

京都大学大学院

正会員 欄津家久

京都大学大学院

正会員 鬼東幸樹

東京建設コンサルタント

正会員 ○伊藤禎将

## 1. はじめに

実河川において洪水時に浮遊砂濃度が増加すると報告されているように、洪水時の乱流構造を調べることは土砂輸送などの物質輸送を研究する上で重要である。そこで本研究では、粗面上の非定常流れの乱流計測の実験を行い、その乱れの発生機構の解明を行った。

## 2. 実験装置および解析方法

本実験ではレーザ流速計による点計測および2台の波高計による水深変化計測を行った。粗度要素として均一な粒径(12.5mm)のガラスビーズを用い、水路床に稠密に敷き詰めた(Nikuradse 粗面)。流量変化は図-1に示すような三角波とした。解析方法として周波数領域法を用いた。ここで、 $T_d$ は水深増加時間で水深増加開始時間を $t=0$ とし、時間を水深増加時間 $T_d$ で無次元化することにより、無次元非定常時間 $T=t/T_d$ を定義した。また、中川ら<sup>1)</sup>は次式で示す非定常パラメータ $\alpha$ を導入した。

$$\alpha \equiv \frac{1}{U_m} \frac{\partial h}{\partial t} \approx \frac{1}{U_c} \frac{h_p - h_b}{T_d} \quad (1)$$

本研究においても式(1)を用いた。表-1に水理条件を示す。ここで $H_b, H_p, Q_b$ および $Q_p$ はそれぞれベース水深、ピーク水深、ベース流量およびピーク流量を示す。

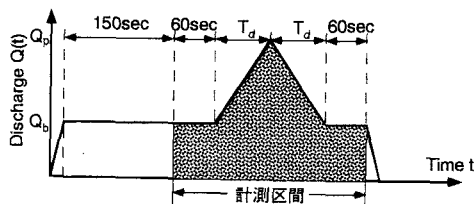


図-1 計測時間

表-1 実験条件

| case | $T_d$<br>(sec) | $H_b$<br>(cm) | $H_p$<br>(cm) | $Q_b$<br>(l/sec) | $Q_p$<br>(l/sec) | $\alpha$<br>( $\times 10^{-4}$ ) |
|------|----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------------------------|
| 3A   | 30             | 5.7           | 7.6           | 10.0             | 20.0             | 11.6                             |
| 3B   | 60             | 5.7           | 7.9           | 10.0             | 20.0             | 6.84                             |
| 3C   | 90             | 5.7           | 8.0           | 10.0             | 20.0             | 4.81                             |
| 3D   | 180            | 5.7           | 8.0           | 10.0             | 20.0             | 2.40                             |
| 3E   | 270            | 5.7           | 8.1           | 10.0             | 20.0             | 1.68                             |
| 3F   | 360            | 5.7           | 8.1           | 10.0             | 20.0             | 1.26                             |

## 3. 解析結果

瞬間レイノルズ応力 $w \equiv uv$ にレベル $H$ を設定し図-2に示すように $|w| < H$ を「hole」事象と定義して $w$ を5個の事象に条件区分する。このときの、事象 $i$ への占有時間率を $T_i(H)$ およびレイノルズ応力への寄与率 $RS_i(H)$ は、以下のように定義できる。

$$T_i(H) = \begin{cases} \int_H^\infty p_i(w) dw, & (i=2,4) \\ \int_{-\infty}^{-H} p_i(w) dw, & (i=1,3) \end{cases} \quad (2)$$

$$T_5(H) = \sum_{i=1}^4 \int_H^\infty p_i(w) dw = 1 - \sum_{i=1}^4 T_i(H) \quad (3)$$

$$RS_i(H) = \begin{cases} \int_H^\infty w \cdot p_i(w) dw > 0, & (i=2,4) \\ \int_{-\infty}^{-H} w \cdot p_i(w) dw < 0, & (i=1,3) \end{cases} \quad (4)$$

$$RS_5(H) = \sum_{i=1}^4 \int_H^\infty w \cdot p_i(w) dw = 1 - \sum_{i=1}^4 RS_i(H) \quad (5)$$

hole値を0から10まで変化させたときの各事象の寄与率および時間占有率の変化から、壁面付近ではsweep事象がejection事象よりも卓越し、半水深付近ではejection事象がsweep事象よりも卓越していることがわかった。

