

II-118 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

京都大学工学部 禰津家久、中川博次、阪急電鉄 松本利典

1. 序 論

1970年代初頭に発見された組織渦の代表例である壁面乱流のバースト現象、また、混合層及び噴流などの自由乱流で起こる組織渦の発生・発達・合体・崩壊現象は、乱流の本質的な現象であることが次第に明らかにされた。1987年には、NASAグループがついにNavier-Stokes方程式を直接数値計算『Direct Numerical Simulation (DNS)』して、従来の長時間統計理論ではまったく予測できなかった組織渦の存在を数値理論的に実証し、また、バースト運動が馬蹄型・ヘアピン渦モデルで表現できるという実験的示唆の妥当性をもDNSのデータベースを使って証明され、乱流研究に画期的な成果を構築した¹⁾。1985年程までは、これらの組織渦の乱流構造を解明する研究が流体力学分野を中心に機械、化学そして土木工学等の多くの分野においてプローブ計測の条件付サンプリング手法や流れの可視化手法を駆使して精力的に行われ、組織渦の実体はかなり解明された²⁾。次の課題として、組織渦が主役を演じる、熱、物質(土砂、汚泥、水質など)、エネルギーなどの輸送・拡散現象に果たすメカニズムを解明し、各種の環境問題や流れによる輸送問題を予測し、制御することが急務となっている¹⁾。バースト現象が熱輸送に大きく寄与することが伝熱工学の研究者によって最近指摘されている。水理学においても組織渦が物質輸送に本質的に関与していることが明らかにされ、このレビューが玉井を代表者とする土木学会若手研究者集団によって1989年になされた³⁾。禰津・中川(1989)⁴⁾は、戦前より河川技術者によって発見されていた河川における組織渦であるボイルの発生機構を再考察し、次の3つのタイプのボイルが存在することを提唱した。

(1) 河床波などで発生する剝離渦が引金となったボイル(第1種のボイル)。

(2) 水深規模の2次流セル(縦渦あるいは並列らせん流ともいう)に伴うボイル(第2種のボイル)。

(3) バースト運動が水面まで発達して形成されたボイル(第3種のボイル)。

第1種から第3種の順でボイルの強度は減少する。また、レイノルズ数 Re が小さい($10^3 \sim 10^4$)と、第2種と第3種の区別は困難となり同一視してもよいが、 Re が大きい河川($Re=10^6 \sim 10^7$)では第3種のボイルは弱くなり、第2種と明確に区別される。筆者らは、最も強い第1種のボイルの発生機構に関して研究プロジェクトを進めてきたが、この発生機構がほぼ解明された^{3), 4)}。次の段階として、河床波背後で形成される組織渦(第1種のボイル)が土砂や底泥を浮上させ、輸送する物理機構の解明が急務となっている⁵⁾。

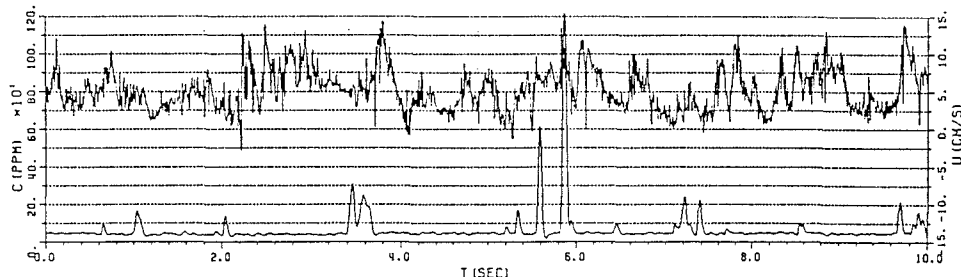
本研究は、このような組織渦による土砂浮上現象を解明する第一歩であり、レーザ流速計と浮遊砂濃度計を駆使して速度変動と濃度変動の同時計測をx-y面内(水路中央縦断面)で行ったものである。

2. 実験方法および計測方法

移動床で観測される典型的な河床波の波高勾配1/20をもつ2次元河床波モデル(波高 $H_s=2\text{cm}$, 波長 $L=40\text{cm}$)を10m水路全長にわたって連続設置し、上流端から7.2m下流の河床波上を計測区間とした。流速変動 $u(t)$ は10mWの1成分レーザ流速計、浮遊砂濃度変動 $C(t)$ は光学式濃度計で同時計測された。実験方法や計測方法の詳細は文献3)、4)を参照されたい。

3. 実験結果およびその考察

図・1は、ボイルの発生源である河床波流れの再付着点近傍の流速変動 $u(t)$ と濃度変動 $C(t)$ の同時計測信号を示す1例である。土砂は組織渦によって間欠的に浮上していることがよくわかる。この間欠的な浮上現象は、流速 $u(t)$ が減速から急激に加速されるとき(バースト波形と同様であり、馬蹄型・ヘアピン渦の特徴である。このことから、ボイルも馬蹄型渦によって表現されることが強く示唆される)、生起するらしいことがこの生データからわかる。流速変動と濃度変動との時空間相関解析を行えば、両者の相互作用は解明される。従来型の長時間平均の時空間相関構造は筆者ら(1989)⁴⁾によって解明されたが、上述



図・1 再付着点付近の流速変動 $u(t)$ と浮遊砂濃度変動 $C(t)$ の同時計測データ

The figure contains two vertically stacked plots of normalized velocity fluctuations $\langle u \rangle / U_B$ versus time T (SEC).

Top Plot:

- Y-axis: $\langle u \rangle / U_B$ (range -4.0 to 4.0)
- X-axis: T (SEC) (range -2.0 to 2.0)
- Text: CASE= M0002, POINT=1
- Text: X=12.0(CM), Y=1.0(CM)
- Feature: A sharp negative peak at $T=0$, reaching approximately -1.5.

Bottom Plot:

- Y-axis: $\langle u \rangle / U_B$ (range -4.0 to 4.0)
- X-axis: T (SEC) (range -2.0 to 2.0)
- Text: CASE= M0001, POINT=1
- Text: X=11.0(CM), Y=1.0(CM)
- Feature: A sharp positive peak at $T=0$, reaching approximately 1.5.

4. 結 論

Figure 1 is a plot of the normalized correlation function $\langle C \rangle / C(RS)$ versus time T (SEC). The y-axis ranges from -2.0 to 2.0, and the x-axis ranges from -2.0 to 2.0. A vertical line is drawn at $T = 0$. The plot shows a noisy signal with a peak around $T = 0.8$. Text inside the plot area includes "CASE= N0001" and "POINT=6". Text at the bottom right indicates "N=14.0(CM)" and "T=2.0(CM)".

《参考文献》

-

307