

II-190

河床波背後に発生する組織渦の三次元流動特性

京都大学大学院 学生員○門田章宏
京都大学工学部 正 員 橋津家久

1. はじめに 土砂の浮上輸送の主因であるボイル渦の特性は、砂漣や砂堆の背後に発生する剥離渦やその河床形状に大きく影響される¹⁾。本研究では、実河川に発生するこれら二つの大規模組織渦の時空間的挙動を捉えることを目的とし、染料による可視化とレーザ流速計との同時計測により条件付きサンプリング手法でのしきい値・判別関数の厳密な定義を新たにを行い、二台のレーザ流速計の同時計測によって得られたデータへの適用を行った。

2. 実験方法および解析手順 河床形状は、図-1に示すように実河川で最も典型的に見られるdune波形との相似性を考慮し、クレスト高 $h_s=2\text{cm}$ 、波長 $L=40\text{cm}$ とした。なお、図中には二台のレーザによる同時計測実験の条件も併示してある。この河床形状を連続的に設置し、十分発達した区間(上流端から7m)において計測を行った。一方、可視化とレーザ流速計との同時計測では、染料による追跡が可能な低 Re 数の流れを対象とした。この内、レーザにより得られたスペクトル分布を図-2に示した。卓越した剥離渦の周波数成分が明確に示されている。さらに、この卓越周波数と可視化のビデオ画像からカウントした渦の発生個数を比較し、両者の一致を確認した後に、図-3に示すように各 Re 数の発生周期 T に対する関係を指数型関数を用いて近似し、二台のレーザ流速計による同時計測の実験条件(図-1)に対応する組織渦の卓越周期を求めた。一方、今回考慮した条件付きサンプリング手法に用いる判別関数は、四象限区分しきい値法における瞬間Reynolds応力 $-uv$ と運動量 u^2 の鉛直方向 y への輸送を表す乱れの三次相関 $-u^2v$ である。この二つの判別関数の瞬間時系列に対してしきい値を変化させ、その値を超える山の数と上記の方法で求めた組織渦の卓越周期が一致するようにしきい値を決定した。このしきい値および判別関数を用いて得られた自己相関係数の変化を固定点が再付着点の場合についてのみ図-4に示した。遅れ時間 $\tau=0\text{sec}$ で、抽出された主流方向 $\langle u \rangle$ および鉛直方向流速 $\langle v \rangle$ は、それぞれ負および正の大きな値を示し、再付着点からの流体塊の浮上が確認できる。上に定義した判別関数による $\langle u \rangle$ と $\langle v \rangle$ の違いはほとんど確認されないことから、瞬間 Reynolds 応力 $-uv$ を判別関数とした場合についてののみ時空間相関解析に適用した。

3. 実験結果 図-5は条件付きサンプリング手法によって捉えた剥離渦の移流過程 $\langle u \rangle$ を鉛直中央断面およびクレスト高さにおける水平断面について示したものである。なお、図中の dx および dy は固定点からの距離である。剥離渦が再付着点付近に降下するとともに、前方の河床形状の変化に伴う加速の効果によって流下方向への移流は抑制され、水面に向かって広範囲に広がる様子が伺える。一方、水平断面における変化では、高速稿と低速稿とが交互にかつ明瞭に現れており、流れの三次元性が強いことが分かる。さらに図-6は前図同様に固定点が再付着点の場合のコルク・ボイル渦の変化 $\langle v \rangle$ を示したものである。この図より再付着点付近からの上昇渦あるいは高相関領域が水

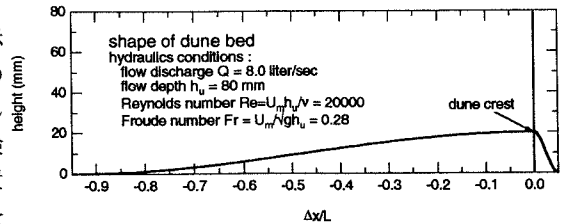


図-1 河床形状

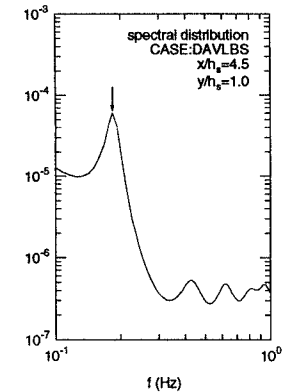


図-2 スペクトル分布

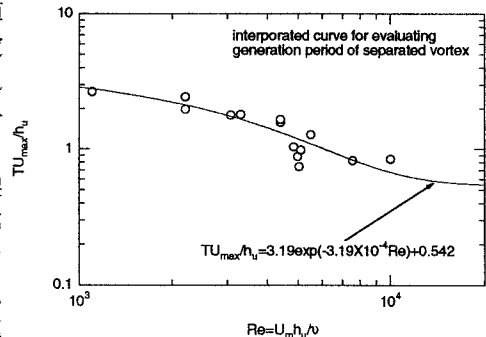


図-3 剥離渦の発生周期の関数近似

に現れており、流れの三次元性が強いことが分かる。さらに図-6は前図同様に固定点が再付着点の場合のコルク・ボイル渦の変化 $\langle v \rangle$ を示したものである。この図より再付着点付近からの上昇渦あるいは高相関領域が水

