

九州大学工学部 学生員 〇並 川 正
九州大学工学部 正員 松 永 信 博
九州大学工学部 学生員 古 賀 俊 行
兵庫県庁 正員 岩 崎 日出夫

1. まえがき

河川における流砂は河口の開塞などの諸問題を生じるが、その流砂量を規定するものの1つとして河床波がある。この河床波の発生・発達・消滅の過程における複雑な挙動は古くから多くの研究者の興味の対象とされてきた。しかしながら、河床波上の浮流砂の挙動のメカニズムを明らかにするまでには至っていない。これは流れと境界との間に相互作用があり、非常に複雑な現象を呈しているためと思われる。従って浮流砂の挙動を知るためには河床波上の流れの様子を明らかにすることが必要であると考え、本研究では正弦波固定床をもつ開水路において固定波面上の乱流構造を調べる実験を行った。

2. 実験装置および実験方法

本実験では長さ12m(測定区間10m)、幅15cmの両面アクリル製水路を用い、波長 $L=22$ cm、波高1cmの正弦波形をもつ石膏製の固定床を下流側6m、平坦な固定床を上流側4mにそれぞれ設置した。波面上の測定地点には図-2、図-3のように記号を付けた。position 9とposition 25は谷で、position 17は峰である。

実験はDune(常流)、Chutes & Pools(遷移流)、Anti-dune(射流)の3つのtypeについて計5回行い、水面勾配、流速分布、水深、底面静圧、底面動圧の順で測定した。水面勾配は静圧管を用いて水路全區間にわたって静圧を測定し、等流状態の確認を行った。流速分布は2方向X型ホットフィルム流速計を用いて、一波長間の隔測点ごとに可能な限り底面近くから水表面近くまで鉛直方向に測定した。水深はポイントゲージ、水面形、底面静圧は静圧管、底面動圧はピトー管をそれぞれ用いて一波長間の各測点において測定した。尚、底面静圧、底面動圧は静圧管やピトー管を波面に沿って傾斜させ、底面に接した状態で測定した。主な実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果および考察

図-1は3つの流れのtypeの領域を示したものである。本実験に先立って行われた数回の同様な実験の結果と共に示したものであるが、黒丸の記号が今回の実験結果であり、実験番号をそばに示している。図中上側の実線はポテンシャル理論によるDuneとAnti-duneの境界である。

図-2に波面上の各点で求められたせん断応力 $\tau (= \frac{1}{2} \rho u_*^2)$ の分布を示す。ここで摩擦速度 u_* は平坦部における摩擦速度をもとにして波状部の各測点においてピトー管を用いて得られた底面流速から推定した。また、 ρ は水の密度、 $\bar{u}$ は波状部での平均流速をあらわす。Duneでは分布はほぼ対称であり、峰で最大、谷で最小となる。

RUN	1	2	3	4	5
勾配 I	2/1000	3/1000	14/1000	14/1000	8/1000
波状部 $\bar{h}$ 平均水深 (cm)	7.87	6.44	2.04	1.07	3.19
波状部 $\bar{u}$ 平均流速 (cm/s)	52.56	56.60	27.30	26.23	68.59
Fr 数	0.588	0.671	0.552	0.598	1.199
TYPE	DUNE	DUNE	CHUTES & POOLS	CHUTES & POOLS	ANTI-DUNE

