

II-172 河床波上のコルク・ボイル渦の 3次元的な挙動に関する研究

京都大学大学院 学生員 越智 厚
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

1. まえがき

実河川において見られるボイル渦の基本的な内部構造を把握するために、その現象を実験室で再現し、レーザー流速計とホットフィルム流速計を用いて時空間相関を求め、その2次元的な解明を行ってきた。
1), 2) 本研究は、これを一歩進め、水素気泡方および染料注入法により可視化を行いビデオに撮影してその挙動を3次元的に把握しようとする。

2. 実験方法および結果

実験は長さ8m、幅30cm、高さ20cmの両面アクリル製可変勾配型水路に長さ40cm、幅30cm、河床波高 $H_s=2$ cmの鉄板製の三角形河床波を16枚敷いた水路を用いた。まず、実河川で観測されるコルク・ボイル渦と本実験で観測された実験室内でのものとを比較するために、水素気泡法によりレイノルズ数とボイル渦の発生周波数および水深とボイル渦の発生周波数との関係を明らかにした。実河川での観測によって Jackson が得た $T_{boil} \cdot U_m / h \approx 7.6$ と比較すると、図-1に示すような結果となった。ただし、Jackson が U_{max} (最大流速) を用いたのに対し、本実験では、 U_m (平均流速) を用いた。水深による変化が大きく現れなかったため、次に、水深を8cmに固定して、水路の中央にある河床波の頂部(クレスト)およびその下流側の河床波上の一点から染料を注入し、スリットを通した投光機の光を当てることにより、様々な高さの水平断面ごとにボイル渦の発生を鉛直上方からビデオカメラで撮影し、そのレイノルズ数による変化を調べた。その結果を図-2に示すが、これより河床波中心部から発生したボイル渦が z 軸方向に $z/H_s=1 \sim 2$ に分布していることがわかる。この結果の x 軸方向の分布のみを見るために、図-3のように縦に y 軸方向、横に x 軸方向をとり、ボイル渦の発生頻度に比例する数の縦線を描くと、レイノルズ数に関係なく、ほぼ同じ結果を得た。このことから、半水深以上の高さにおいて、ボイル渦は流速に関わらず、ほぼ同じ軌跡を描いて上昇すると推測される。

また、ボイル渦が河床波から水面付近に達する2列のほぼ並行した馬蹄形渦に大きく影響されるとすれば、 z 軸方向に大きく移動しないことが推測できる。ボイル渦の上昇、発達の原因はよくは解明されていないが、ク

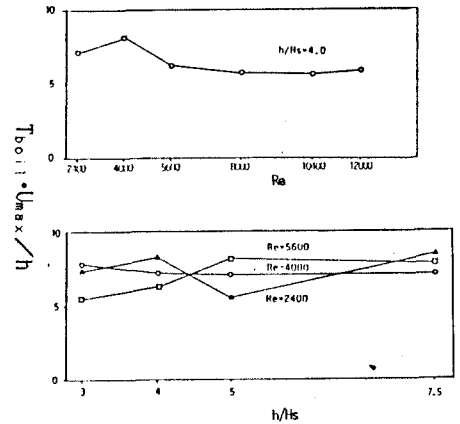


図-1 $T_{boil} \cdot U_m / h$ と Re および水深の関係

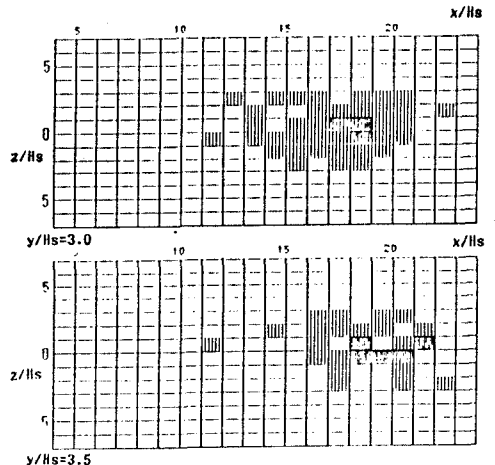


図-2 ボイル渦の発生位置 ($Re=8000$)

