

京都大学大学院 正 員 禰津家久 JR東日本 正 員 新橋秀樹
 愛媛大学工学部 正 員 〇門田章宏 京都大学大学院 学生員 倉田昌明

1. はじめに 実河川において

は、縦渦やコルク・ボイル渦と呼ばれる大規模な組織渦構造が河床形状と水面との相互作用によって発生する。またこの現象は、特に洪水時に顕著に見られ、浮遊砂に代表される物質輸送の原因となっている。本研究では、増水・減水といった洪水特有の流れの非定常効果に着目し、組織渦の発生・発達機構について実験的に検討する目的で二台のレーザ流速計による組織渦の条件付き時空間構造解析を行った。

2. 実験方法および条件 表-1および図-1にそれぞれ二台のレーザ流速計による時空間同時計測に関する水理条件、計測システムを示す。河床形状には実河川において最も典型的に見られる二次元状のdune波形($h_s/L=1/20$, h_s :波高(=2cm), L :河床波長(=40cm))を採用した。また、流量変化を三角波とし、固定プローブを剥離渦についてはクレスト上に、コルク・ボイル渦については再付着点にそれぞれ設置した。

3. 実験結果および考察 条件付きサンプリング手法を用いて組織渦の時空間的挙動を捉えた結果を以下に示す。なお、解析には、その条件となるしきい値の定義に、Nezuら(1996)¹⁾によって得られた Re 数と組織渦の発生周期の関係を用了。さらに、判別関数の定義にはLu & Willmarth (1973)²⁾, Nakagawa & Nezu(1977)³⁾によって開発された流速変動 $u-v$ の四象限区分しきい値法を採用し、剥離渦に関しては、高速度流体塊が再付着点に下降する運動を、一方、コルク・ボイル渦については、低速流体塊の上昇を検出することができるような条件の設定を行った。また、本研究のように非定常流れを対象として時空間相関を評価する場合、各位相における組織渦の移流過程を議論する必要がある。そのため、「固定時間」を定義し($T_{fix}=0.5, 1.0$, ここで $T=t/T_d$)、各固定時間以降発生する組織渦構造について時空間相関係数を評価した。図-2

表-1 水理条件

Case	T_d (sec)	h_{cb} (mm)	h_{cp} (mm)	Q_b (liter/s)	Q_p (liter/s)	Re_b ($\times 10^3$)	Re_p ($\times 10^3$)	Fr_b	Fr_p	α ($\times 10^{-3}$)
DUC31	60	40.0	64.5	5.00	13.57	12.9	35.0	0.50	0.66	0.97
DVC31	60	40.0	64.5	5.00	13.57	12.7	34.5	0.50	0.66	0.97

Subscripts b and p denote base and peak flows, respectively.
 T_d : duration time from base depth to peak one, Q : discharge, h : depth, Re : Reynolds number,
 Fr : Froude number, α : unsteadiness parameter adopted in the present study.