表-1 実験条件

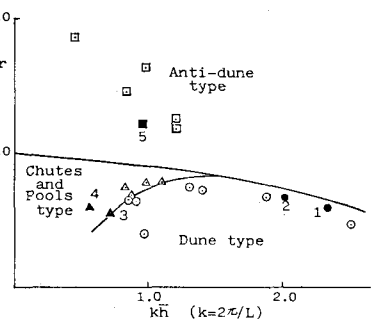


図-1 領域区分

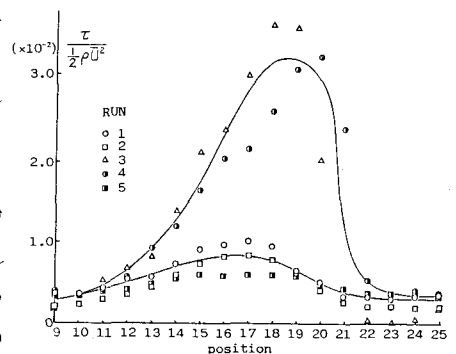


図-2 せん断応力分布

これは峰での縮流の影響が大きいと考えられる。

Chutes & Pools では加速域から峰にかけてせん断力が急に増大し、減速域では底面に生

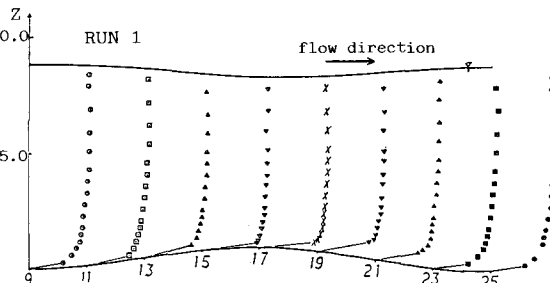


図-3 平均流速分布

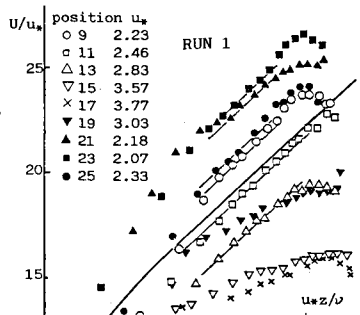


図-4 対数分布則

ずる剥離の影響をうけて分布は非対称となる。Anti-duneでは峰と谷でせん断力の明瞭な差異がみられない。

以下では Dune type における乱れ特性量について述べる。

図-3 は RUN 1 での平均流速分布であり、図-4 はそれを無次元化して U/u_* と $U_* z/\nu$ に対して表わしたものである。ここで z は底面から鉛直上方への距離、 U はその点における平均流速、 ν は水の動粘性係数である。図の中央の実線は滑面乱流境界層の壁法則より得られる流速分布を示している。谷付近では対数分布則が成立するが、加速域へ行くにつれて速度勾配が減少し一様分布則が成り立つ傾向がみられる。逆に峰から減速域に行くにつれ再び対数分布則が成り立つようになる。これは減速域では対数分布則が成り立つ領域を測定できなかったが、加速域では薄い層で急に流速が変化し、底面近傍において対数分布則が形成される領域はかなり底面近傍となつて測定できなかったと思われる。

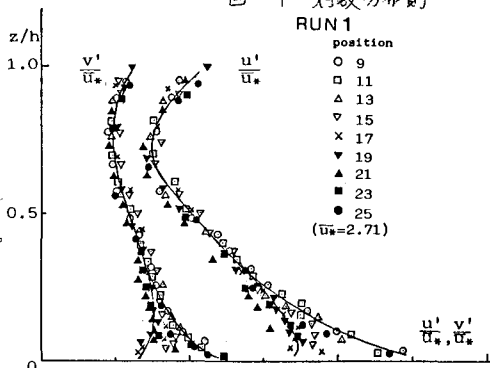


図-5 乱れ強度分布

図-5, 6 に RUN 1 における乱れ強度とレイノルズ応力の分布を示す。ここで U_* は液状部の各点での摩擦速度を平均したものであり、 h は各測点における水深である。底面近くで U'/U_* は約 2.0 V'/U_* は約 1.0 の値をとり、開水路乱流の特性を示している。又、底面近くにおける U', V' の値は減速域で大きく、加速域で小さくなる傾向があるレイノルズ応力の分布も乱れ強度の分布と同様に加速域の底面近くでは小さく、減速域の底面近くで大きな値をもつ。そして z/h が 0.5 以上の領域では液面の位相の影響を受けない Constant core region の存在がみられる。

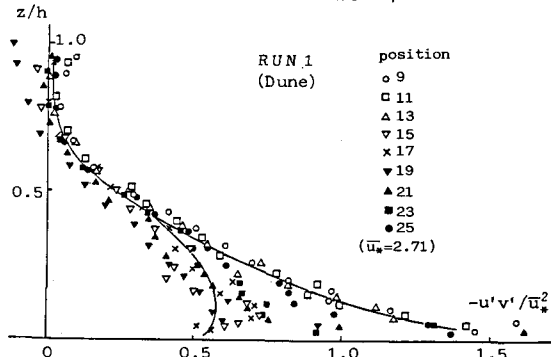


図-6 レイノルズ応力分布

図-7 は乱れの自己相関係数から求めた積分スケールである。ここでも z/h が 0.5 以上の領域に Constant core region の存在がみられる。0.5 以下の層では渦が底面の影響をうけ、谷から峰にかけての加速的流れのために偏平となり、水平方向のスケールが増加することがわかる。

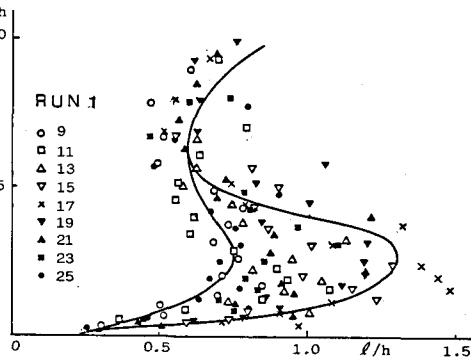


図-7 積分スケール

〔参考文献〕 i) S.T.Hsu and J.F.Kennedy J.F.M. vol.47

ii) 福岡・奥津・山坂 土木学会論文報告集 才323号