

II-350 陸上を遡上する波先端部の乱流境界層の測定

東北大学大学院 学生員 ○飯塚英之
東北大学工学部 正 員 真野 明

1. はじめに

著者らは沖で砕波し段波状になって陸上を遡上する波の先端付近の流速測定を行ってきており、波の規模が小さい時には境界層の発達、層流に対するRayleigh問題で、良く近似されることがわかっている。本研究は波の規模を大きくし、滑面乱流状態で実験を行い、可視化によって流速分布を測定し、考察を行ったものである。

2. 実験装置および方法

実験に使用した水路は図-1に示すとおりであり、前報(飯塚ら(1989))と同じものである。実験条件はJonsson(1966)の領域図を参考にして、陸上遡上波先端部が滑面乱流となるように決めた。このときの沖波諸元は、周期 $T=1.9$ s 沖側水深 $h_i=24$ cm 造波振幅 $a_i=1.5$ cm であり、波は斜面途中で、spilling型の砕波をし、汀線に段波状となって入射する。流速測定は水素気泡発生装置と高速度カメラ、ストロボスコープを用いた可視化手法を用い、その方法は、前報(飯塚ら(1989))とほぼ同様であるが、今回は乱流の流速分布を測定するために、水素気泡のタイムライン間隔を狭くする必要があり、水素気泡の発生間隔をストロボスコープの発光間隔の半分にする分周波装置を用いて時間制御を行った。波は造波機による第1波のみを対象とした。

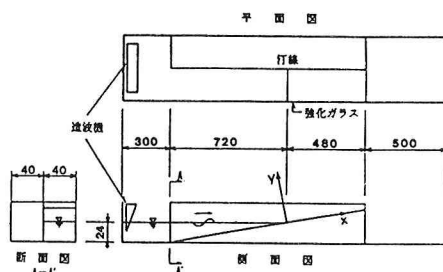


図-1 実験水路

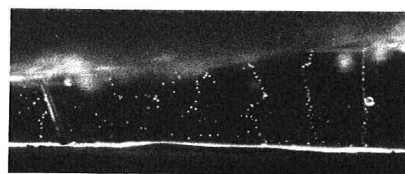


写真-1 (0.12s)

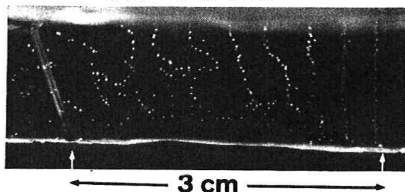


写真-2 (0.46s)

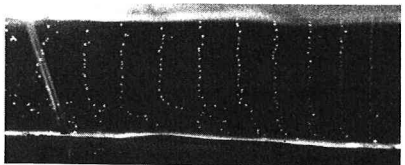


写真-3 (0.54s)

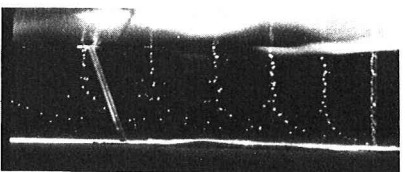


写真-4 (1.22s)

3. 実験結果および考察

写真-1～写真-4に実験により得られたタイムラインを示す。時刻 t の原点を波先端が汀線に達したときの時刻とし、それぞれ $t=0.12$ s, 0.46 s, 0.54 s, 1.22 sに対応している。タイムラインの発生周期は、写真-1～写真-3が 0.01 s, 写真-4が 0.04 sである。写真-1を見ると底面付近では薄い境界層が見られる。また、底面から水面にかけては大規模な乱れが存在しており、白金線からの距離が離れるほどタイムラインの歪みが大きくなっている。このようなタイムラインは時刻 $t=0.14$ s前後まで見られた。時刻 $t=0.36$ s～ 0.50 sでは、写真-2のようにタイムラインが渦によってS字型に回転しており、また、底面付近でejectionが生じているのが観察された。これは、バースティング現象が現れているものと考えられる。時刻 $t=0.5$ sを経過すると写真-3のように、底面からのバースティングが見られなくなるほか、境界層の上のタイムラインには乱れがほとんどなくなり、タイムライン間隔が、

ほぼ等しい平行流となっていることがわかった．さらに時刻 $t = 1.0 \text{ s}$ を経過すると境界層の厚さが写真-4のように厚くなってくるのが観察された．