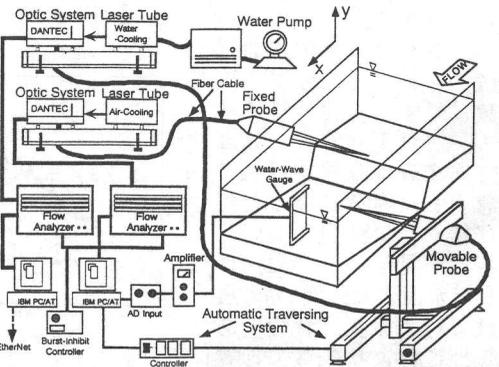


図-1 二台の流速計による計測システム

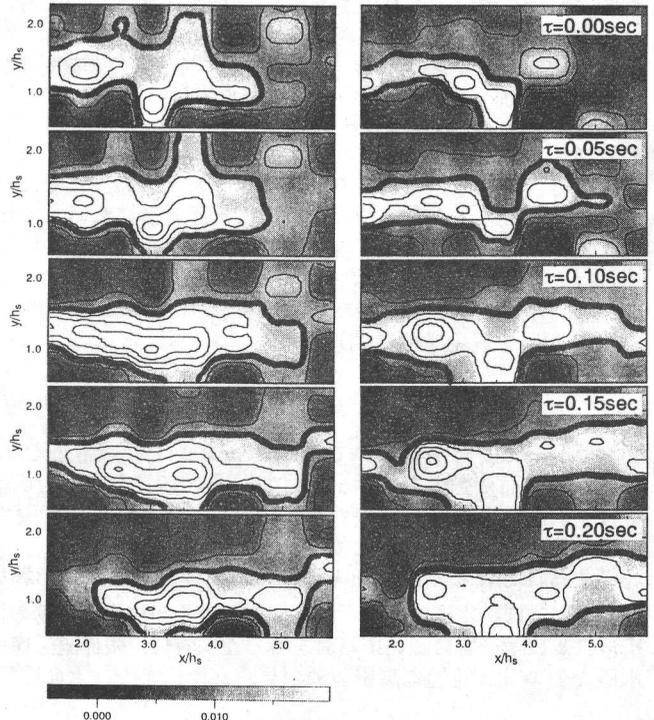


図-2 剥離渦に関する条件付き時空間相関係数$\langle u \rangle$

は、剥離渦を捉える目的で条件付きサンプリングによって抽出された主流方向変動流速 $\langle u \rangle$ の分布を示したものである。なお、左が増水期、右が減水期を表し、縦方向のならばが遅れ時間 $\tau=0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 \text{ sec}$ の変化を表している。この図から、減水期における強い下降流を捉えており、再付着点からやや下流側までの領域に高い相関領域が存在することが分かる。また、剥離点からの高相関領域の拡大の様子は、増水期において顕著であり、減水期の剥離点直下流の様子は、鉛直方向の比較的幅の狭い分布形を示している。これは、クレスト付近の鉛直方向の乱れ強度が同一水深時において減水期よりも増水期の方が大きくなるということと対応しているものと考えられる。図-3は、コルク・ボイル渦の挙動を表す鉛直方向変動流速 $\langle v \rangle$ の分布を示したものである。減水期の分布において、負の相関が高相関領域を下流方向に持ち上げるようにしてsweep的に底面に向かって入り込み、結果として高相関領域が強い上昇傾向を示すことが伺える。

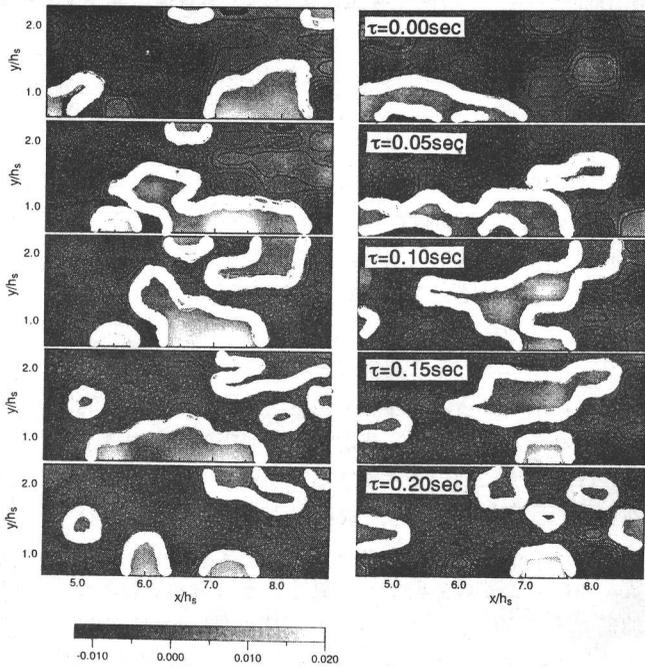


図-3 コルク・ボイル渦に関する条件付き時空間相関係数 $\langle v \rangle$

4. おわりに 以上の時空間相関解析の結果から、剥離渦は、増水期において空間的に減速され、河床急変に伴うクレストからの急激な減速効果と相まって鉛直方向に広がった分布を示す。この内、上方に広がった流れが、下方に間欠的に送り出された流れが再付着点に衝突し上昇する流れを増長し、水面まで輸送する。この時、水面付近の外層部流れは空間的な減速効果が顕著であるから、この上昇流体塊は外層流れに阻害されることなく水面に到達し、ボイル渦を形成する。一方、減水期においては、クレストからの剥離渦は拡散することなく再付着点まで到達し、そこから強い上昇流を形成するが、外層の強い加速流によって下流側に運ばれ水面に現れない。このような鉛直断面内の特性と、ここでは示さなかった三次元的な渦の移流特性から、組織渦の発生形態を図-4のようにまとめることができる。剥離渦に関しては、増水期において高速縞が横断方向に広い間隔を持つ構造となり、減水期にはその高速縞の横断方向幅が狭くなる構造となる。一方、コルク・ボイル渦に関しては、剥離渦同様、縞構造が現れたもののその縞の間隔は剥離渦よりも狭く間隔も等しくなる。さらに、減水期の方が移流効果が大きくなると考えられる。

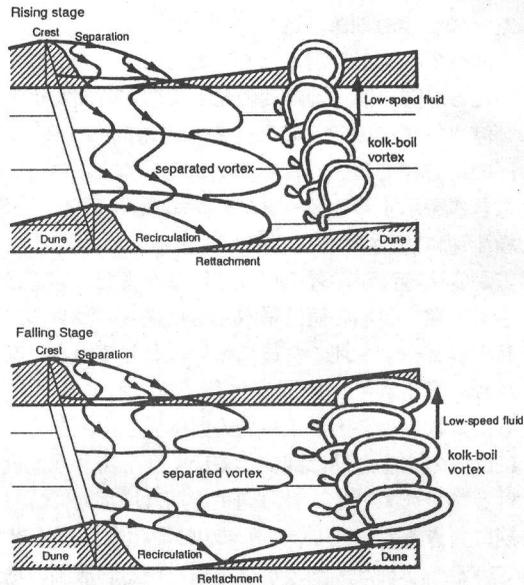


図-4 組織渦の物理モデル

〈参考文献〉 1) Nezu, Kadota & Kurata, Flow Modelling & Turbulence Meas., pp.695-702, 1996., 2) Lu & Willmarth, J. Fluid Mech., vol. 60, pp.209-224, 1973. 3) Nakagawa & Nezu, J. Fluid Mech., vol.80, pp.99-128, 1977.