

河床波上の三次元乱流構造と土砂輸送現象に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 福津 家久
 建設省 正 員 〇金澤 文彦 京都大学大学院 学生員 藤井 信宏
 京都大学大学院 学生員 越智 厚

1. まえがき 河床波上の流れ現象を支配している流体現象として、クレスト（河床波頂部）から発生する剝離渦と 再付着点付近から発生するコルク・ボイル渦の二つの組織渦によって特徴づけられる。特に、後者は、従来から河床からの土砂の巻き上げ現象との関連性が指摘されており、水工学的にも注目され、その発生機構の解明が重要視されている。本研究では、福津・松本(1989)¹⁾が三角形河床波モデル上の流れを、中央縦断面について、二次元的に解明したものを、さらに三次元的な特性についても考慮して計測をし、三次元的な時空間構造について解明したものである。

2. 実験装置と方法 前述した組織渦と下流の流れ特性及び土砂輸送現象との相関特性を解明するために、レーザー流速計をクレスト部($C; x/Hs=0, y/Hs=1, z/Hs=0$)あるいは、再付着点付近($R; x/Hs=5, y/Hs=0.5, z/Hs=0$)に固定した。その下流側に移動計測器として、ホットフィルム流速計(HL)あるいは、光学式濃度計(NL)を用いて、二点同時計測を行った。これらに関する実験条件表を表1、表2に示す。河床波モデルの形状は、波高 $Hs=2.0$ cm, 波長 $L=40$ cm, 三角形で表1、2の水理条件で出現すると予測されるものを用いた。実験HLC, HLRは、長さ10m, 幅40cm, 高さ50cmの強化ガラス製鋼フレーム可変勾配型循環水路を用い約1000点計測した。また、実験NLC, NLRは、長さ8m, 幅30cm, 高さ20cmのアクリル樹脂製可変勾配型循環水路を用い約140点計測をした。以上の計測データをAD変換器によってデジタルレコード化して、京大大型計算機センターで電算処理をした。図1～図6は、GRAPHMANにより図形処理をした図である。

3. 実験結果と考察 本研究における解析には、長時間平均した従来型の時空間相関解析手法と準周期的な過程を示す組織渦の挙動を有意に検出するために、条件付きサンプリング手法を用いた。図1図2に前者の手法によって得られた結果の一例を示し、図3以降に後者による結果の一例を示した。条件付きサンプリング手法では、検出閾値を決定することが重要である。本研究では、Lu・Willmarth²⁾やNakagawa・Nezu³⁾が開発したu-vの四象限区分しきい値法を用い可視化手法によって得られた組織渦に関する動的挙動・発生周波数およびスペクトル解析によって得られた周波数特性からしきい値を試行錯誤的に定めた。図1、図2は、HLC, HLRの中央縦断面における $\tau=0.4$ 秒の時空間相関係数の等値線図で、組織渦の発達過程を示している。図1は、クレストから発生した剝離渦が再付着点における低速流体塊を巻き込み、上昇する現象に、また、図2は、再付着点からの上昇現象に比較的高い相関がみられる。ところが、相関値自体は、それほど大きくない。これは、準周期的過程を示す組織渦の特性が長時間平均操作によってぼかされたためと思われる。そこで、条件付きサンプリング手法を用いた。図3、図4は、HLC, HLRの条件付きパターンを中央縦断面について示した。条件付き流速値の高い値を追跡すると剝離渦のクレストにおける発生・再付着点付近における上昇現象また、再付着点付近から発生するコルク・ボイル渦の上昇現象をとらえることができ、可視化手法によって認識した組織渦の動的挙動を定量的に示すことができた。次に、三次元的な特性に着目するために、図5、図6に示す横断面・水平断面の等値線図を示す。これらから、クレストから発生する剝離渦による下流への空間的寄与は、 $z/Hs=\pm 1.8, y/Hs=1.0\sim 3.5, \delta x/Hs=7.0$ の範囲に及び、回転楕円体型の等値面を示し、水深規模の大規模な挙動を示すことがわかる。また、再付着点から発生するコルク・ボイル渦に関しては、 $z/Hs=\pm 1.2, y/Hs=0.8\sim 2.2, \delta x/Hs=1.0$ の範囲にあり剝離渦の挙動に比べると小さいが、馬蹄型形状の等値面を示す。図7、図8から、高濃度流体の再付着点付近からの上昇過程とz方向への拡がりを知ることができる。これらからコルク・ボイル渦の動的挙動との類似性が示される。また、クレストの流速変動との高い関連性を示すことができ、従来から指摘されている「剝

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Fumihiko KANAZAWA, Nobuhiro FUJII, Atsushi OCHI

離渦の挙動がコルク・ボイル渦の発生に関与し、さらに発達過程に大きく寄与する現象」を三次元的にとらえることができ、コルク・ボイル渦が、土砂浮上現象に大きく関与していることがわかる。

4. あとがき 本研究により、河床波上の三次元的な時空間相関構造を解明することができ、高濃度流体塊の発生と三次元的な発達過程を認識することができた。

<参考文献> 1) 中川博次、福津家久、松本利典(1989):第33回水理講演会論文集, pp.475-480.

