

II-48 陸上遡上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

著者らは沖で碎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は、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¹⁾。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。実験条件は陸上遡上先端部が、滑面乱流になるように、Jonsson(1966)の領域図を参考にして決めた。最大遡上行程 $X_{max}=95\text{cm}$ 、汀線での最大流速 U_{max} は約 70cm/s 、ベニヤ板の相当粗度を $k=0.005\text{cm}$ とし、 $X_{max}/k=1.9\times 10^4$ 、 $U_{max}\cdot X_{max}/\nu=6.6\times 10^4$ である。このときの沖波諸元は、周期 $T=1.9\text{s}$ 沖側水深 $h_i=24\text{cm}$ 造波振幅 $a_i=1.5\text{cm}$ であり、波は斜面途中で spilling 型の碎波をし、汀線に段波状とな

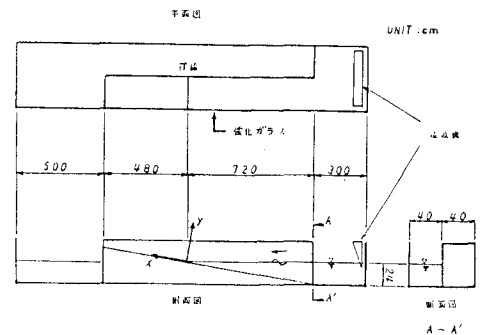


図-1 実験水路

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るため、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。造波機による波は第1波のみを対象とした。

3. 実験結果および考察

写真-1～写真-5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 $t=0.12\text{s}$ 、 0.16s 、 0.46s 、 0.54s 、 1.22s に対応している。タイムラインの発生周期は、写真-1～写真-4が 0.01s 、写真-5が 0.04s 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 $t=0.14\text{s}$ 前後まで見られた。また、時刻 $t=0.16\text{s}\sim 0.30\text{s}$ 前後では底面境界層の厚さが厚くなる（写真-2参照）。時刻 $t=0.36\text{s}\sim 0.50\text{s}$ では、さらに境界層が厚くなるとともに、底面付近でタイムラインが渦によってS字型に回転しており、バースティング現象が現れているものと思われる。写真-3は、その現象を撮影したうちの1コマであり底面付近にejectionが生じているのがわかる。時刻 $t=0.5\text{s}$ を経過すると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る。

以上のことから、遡上段波の先端付近の乱流状態から、後ろの方の層流状態へと流れの状態が変わっていることがわかった。

次に、図-2に主流流速 U 、水深 D 、フルード数 Fr 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 $t = 0.36 \text{ s} \sim 0.50 \text{ s}$ 前後では、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。これは段波の後ろの部分に対応し、水面付近の乱れは小さくなるので、底面からのバースティングが目立つようになるのではないかと考えられる。時刻 $t = 1.0 \text{ s}$ 以後では、水深は減少し始め、流速も 20 cm/s 以下と遅くなっている。

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 $t = 0.22 \text{ s} \sim 0.50 \text{ s}$ のもので乱流状態の分布である。比較のために、 $1/7$ 乗則を実線で示した。実験では、底面から 1 mm 程度離れた所からしか測定できず、その下では流速が直線分布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、主流に前述のように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 $t = 1.02 \text{ s} \sim 1.54 \text{ s}$ 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。

4. おわりに

Jonsson の振動流の乱流領域区分図を参考にして実験条件を決めたが、汀線における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がわかった。まだ先端部では、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、今後解析してゆく予定である。

【参考文献】

1)飯塚英之, 真野 明: 陸上遡上段波の流速分布特性, 土木学会第44回年次学術講演会概要集, p.616-617

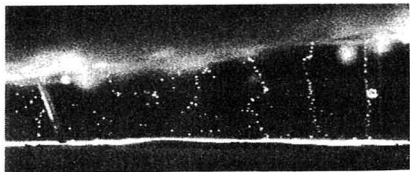


写真-1 (0.12s)

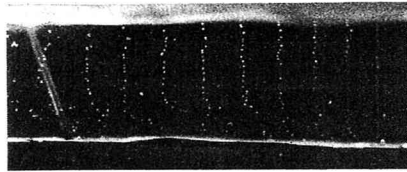


写真-4 (0.54s)

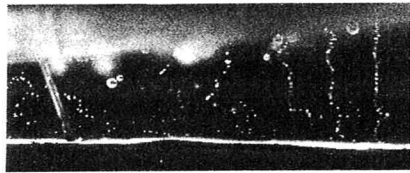


写真-2 (0.16s)

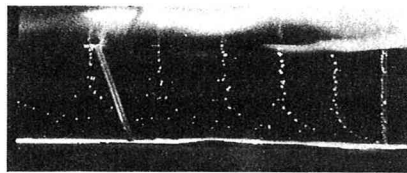


写真-5 (1.22s)

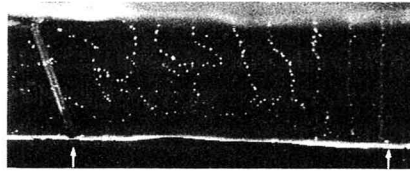


写真-3 (0.46s)

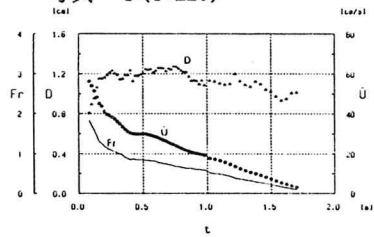


図-2 流速, 水深, Fr の経時変化

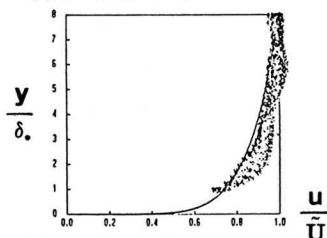


図-3a) 無次元流速分布

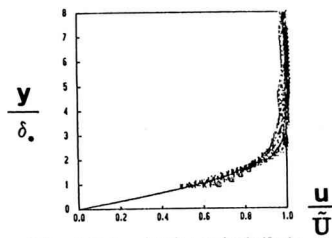


図-3b) 無次元流速分布