

II-468 陸上遡上波における波先端部の底面境界層

東日本旅客鉄道(株) 正 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と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きた。そこで、本研究では実現象に近づけるため波の規模を大きくし、波先端に乱れを含む状態で実験を行い、汀線と陸上とで、底面境界層の変化について調べた。

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。実験条件は造波周期 $T=1.9$ s 沖側水深 $h_i=24$ cm 造波振幅 $a_i=1.5$ cmである。また、最大遡上行程 x_{max} は92cm 汀線での波先端部の入射速度は約70cm/s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により測定し、その方

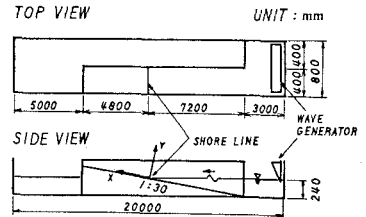


図-1 実験水路

法は、前報とはほぼ同様であるが、今回は波先端部に乱れの含まれる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、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新たに用いて時間制御を行った。測定点は2ヶ所とり、汀線と汀線より岸側20cmの位置とした。実験で対象とした波は造波機による第1波のみとし、座標軸は原点を汀線上にとり、斜面に沿って岸側に x 軸、斜面に垂直上向きに y 軸をとった。

3. 実験結果および考察: 図-2と図-3に各測定点における主流流速 $\bar{U}$ 、水深 D 、フルード数 Fr の経時変化を示す。時刻 t の原点は波先端部が汀線に達した時刻とし、 $x=20$ cmの地点には $t=0.26$ sに波先端部が到達した。フルード数を見ると $x=0$ cmでは $t=0.5$ s以降で、また、 $x=20$ cmでは $t=1.0$ s以降で値が1以下となり流れの状態が射流から常流へ変わっている。水深は、波のごく先端では両者とも急激な増加を示し、その後は、ほぼ一定で推移している。また、 $x=0$ cmでは0.6s過ぎに、 $x=20$ cmでは1.1s過ぎに再び増加が見られるが、その時刻前後でフルード数の値が1以上から1以下に移行していることを考えると、この水深の増加は射流から常流へと移り変わる遷移領域が通過したためと考えられる。

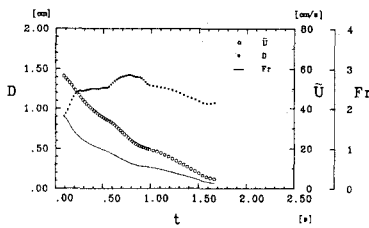
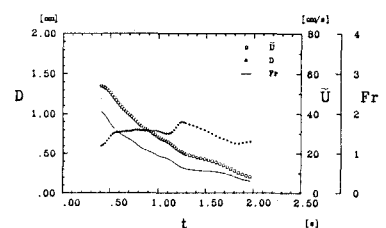
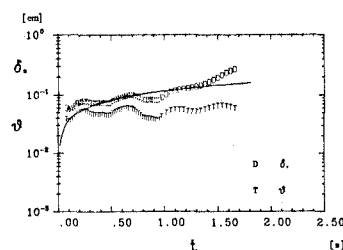
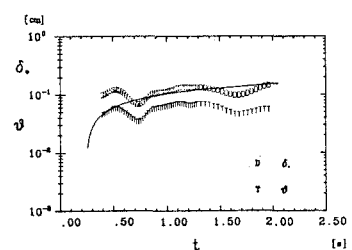
図-2 $\bar{U}$, D , Fr の経時変化($x=0$ cm)図-3 $\bar{U}$, D , Fr の経時変化($x=20$ cm)

図-4と図-5に排除厚 δ_* と運動量厚 θ の経時変化を示す。図中の曲線は、レイリー問題の理論解から得られる $\delta_* = 1.13 \sqrt{\nu t}$ を表している。 $x=0$ cmの図を見ると波のごく先端に

図-4 δ_* , θ の経時変化($x=0$ cm)図-5 δ_* , θ の経時変化($x=20$ cm)

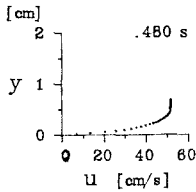


図-6 流速分布(x=20cm)

