

II-167 河床波下流の組織渦と変動特性に関する研究

京都大学大学院 学生員 金沢 文彦

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 河床波下流の組織渦は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kolk-boil渦の2つの渦によって構成されている。¹⁾kolk-boil 渦は、実河川で水面が渦輪のように盛り上がるボイルとして観測されている。池田・浅枝²⁾は、kolk-boil 渦の発生が河床波を伴う移動床流れにおいて、浮遊砂濃度に大きく影響していることを示したが、本研究は、河床波モデルの形状特性と水理条件を変化させ河床波モデル下流の組織渦の動特性を、染料注入法による可視化観測とレーザー流速計による点計測を通して実験的に考察したものである。

2. 実験装置と方法 長さ8m×幅30cmの両面プラスチック製可変式直型水路を用い、波高3cmの河床波モデルを2次的に設置した。剝離渦とkolk-boil 渦の可視化観測のために、トレーサーとして河床波頂部からウォーターブルーを注入し、再付着点より少し下流の河床に沿って、ローダミンBを注入してビデオ撮影をした。流速測定には、レーザー流速計を用い、河床波頂部から下流50cm区間の平坦床面上をトラバースするように設置し、水路中央縦断面上を格子状に約300点計測した。各々の実験条件を表1と表2に示した。

3. 可視化観測の結果 図1は、ビデオ解析から得られた剝離渦とkolk-boil 渦の発生周波数 T を最大流速 U_{max} と水深 h によって無次元化した $T \cdot U_{max}/h$ と Re 数との関係を示したものである。剝離渦については、ほぼ1.0で一定でkolk-boil渦については、実河川で得たJackson³⁾の値7.6の前後で散らばっている。本実験水路は、実河川に比べて、規模が小さく、 Re 数がかなり小さいにもかかわらず、ほぼ同じ値を得たことは、kolk-boil 渦を実験水路に再現できたことを意味し非常に重要なことである。染料注入法による組織渦の定性的な観察からkolk-boil渦の発生・成長には、河床波頂部から発生する剝離渦が関係していることがわかった。さらに、剝離渦の移流過程には、2通りあり、再付着点に落下するものと落下せずに河床波高の2倍ほどまでに、移流されながら大規模化するものがあることがわかった。図2に剝離渦とkolk-boil 渦の代表的な軌跡を示し図3に走時曲線を示した。図3は、渦の時間的な移流過程をグラフ化したもので、kolk-boil渦の発生時には、必ず剝離渦の通過が認められる。実際、再付着点付近まで落下せず移流されてきた剝離渦が、再付着点付近から発生する小さな上昇渦を巻き込んで、水面付近まで上昇するのが観察された。

4. 点計測による結果 レーザー流速計によって得られた流速の解析方法としてFFT法によるスペクトル解析とVITA法によるkolk-boil渦の発生時における変動特性の解析を行った。スペクトル解析の結果は図4、図5に示した。図4に示す卓越周波数分布図は、FFT法で得られた各測点のスペクトル図を、可視化観測で得られた周波数をもとに、卓越周波数に着目して4種類に分類したものである。図4上のA点は、剝離渦の発生位置より約2.0cm下流にあたり、B点は、再付着点より約1.0cm下流でkolk-boil渦が急激に上昇する位置である。BL1(u)の条件での剝離渦とkolk-boil 渦の発生周波数は、可視化観測から2.0Hzと0.2Hzで、図5に示すA点とB点のスペクトル図に、各々の発生周波数が卓越しているのがみられる。また1.0Hzあたりの卓越周波数は、剝離渦の合体等によって発生した低調波と思われる。次にVITA法による解析結果を説明する。この方法において、移動平均する時間幅 T としきい値 k の値の決定方法には普遍的な方法がなく、本研究では、次のような試行錯誤的方法で決定した。時間幅 T が $1/T$ をカットオフ周波数とするlow-pass filterを兼ねていることに着目し、流速の原変動(図6上)から、カットオフする高周波変動の周期を0.4secとみなし、それを T の値とした。図6下に $T=0.4$ とした時の移動分散値の変動を示した。この図をもとに、可視化観測から得たkolk-boil渦の発生周波数に一致するようにしきい値 k を1.0と定めた。図7に、 u' と v' の条件付平均(VITA)を示した。 u' については、発生する直前まで徐々に流速が減少し、発生時に急激に増加し、すぐには減少しないことがわかる。 v' については、発生時に急激に増加し、すぐに減少することがわかる。このことから、低速流体がある引き金によって急激に移流され上昇すること

