

可視化法による開水路大規模乱流構造の観察

京都大学工学部 正員 中川博次, 京都大学工学部 正員 柁津家久
京都大学工学部 正員 富永晃宏 三井建設 正員 吉川雅人

1. まえがき 開水路乱流の研究におけるひとつの問題点として、壁面近傍の *bursting* 現象と *boil* や 2 次流などの大規模渦運動との関連性があげられる。すなわち壁面近くで発生した *bursting* が水面にまで達し 2 次流や *boil* となるのか、あるいは外部領域に及ぶ大規模渦が *bursting* を引き起こすのかという問題である。実験水路では実河川に比べてかなりスケールが小さいため *boil* や 2 次流が現われにくく、この問題の解明が困難であるため本報告では水路に河床波状の固定板を設置し強制的に剝離渦を起し、可視化法によってこれと *bursting* 現象との関連を把握しようとした。

2. 実験方法 水路は幅 50 cm、長さ 15 m で河床波状固定板は波長 40 cm、波高 2 cm の三角形断面のものが用いられた。実験は 2 通り行なわれ、ひとつは *crest* 上方 5 mm からメチレンブルー溶液を注入し水路側面から 16 mm フィルムで連続撮影し上昇流を観察した。もうひとつは白金線を横断方向に再付着点付近と水面付近に張り、水路上方から上昇流および *boil* の観察を行なった。前者の Reynolds 数は 2800 から 14000 まで 8 通り変化させ、後者は 2600 で水深はいずれも約 8 cm である。

Re	U_m (cm/sec)	L_s (cm)	T_b (sec)	σ/T_b	$\bar{x}_b$ (cm)
2800	3.76	10.23	4.41	0.65	19.34
3910	5.18	9.67	4.14	0.61	15.94
4710	6.76	9.71	1.64	0.55	14.59
5690	7.52	10.82	2.31	0.64	17.48
7370	10.07	10.37	1.95	0.53	17.23
10040	13.39	10.16	1.33	0.56	17.20
11160	14.69	9.31	1.26	0.58	21.30
14260	19.05	7.48	1.18	0.54	18.10

表-1 上昇流の特性

3. 上昇流の特性について 染料による実験において、染料注入口から上方 2.5 cm (水面下 4 cm) の基準線を超えて上昇するものを *boil* や *bursting* と区別して「上昇流」と定義した。この上昇流の発生周期 T_b および基準線を超えときの流下方向の位置 $\bar{x}_b$ 、また再付着点の位置 L_s を測定した。表-1 に

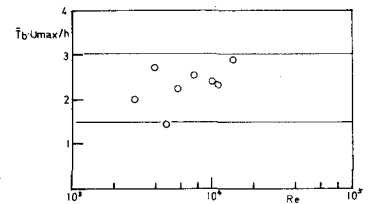


図-1 上昇流の発生周期

L_s , T_b , 変動係数 σ/T_b および $\bar{x}_b$ の値を示す。 L_s および $\bar{x}_b$ は Reynolds 数による系統的变化は見られない。上昇流の平均発生周期 $\bar{T}_b$ は Reynolds 数が大きくなるほど小さくなっていることがわかるが、これを最大流速 U_{max} および平均水深 h で無次元化して示したものが図-1 である。これによると $\bar{T}_b U_{max}/h = 1.45 \sim 2.8$ となり、柁津らの提案した *bursting* の平均発生周期 $T U_{max}/h = 1.5 \sim 3$ にほぼ一致する。このように河床の粗度によって強制的に引き起こされた上昇流の発生周期が、平坦な滑面での *bursting* の発生周期と一致したことは興味深い。また T_b の確率分布の一例を図-2 に、これを