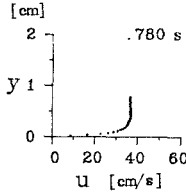


図-7 流速分布(x=20cm)

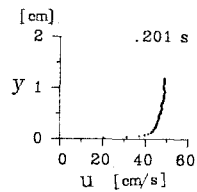


図-8 流速分布(x=0cm)

排除厚, 運動量厚とも急に増加しており, 境界層が水深の急激な増加とともに発達しているのが分かる。また, $t=0.2s$ 付近から $t=1.0s$ 前後までは, 増加, 減少の変動があるが, 全体的に, 徐々に増加する傾向が見られる。 $t=1.4s$ 以降では増加の割合が大きくなり, 水深が減少するにも関わらず, 排除厚は増加しているが, これは戻り流れへ移行し始めるため底面付近の流速分布が反転し速度欠損域が増加するためである。 $x=20cm$ の図-5を見ると, 波先端部では値が減少して

ゆき, $t=0.7s$ 前後からは増加しており汀線での現象と異なっている。図-9 δ^* , θ の経時変化(前報)これは図-6, 7の流速分布を見るとわかるように波先端が新たな陸上に進入した直後では図-6のように底面境界層が大きくなっており図-5での値が減少するのは, この底面境界層の速度勾配の大きい領域が下方へ降りてくるためである。また, 値が増加するのは図-7の状態から境界層が発達するためである。図-8に汀線($x=0cm$)における波先端部の流速分布を示す。明らかに $x=20cm$ のものと分布が異なり, 乱流型に近い分布となっているのが分かる。

また, 図-4では, 底面から水面にわたる大規模な乱れが見られなくなる $t=0.3s$ 以降でレイリーの理論解に一致している。図-5では, 境界層が再び発達し始める $t=0.7s$ 以降でレイリーの理論解に一致してくる。図-9は波の規模が小さい場合(前報1989, 造波振幅1.15cm)の図であり理論解に良い一致を示している。したがって, 乱れや水深変化による圧力勾配の影響が薄れると理論解に一致してくることから, 境界層発達には乱れの存在の如何に関わらず, 基本的にレイリーの法則に支配されていると考えられる。

次に, 波先端部での運動量方程式の各項の釣合を図-10, 11に示す。図中の番号は1は局所項($\partial M / \partial t$) 2は運動量流束の勾配項($\partial(\beta M^2/D) / \partial x$), 3は全水圧の勾配項($\partial(gD^2 \cos \theta / 2) / \partial x$), 4は斜面反力項($gD \sin \theta$), 5は底面摩擦項(τ_b / ρ)に対応している。 $x=0cm$ の図-10を見ると時刻 $t=0.2s$ 以前では, 運動量流束の勾配項が負に大きく, これが正に大きくなっている局所項および摩擦項に釣り合う形となっているのがわかる。また, $x=20cm$ の図-11でも $t=0.52s$ 以前で同様な釣合の形を示す。

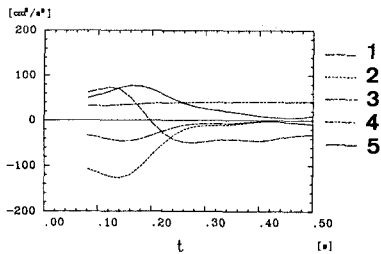


図-10 運動量方程式各項の値(x=0cm)

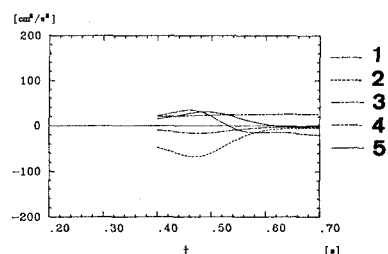


図-11 運動量方程式各項の値(x=20cm)

4. おわりに: 陸上遡上における境界層発達はレイリーの法則でモデル化できるが, 乱れや圧力勾配, その他底面摩擦などの力が大きく影響を及ぼす波先端部では流速分布の形や境界層の形成の過程に位置や波の規模により差があることが分かり, さらに, 波先端付近では運動量流束の勾配項と局所項および摩擦項が支配的になっていることが示された。