

京都大学大学院 正員 橋津家久
愛媛大学工学部 正員 門田章宏

JR東日本 正員 ○新橋秀樹
京都大学大学院 学生員 倉田昌明

1. はじめに 河床波背後に発生するコルク・ボイル渦は浮遊砂に代表される物質輸送の原因となり、特に洪水時に頻繁に発生することが確認されている。本研究では染料注入法と水素気泡法による可視化実験を行い、コルク・ボイル渦とその発生源と考えられる河床波クレストからの剥離渦の発生・発達機構を定性的に捉えることによって、非定常性が河床波上の渦構造に及ぼす影響について考察する。

2. 実験方法および条件 表-1および図-1にそれぞれ水理条件、本実験の計測システムを示す。河床形状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、流量変化を増水・減水時間 $T_d=60,120\text{sec}$ の三角波とした。

3. 実験結果および考察 図-2に、35mmカメラによって撮影された剥離渦を増水期・減水期に分けて示した。増水期の剥離渦は、減水期のものと比較して流下方向への移流が抑制されるとともに、渦の上昇傾向がやや強いといえる。図-3は、剥離渦の発生周期の時間変化を増水開始前および減水終了後の定常時(S-1,2), 増水期(R-1,2), 減水期(F-1,2)の6区間に分けて表示したものである。なお、図中の α は非定常性の大きさを示すパラメータで、 $\alpha \equiv 2(h_p - h_b)/T_d(U_{mb} + U_{mp})(U_m)$ (U_m は断面平均流速)で表される。この図によると、非定常性の高いケースの方が変化特性が顕著になっている。また、非定常性の大小に関わらず、発生周期の値は増水するに従って減少し、増水期の後期に減少のピークを迎えた後に増加に転じている。次にコルク・ボイル渦の発生周期の時間変化を図-4に示す。 $y/h_s=3.0$ では、増水するにつれコルク・ボイル渦の発生周期は大きくなり、逆に減水期にはその発生周期は減少していく。一方、水面近傍($y/h_s=3.5$)におけるコルク・ボイル渦の発生周期は増水期に急激に減少し、減水期に大きくなるという $y/h_s=3.0$ の変化とは全く異なる傾向を示している。これは、図-2から確認される剥離渦の増水期における上昇傾向、ならびに、本実験とは別に行った点計測実験から得られた、「クレスト付近における鉛直方向の乱れ強度 v' は増水期・減水期の同一水深時において増水期の方が値が大きくなる」という知見¹⁾を合わせて考えると、外層中央部から水面付近にかけてのコルク・ボイル渦は、空間的減速流である増水期には、クレスト

表-1 水理条件

| Case | T_d (sec) | h_{cb} (mm) | h_{cp} (mm) | Re_b ($\times 10^3$) | Re_p ($\times 10^3$) | Fr_b | Fr_p | α ($\times 10^{-3}$) |
|------|-------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|-------------------------------|
| VT1 | 60 | 60.0 | 67.0 | 4.1 | 8.2 | 0.09 | 0.15 | 1.25 |
| VT2 | 120 | 60.0 | 68.0 | 4.1 | 8.2 | 0.09 | 0.14 | 0.72 |

T_d : duration time from base depth to peak one,
 h : depth, Re : Reynolds number, Fr : Froude number,
 α : unsteadiness parameter adopted in the present study.

