

Dune 型河床波上の組織的乱流構造

熊本大学工学部 学生会員 ○田之畑 直 人
 熊本大学大学院 正会員 大 本 照 憲
 熊本大学工学部 正会員 矢 北 孝 一

1. はじめに

直接数値シミュレーション(DNS)より、Dune 型河床波流れにおける剥離流の再付着点下流域において、これまでに提案されている馬蹄型渦の他に逆馬蹄型渦の存在が認められた。しかし、これらの組織渦について実験的には十分な検証はなされていない。本研究では、連続した Dune 型河床波上の河床面近傍における流速変動を、粒子画像流速測定法(PIV)を用いて計測し、再付着点付近における流れの3次元性について検討した。

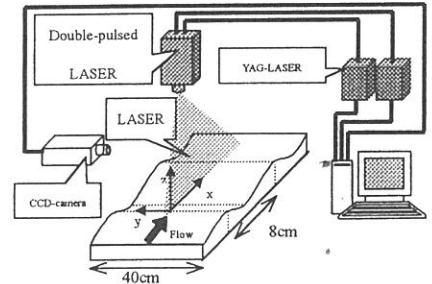


図-1 計測システムの概略(PIV法)

2. 実験装置および計測方法

実験に使用した水路は、長さ 10m、幅 40cm、高さ 30cm の可変勾配型の循環式直線水路である。計測部は、側壁からレーザー光が照射可能なように全面がアクリル製となっている。Dune 河床を模擬するため図-2に示す縦断形状で、横断方向に一樣な石膏製の河床模型を作成し、水路上端から下流方向に 6.4m にわたり連続に設置した。計測領域は、流れが平衡状態となった水路上端より 5m 下流の水路中央の1波長とした。座標系は、流下方向を x 軸、水路中央を $y=0$ として水路横断方向を y 軸、鉛直上向きを z 軸とし、それぞれに対応した平均流速成分を U, V, W 、変動流速成分を u', v', w' とする。河床面近傍における縦断の細部(1cm×1cm)計測のため、 $x=3.5$ cm の河床面に原点をとり、原点における河床面の接線流下方向に X 軸、接線の法線上向きに Z 軸を設定した。河床面に沿う横断面計測のため、 $x=1$ cm の河床面に原点をとり、河床に沿う流下方向に X^* 軸、水路中央を $y=0$ として水路横断方向に y 軸を設定した。実験条件を表-1に示す。砂堆の発生領域から算定し、次のように実験条件を定めた。流速は非接触型の代表的な計測法である PIV 法を用いて計測を行った。PIV 法による計測システムの概略を図-1に示す。

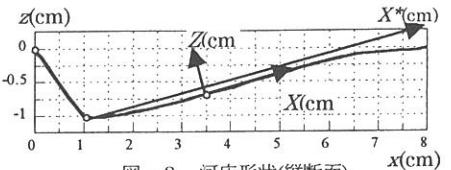


図-2 河床形状(縦断面)

表-1 実験条件

流量	$Q=2$ (l/sec)
水深	$H=2.5$ (cm)
断面平均流速	$U_m=20$ (cm/sec)
最大流速	$U_0=20.88$ (cm/sec)
水路勾配	$I_0=1/1000$
レイノルズ数	$Re=5000$
フルード数	$Fr=0.4$

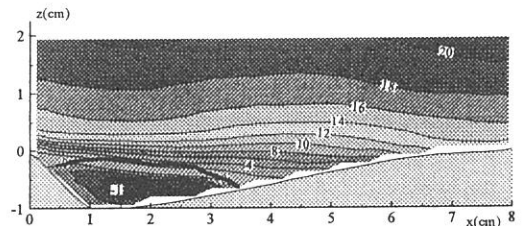


図-3 主流速の等値線

3. 実験結果と考察

図-3に、実測された主流速 U の等値線を示す。再付着点は壁面近傍で時間平均流速がゼロとなる位置から同定すると、図より再付着点距離は波高の3.5倍であることがわかる。図-4に、二次流 W の流下方向変化を示す。流

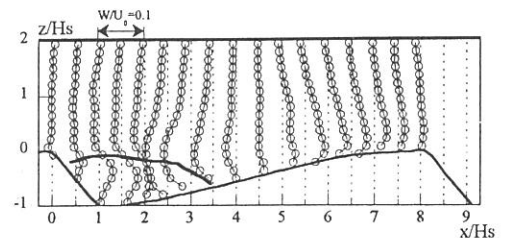


図-4 二次流 W の流下方向変化

速、流下方向距離はそれぞれ、最大流速 U_0 、波高 H_s で無次元化されている。剥離領域の $x/H_s < 2$ では上昇流を示し、 $2 < x/H_s < 3.5$ では下降流を示しており、循環剥離流の存在が認められる。 $x/H_s > 4.5$ では剥離流が再附着した後に上昇に転じていることが示唆される。図-5に、最大流速 U_0 で無次元化したレイノルズ応力 ($-\overline{u'w'}$) の流下方向変化を示す。レイノルズ応力の最大値は $x/H_s = 3.5$ で現れており、この下流側の河床面付近で鉛直方向変化が著しいことから、剥離流が再附着する際、強い渦構造を生成していることが示唆される。