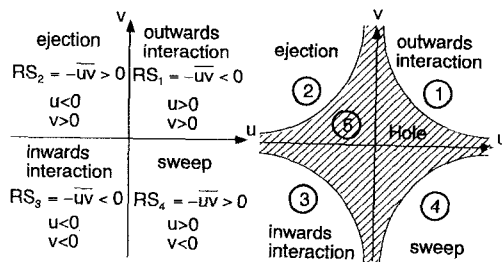


図-2 バースティングの4象限区分

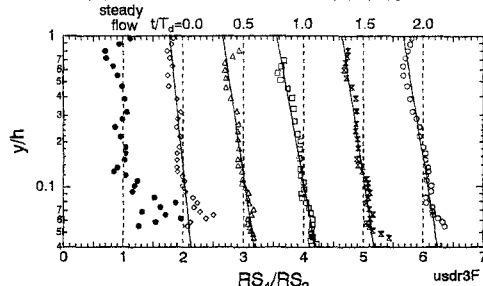


図-3 寄与率比の変化

図-3にhole値 $H=0$ の時の寄与率の比を示す。これより、寄与率比が線形的に変化しているの、線形近似直線も併記した。図-4に、寄与率比が1となる位置 $y/h$ の非定常時間 $T$ に対する変化を示した。これより、 $t/T_d=1$ において $y/h$ は最小となっていることがわかる。図-5に、hole値 $H=0$ の時の占有時間率の変化を示す。これより、時間占有率は寄与率とは異なり、壁面付近でejection事象が卓越し、水面付近ではsweep事象が卓越しており、その変化は線形的であることがわかる。そこで、線形近似直線を図-5に併記した。図-6は、図-5において時間占有率比が1となる位置 $y/h$ の非定常時間に対する変化を示した。これより、 $t/T_d=1$ において $y/h$ は最小となっていることがわかる。以上のことから、乱流運動が壁面付近および水面付近でそれぞれ下方および上方の運動を遮られることで、壁面付近ではejection事象の時間占有率が大きくなるが、sweep事象の寄与率が増加していることがわかった。一方、水面付近では壁面付近の逆になっていることがわかった。

次に、バースティング周期について考える。図-7は、櫛津<sup>2)</sup>の半値しきい値法により求めたバースティング周期である。これより、壁面付近及び水面付近を除きバースト周期は一定値を示している。また、sweep事象とejection事象のバースト発生周期がほぼ同一となっていることがわかる。図-8に、 $0.1 < y/h < 0.7$ におけるバースト周期 $T_b$ の平均値の非定常時間に対する変化を示す。ここでは図-7より $T_b = \overline{T_e} \equiv \overline{T_s}$ としている。これより、バーストの発生周期は非定常時間 $t/T_d=1$ で最小となることがわかる。つまり、非定常性によりバーストの発生頻度が増加する。また、非定常時間が $t/T_d=2$ に達してもバーストの発生周期は定常流である $t/T_d=0$ の値には戻っていない。これより、非定常効果がバーストに与える影響は時間遅れを伴うことが示唆される。

#### 4. おわりに

粗面上非定常開水路流れにおける底面近傍でのsweep事象は、時間占有率が小さく、かつ、寄与率が大きいため、底面近傍では常時小さなejection運動が発生し、時に、突発的に大きなsweep運動が発生していることが示された。逆に半水深付近では、常時小さなsweep運動が発生し、突発的に大きなejection運動が発生していることが示された。また、非定常性によらず水深のピーク時にバーストの発生回数は最大となり、圧力勾配が一連のバースティング現象に多大な影響を与えているものと推察される。

#### 参考文献

- 1) 中川博次・櫛津家久・石田吉宏・門田章宏・藤本英典：管路及び開水路における非定常流れの乱流構造の相違について，水工学論文集第37巻，pp.593-598, 1993.
- 2) Nezu, I. and Nakagawa, I.: *Turbulence in Open Channel Flows*, IAHR, バルケマ出版, オランダ, p.1-281, 1993.

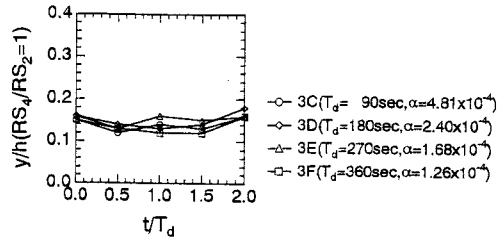


図-4 寄与率比が1となる位置の変化

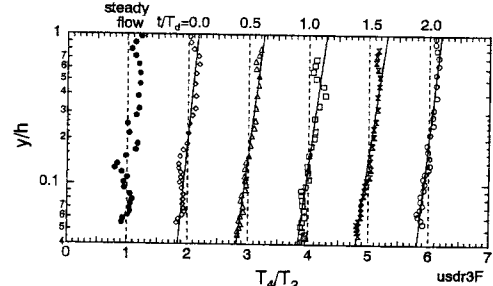


図-5 時間占有率比の変化

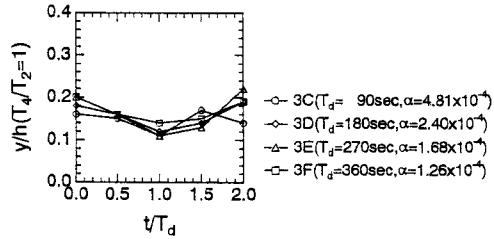


図-6 時間占有率比が1となる位置の変化

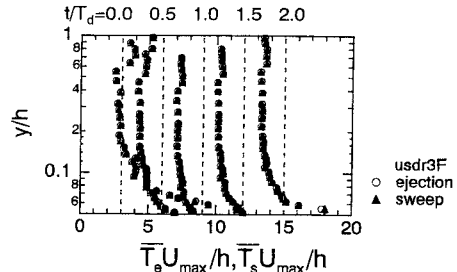


図-7 バースト発生周期

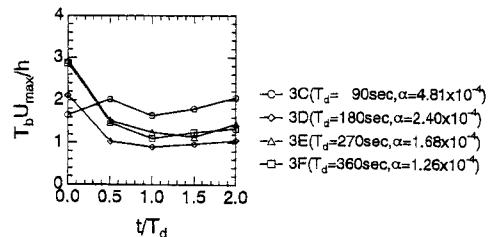


図-8 非定常時間に対するバースト発生周期の変化