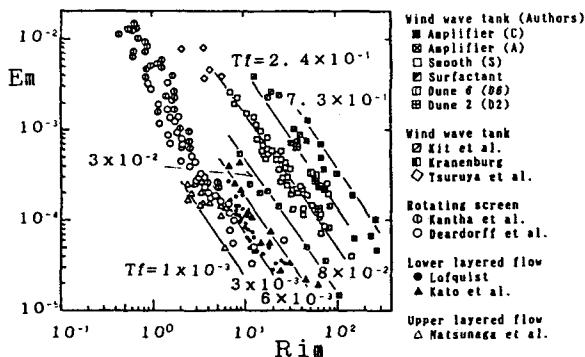


図-5 連行係数 Em とリチャードソン数 Rim

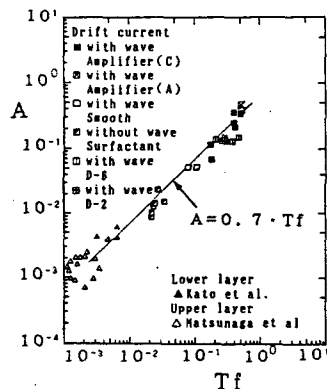


図-6 係数 A と乱れ係数 Tf

(参考文献) 1) 浦・椿・松永・並川: 第29回水講論集 pp.401~406, 1985

2) 浦・塚田・江藤・淡谷: 土木学会第44回年講概要集II pp.516~517, 1989