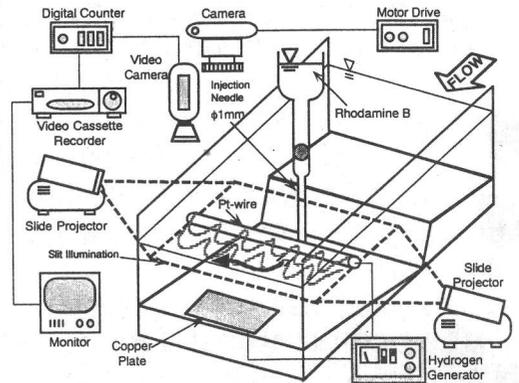


図-1 可視化実験装置

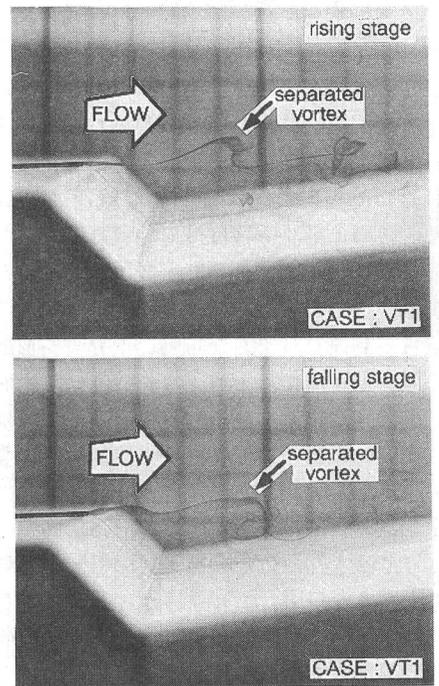


図-2 染料注入法による剥離渦

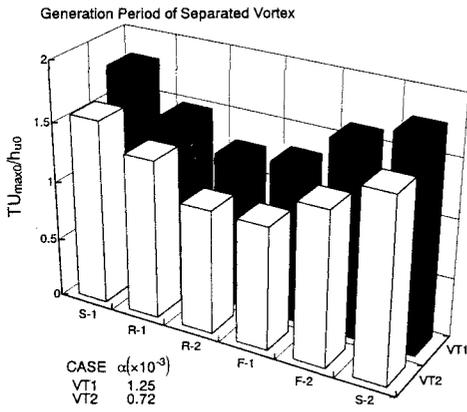


図-3 剥離渦の発生周期の時間変化

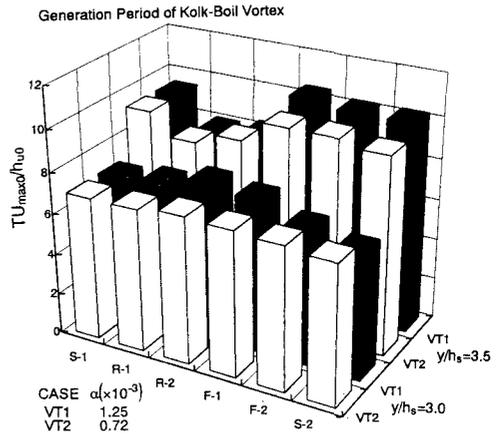


図-4 コルク・ボイル渦の発生周期の時間変化

上からの剥離流れの影響を受け、外層流れに流されず発達することが容易なためであると考えられる。図-5は、組織渦の移流速度の時間変化特性を示したものである。ここで、 h_c はクレスト上の水深である。 Re 数の増減とともに移流速度も増減していることが伺える。コルク・ボイル渦に関して増水期の前半(R-1)と減水期の後半(F-2)を比較してみると、この図で注目されることは、いずれのケースにおいても減水期の方が渦の流下方向への移流速度が大きくなる点である。これは、減水期が空間的に見れば加速流であることに起因しているものと考えられる。以上の結果から組織渦の発生形態は図-6のようにまとめられる。増水期では、クレスト付近から間欠的な剥離渦が広範囲に渡って放出され、それに伴い河床波上に再附着した後に形成される上昇渦(図-6:⑤)のもつエネルギーは小さくなると推測される。しかし増水期の上昇渦は、クレストから放出された主流方向やや上向きの流れ(図-6:③)によって発達し、また増水期の特徴である空間的な減速の影響により生じた弱い外層流れのために、主流方向に流されることなく上昇し水面まで到達できる。それに対し、減水期では逆に大きな上昇エネルギーを持った渦(図-6:⑥)が再附着点から発生するため、増水期と比較して発生頻度の高い渦が観測されたが、空間的な加速の効果によって外層で流下方向への移流の影響を強く受け、水面では観測されにくいと考えられる。

4. おわりに 本研究では、染料注入法および水素気泡法を用いた可視化実験を行った。その結果、組織渦の発生周期や移流速度などの基本的な動的特性は、流れの非定常性の影響を受け、増水期と減水期とで明らかにその傾向が異なることが確認された。

<参考文献> Nezu, I., Kadota, A. & Nakagawa, H., Proc. Hydr. Meas. & Experim., ASCE, pp.185-194, 1994

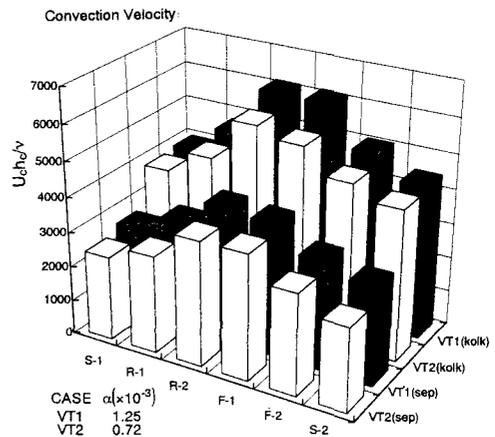


図-5 剥離渦、コルク・ボイル渦の移流速度

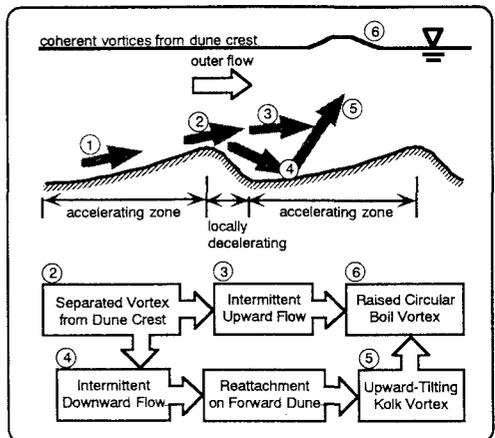


図-6 剥離渦、コルク・ボイル渦の発生形態

の発生周期や移流速度などの基本的な動的特性は、流れの非定常性を受け、増水期と減水期とで明らかにその傾向が異なることが確認された。