レストから発生する剝離渦が大きな原因となると共に、馬蹄形渦もその発達の原因であると考えられる。河床波付近で発生する上昇流（半水深に達するまでのコルク・ボイル渦）の挙動を調べるため、河床波上の様々な点から染料を注入し、水平方向からビデオカメラで撮影した。図-4に上昇流の発生を $x/H_s=3\sim 9$ において示したが、剝離渦の再付着点が $x/H_s=4\sim 7$ のところに集中することに比べ、上昇流はもっと広範囲から発生していることがわかる。クレストから発生した剝離渦が巻き上げて上昇流を起こしているように観測されたものも多いが、剝離渦が再付着せずに流下し、河床にはほとんど影響していないように見えるものが通過したときにも上昇流は発生していた。また、上昇流の河床付近での軌跡を追うと、一度河床から上昇したものが、二度、三度と剝離渦の巻き上げられているのが観測された。剝離渦が y 軸方向の回転のみでなく、 z 軸方向にも回転しながら流下していくとすれば、このときに z 軸方向のボイル渦の移動が行われ、剝離渦の影響が小さくなる半水深以上のところでは、ボイル渦は y 軸方向の上昇と x 軸方向の流下のみが行われると推定される。

最後に、ボイル渦を発生させる原因と考えられる剝離渦とボイル渦の発生の関係を調べるため、クレストと河床波上の一点から同時に異なる色の染料を注入し、水平方向からビデオカメラで撮影した。クレストの一点から発生した剝離渦は、回転と拡大をしながら流下し、河床波に再付着し、またはせずに流下していく。その過程において、河床波から上昇流を巻き上げ、または上昇流にさらに影響を与える。ここでは、一点から発生した剝離渦がどの程度離れたところまで上昇流を巻き上げるのかを調べた。図-5にその結果を示すが、かなりの広範囲に影響していることがわかる。

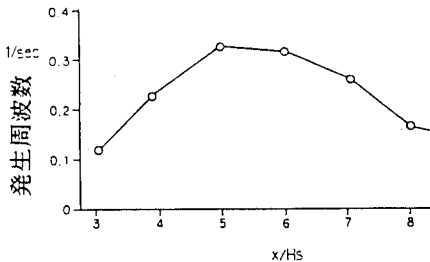


図-4 上昇流の発生分布

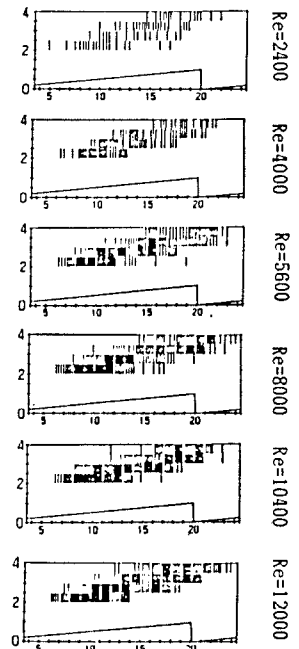


図-3 x 軸方向の流下位置

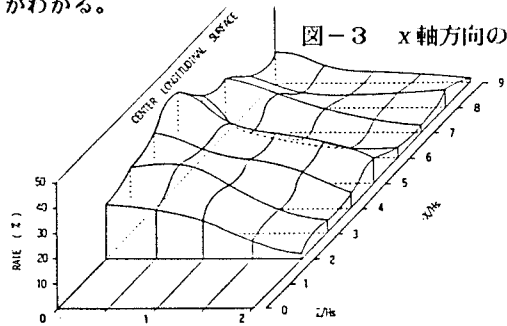


図-5 剝離渦の影響範囲

3. あとがき

これらのことより、ボイル渦の発生および上昇についてその現象を少しは明らかにできたと思われるが、馬蹄形渦とボイル渦の関係や、1つ1つのボイル渦でなく、複数のボイル渦の関係を調べていきたいと考える。

参考文献

- 1) 彌津 家久、中川 博次、松本 利典：開水路河床波背後に形成される組織渦による土砂の浮上・輸送現象、第44回 年次講演会 II-118 (1989)
- 2) Nezu, I and Nakagawa, Turbulent Shear Flows : vol 6, pp.313-pp.337 (1989)