が予想される。これは、前述した可視化観測において観察された斜離渦とkolk-boil 渦の挙動を裏付けるものである。

5. あとがき 再付着点付近から発生する kolk-boil 渦の発生・成長には、河床波頂部から発生する斜離渦が関係していることがわかった。また、その発生時における流速の変動特性は、バースト現象によく似たものであることがわかった。

- <参考文献> 1) 福津ら (1987), Turbulent Shear Flows 6, No.19, Toulouse
2) 池田ら (1984), ASCE, pp.409-423
3) Jackson, R.G., J. of Fluid Mech., vol.77, 1976.

表1 可視化観測の実験条件表

CASE	h(cm)	U(cm/s)	Re	河床波の波長 (cm)	河床波の個数
AL1	10.0	5.0	5000	50	1
AL2	10.0	5.0	5000	50	2
AL3	10.0	5.0	5000	50	3
AL4	10.0	5.0	5000	30	1
AL5	10.0	5.0	5000	70	1
AL6	10.0	10.0	10000	50	1
AL7	15.0	5.0	7500	50	1
AL8	10.0	5.0	5000	50	3

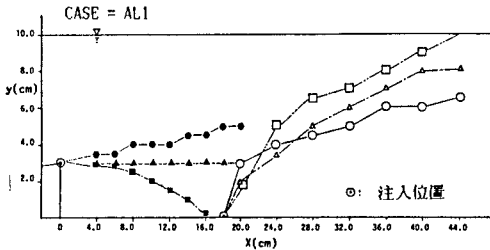


図2 斜離渦とkolk-boil 渦の軌跡

表2 レーザ流速計による流速測定の実験条件表

CASE	h(cm)	U(cm/s)	Re	河床波の波長 (cm)	河床波の個数
BL1	10.0	10.0	10000	50	3
BL2	10.0	5.0	5000	50	1
BL3	15.0	10.0	15000	50	1
BL4	10.0	10.0	10000	50	3
BL5	10.0	10.0	10000	70	1
BL6	10.0	10.0	10000	30	1
BL7(V)	10.0	10.0	10000	50	1

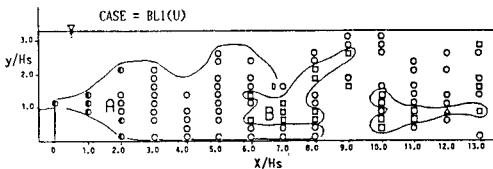


図4 卓越周波数分布図

- : 斜離渦の発生周波数
○: 斜離渦の合体等による低周波数の発生
△: kolk-boil 渦の発生周波数
□: 斜離渦とkolk-boil 渦の相互作用による周波数

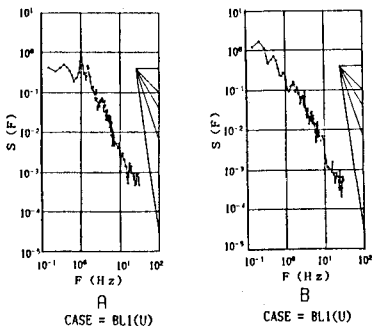


図5 スペクトル図

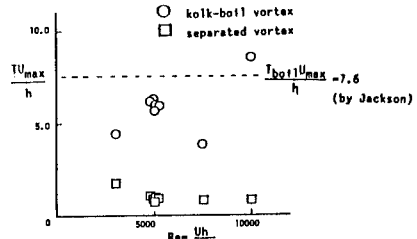


図1 $T \cdot U_{max}/h$ と Re 数の関係

CASE = AL1
5.0 10.0 15.0 20.0

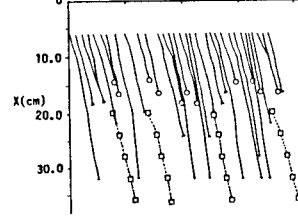


図3 走時曲線

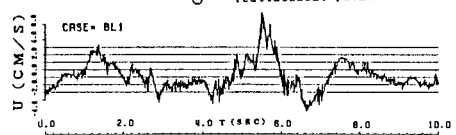


図6 流速の原変動と移動分散値の変動



図7 VITA法による流速変動