次に、図-2に主流流速 U 、水深 D 、フルード数 $Fr = \sqrt{\alpha U} / \sqrt{g D \cos \theta}$ (α :レイリー補正係数, U :断面平均流速, θ :斜面勾配)の経時変化を示す．前述の時刻 $t = 0.06 \text{ s} \sim 0.14 \text{ s}$ を見ると、流れは射流で主流流速は急激に減少しており、一方、水深は急激な増加を示している．これは碎波後の段波先端部分に対応しているものと考えられ、水面付近にあった強い乱れは、これらが沖から移流してきたものと考えられる．また、時刻 $t = 0.36 \text{ s} \sim 0.50 \text{ s}$ になると、流れは常流へと遷移し、水深は、ほぼ一定となり主流流速の減速の割合も以前よりも小さくなる．図-3a)b)に流速分布を排除厚と主流流速で無次元化したものを示す．a)は $t = 0.22 \text{ s} \sim 0.50 \text{ s}$ のもので乱流現象が観察されたときの分布である．比較のために、1/7乗則を実線で示した．実験では、底面近傍の流速分布が直線であるとして排除厚を計算したため多少の誤差はあるが、1/7乗則に比較的近い分布となっている．また、主流には大規模な乱れが乗っているの、その影響も現れている．b)は写真-4に対応する $t = 1.02 \text{ s} \sim 1.54 \text{ s}$ のもので、層流のレイリー問題の解の誤差関数を実線で示した．実験値との良い一致がみられ、層流境界層であることがわかる．図-4には δ_* と θ (運動量厚)の経時変化を示した．図中の曲線はレイリー問題の解であり、1.0s以降で実測値と近い値を示す．以上のことから、遡上段波の先端付近の乱流状態から、段波後方では層流状態へと流れの状態が変わっていることがわかる．次に、図-5に乱流状態と思われる時刻における流速分布を速度欠損の形で示す．バースティング現象が見られた時刻 $t = 0.28 \sim 0.50 \text{ s}$ に対応している．また、この図中の y/δ_* が $1.4 \sim 2.0$ ($y^+ = yU_* / \nu$ で $51 \sim 76$) を使って対数則をあてはめ、摩擦速度 u_* と摩擦係数 $f = u_*^2 / U^2$ を求め、図-6に示した． f は $t = 0.1 \text{ s}$ で 7×10^{-3} と大きな値をとり、その後、時間の経過とともに減少し 3×10^{-3} 程度となっている．

4. おわりに

可視化の手法を工夫することにより、陸上を遡上する波の流速分布を測定することができ、波先端部は滑面乱流になっているが、後ろの位相では層流に遷移していることを示すことができた．また先端部では、水面付近に大きな乱れが存在しているために、これらと境界層乱流を合わせて、底面摩擦の特性を今後解析してゆく必要がある．

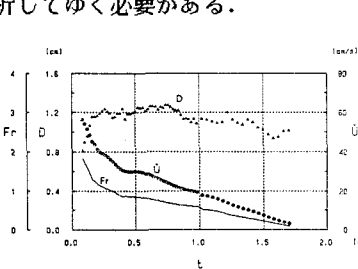


図-2 流速,水深,Frの経時変化

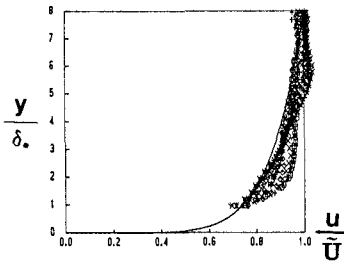


図-3a) 無次元流速分布

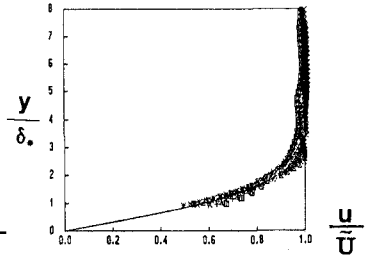


図-3b) 無次元流速分布

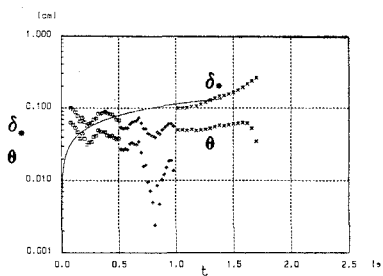


図-4 δ_* 、 θ の経時変化

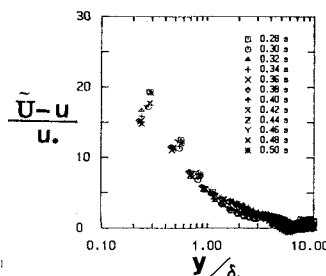


図-5 流速分布 (欠損則)

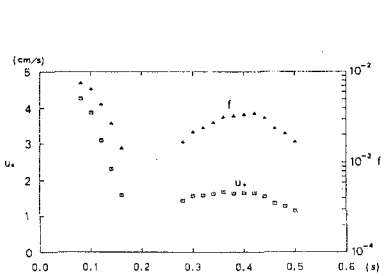


図-6 u_* 、 f の経時変化