2) Lu, S.S. and Willmarth, W.W. (1973): J. Fluid Mech., vol. 60, pp.209-224.

3) Nakagawa, H. and Nezu, I. (1977): J. Fluid Mech., vol. 80, pp99-128.

表1 L.D.A. と Hot-film 流速計との同時計測の実験条件表

CASE	Q(l/s)	h(cm)	Re	Fr	レーザ流速計の測点位置
HLR	9.6	8.0	21000	0.34	両付着点(中央) $x/Hs=5.0, y/Hs=0.5$
HLC	9.6	8.0	21000	0.34	河床波頂部(中央) $x/Hs=0.0, y/Hs=1.0$

表2 L.D.A. と光学式濃度計との同時計測の実験条件表

CASE	Q(l/s)	h(cm)	Re	Fr	レーザ流速計の測点位置
HLR	3.2	8.0	10607	0.15	両付着点(中央) $x/Hs=4.5, y/Hs=0.5$
NLC	3.2	8.0	10607	0.15	河床波頂部(中央) $x/Hs=1.0, y/Hs=1.0$

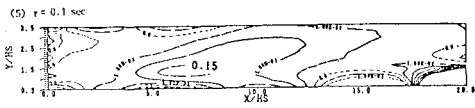


図1 時空間相関係数の等値線図 (HLC; 中央縦断面)

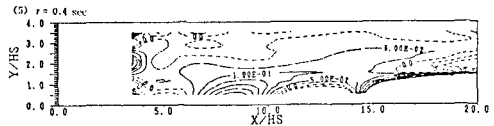


図2 時空間相関係数の等値線図 (HLR; 中央縦断面)

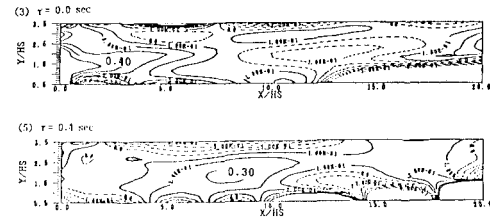


図3 <u>/u'> 条件付きパターン (HLC; 中央縦断面)



図4 <v>/v'> 条件付きパターン (HLR; 中央縦断面)

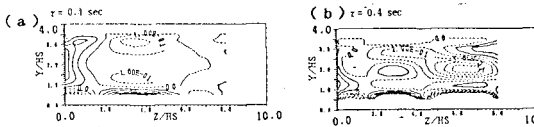


図5 (a) <u>/u'> 条件付きパターン (HLC; 横断面 $x/Hs=8.0$)
(b) <v>/v'> 条件付きパターン (HLR; 横断面 $x/Hs=8.0$)

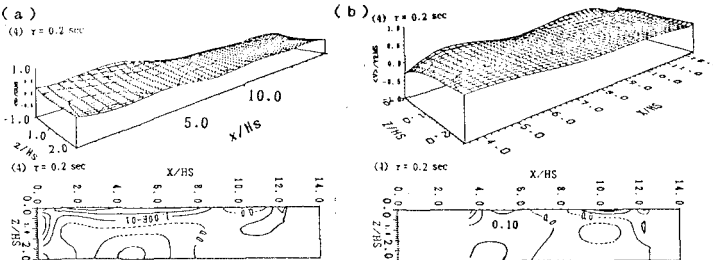


図6 (a) <u>/u'> 条件付きパターン (HLC; 水平断面 $y/Hs=1.0$)
(b) <v>/v'> 条件付きパターン (HLR; 水平断面 $y/Hs=1.0$)

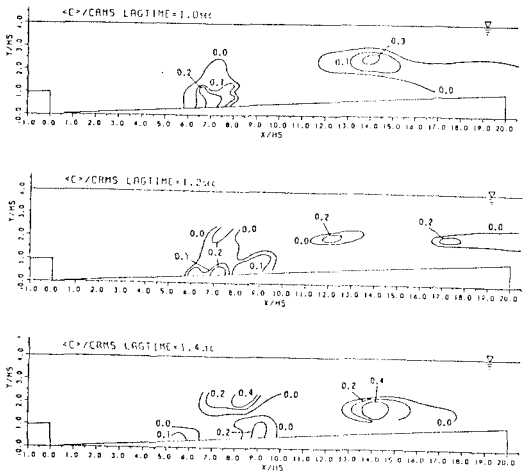


図7 <c>/c'> 条件付きパターン (NLC; 中央縦断面 $x/Hs=8.0$)

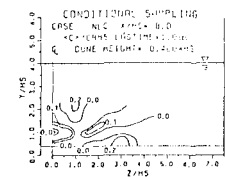


図8 <c>/c'> 条件付きパターン (NLC; 横断面 $x/Hs=8.0$)