面近くまで達しており、比較的大きなエネルギーを伴って移流することが分かる。水平断面の変化については、剥離渦の場合と同様に明確な高速渦と低速渦が交互にかつほぼ等間隔に現れ、移流されることから再付着点からの上昇渦の挙動も三次元的な様相を呈している。

4. おわりに 本研究では、連続河床波背後に発生する剥離渦およびコルク・ボイル渦について、可視化とレー

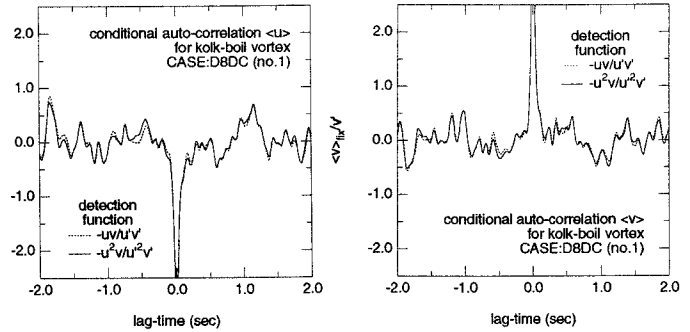
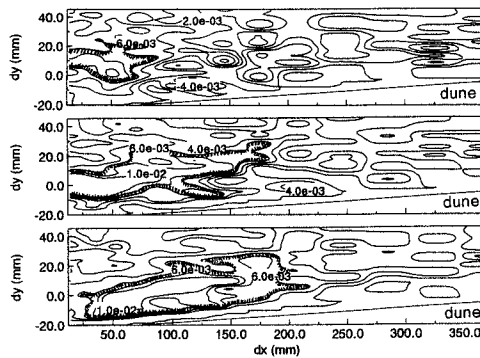
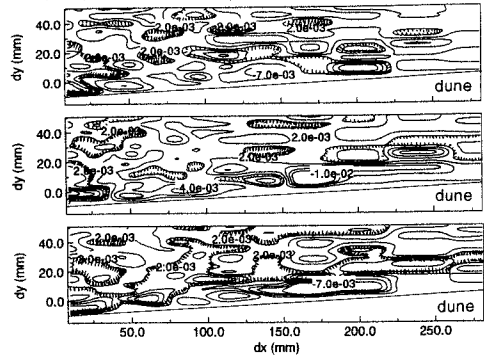


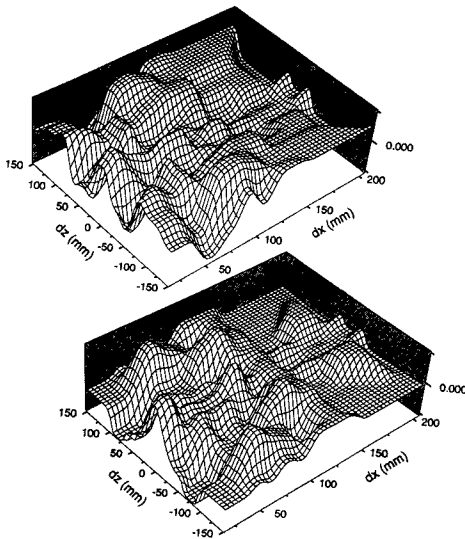
図-4 条件付き自己相関係数(コルクボイル渦)



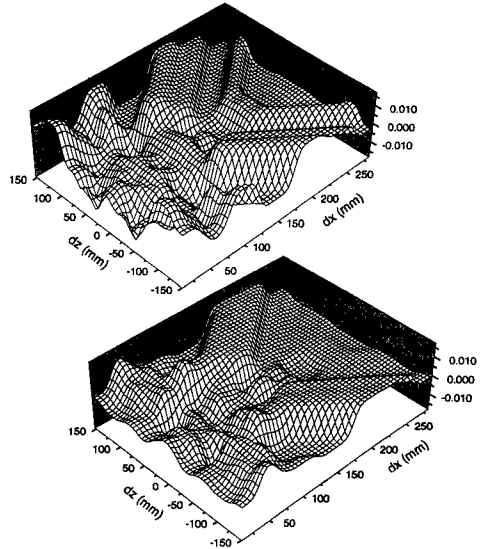
(a) 鉛直断面($dz=0.0mm$, 上図より $\tau=0.0, 0.2, 0.4sec$)



(a) 鉛直断面($dz=0.0mm$, 上図より $\tau=0.0, 0.2, 0.4sec$)



(b) 水平断面($dy=5.0mm$, 上図より $\tau=0.0, 0.2sec$)



(b) 水平断面($dy=5.0mm$, 上図より $\tau=0.0, 0.2sec$)

図-5 条件付き時空間相関<u>(剥離渦)

図-6 条件付き時空間相関<v>(コルク・ボイル渦)

ザ流速計との同時計測を行うことにより、条件付きサンプリング手法に用いる判別関数、しきい値の決定を厳密に行い、二台の流速計による同時計測実験により得られた結果から、条件付き時空間相関係数の三次元特性について考察した。

参考文献 1) Nezu, I. and Nakagawa, H.(1993) : Proc. of the 5th Symp. on Refined Flows Modelling and Turbulence Measurements, Paris, pp.603-612.