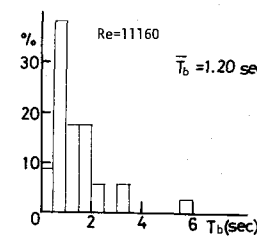


図-2 T_b の確率分布

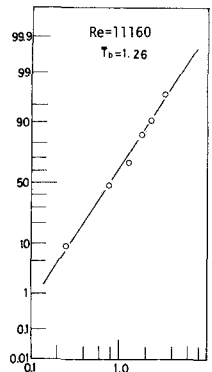


図-3 T_b の分布

対数正規確率紙上にプロットしたものを図-3に示す。これから T_b はほぼ対数正規分布に従うことが示唆される。次に上昇流の代表的な軌跡を示したものが図-4である。再付着点付近までは水平あるいは降下しながら移流し、再付着点付近で急激に上昇する傾向が見られる。さらに再付着点付近の構造を明らかにするために、crest下流15cm、高さ0.2cmの位置に白金線を張り水素気泡で観察した。これから次のようなことが言える。①再付着点少し下流の位置では、高速域と低速域が横断方向に交互に縞状を呈し、この高速域と低速域の境界付近でstreamwise vortexが形成され下流端が浮上する(図-5参照)。②浮上したstreamwise vortexは合体しながら大きな乱流塊となり上昇する。③上昇した乱流塊の後方には比較的安定した高速域が現れる。そしてこの大きな乱流塊の発生位置はかなり固定されているように見える。以上の説明はejectionやsweepと類似しており、また上昇流の発生機構はOffenら²⁾およびPratturiら³⁾のburstingの説明と非常によく似ていることがわかる。彼らのように平坦な滑面乱流におけるburstingもこの場合の剥離渦に相当するような外部領域からの攪乱が引金となって引き起こされるのではないかと考えられる。

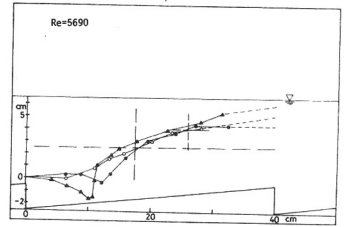


図-4 上昇流の軌跡

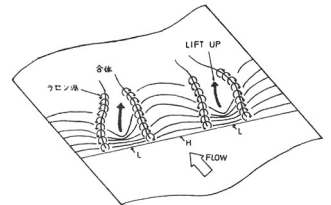


図-5 上昇流説明図



写真-1 boil

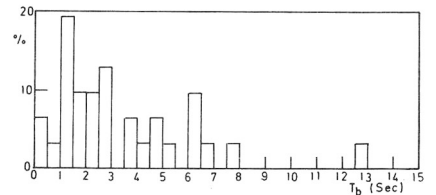


図-6 boilの発生周期の確率分布

4. boilの観察 次に白金線をcrest下流25cm、水面下1cmの位置においてboilの観察を行なった。写真-1のようにboilは水素気泡のタイムラインを押しつけるように現われ、はっきりと識別できる。boilの発生位置が比較的固定されていることから写真を横断方向に4つの区間に区切りそれぞれの区間でboilの発生周期、直径などを求めた。boilの発生周期 T_b の分布を図-6に、対数正規確率紙上にプロットしたものを図-7に示す。平均発生周期 T_b は3.5秒で $T_b U_{max}/h = 1.77$ となりJacksonが示した奥河川での値 $T_b U_{max}/h = 4.9 \sim 10.3$ ⁴⁾よりかなり小さく、むしろ先述の上昇流の発生周期と一致する。これはJacksonの観測に比べて強度の小さなboilまで識別できたためと思われる。boil径は $L/h = 0.62$ となり、そのスケールの絶対値には大差があるにもかかわらずJacksonの結果 $L/h = 0.3 \sim 0.6$ とほぼ一致している。

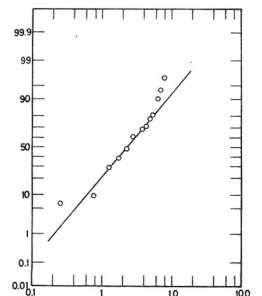


図-7 T_b の分布

5. あとがき 今回の実験のように河床に粗度を設けることによって、奥河川と比べて非常にスケールの小さな流れにおいても類似の現象が見られたことから、大規模渦は河床形態によるところが大きいと考えられ、今後この方面の研究が期待される。
 <参考文献> 1) 中川・林津 第22回水講, 1977 2) Offenら J.F.M., vol.62, 1974

3) Pratturi J.F.M. vol.62, 1974
 4) Jackson J.F.M. vol.47, 1976