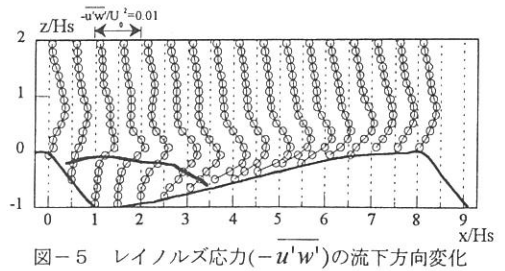


図-5 レイノルズ応力($-\overline{u'w'}$)の流下方向変化

図-6に、 $x = 3.5 \text{ cm}$ の河床面を原点とした主流速の等値線を示す。図中の点線は鉛直方向、直線は $x = 3.5 \text{ cm}$ における法線方向を示している。再附着点の上流側では逆流域が認められ、下流側では河床面に漸近するように分布していることが認められる。図-7に、 $x = 3.5 \text{ cm}$ の河床面を原点とした河床面近傍の摩擦速度の分布を示す。逆流域である $X < 0.1$ では、摩擦速度は負値を示している。図-8に、DNS 解析より得られた河床面近傍($y^+ = 3$)における瞬時流速ベクトル¹⁾を示す。この図には逆馬蹄型渦の着床部(図中矢印)において、クレストから剥離した流体塊が河床面に衝突し散乱した瞬間が捉えられている。図-9に、河床面に沿う横断面の瞬時流速ベクトルを示す。楕円で示す部分($X^* = 2.5 \text{ cm}$)に、図-8と同様の流速ベクトルの円形状の散乱が認められた。この円形状の散乱は横断方向に波高の約2倍間隔で現れている。ここでは示すことができなかったが、同じ計測断面で瞬時主流速の等値線に、横断方向に加速流、減速流の特徴的な分布が認められ、その極値は横断方向に波高の約2.5倍間隔で存在していることが認められた。

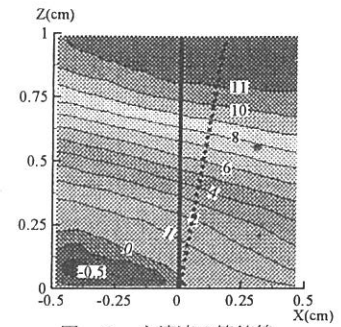


図-6 主流速の等値線

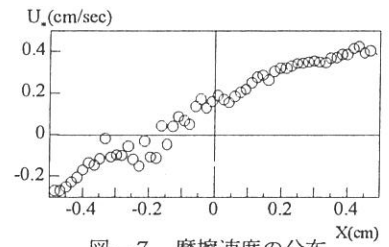


図-7 摩擦速度の分布

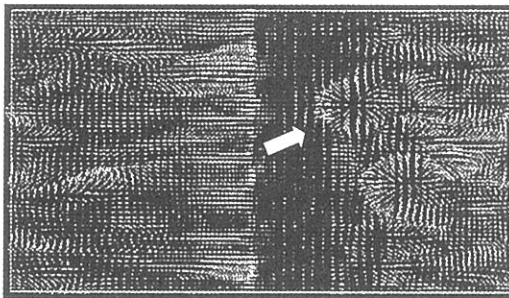


図-8 瞬時ベクトル ($y^+ = 3$)

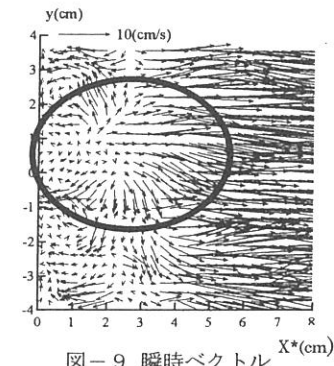


図-9 瞬時ベクトル $X^*(\text{cm})$

4. まとめ

Dune 型河床波背後における再附着点付近の流れについて、河床面近傍における流速測定を行い、考察した。剥離流の再附着点における挙動が詳細に捉えられ、粘性底層の流速分布を捉えることができた。

参考文献

- 1) 林俊一郎、大本照憲：DNS 解析による砂堆型河床波を有する開水路乱流の構造解析、応用力学論文集、Vol.5、pp.743-752、2002.8