

開水路乱流場の *bursting* 現象の時間・空間構造について

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 祢津家久
 建設省 正員 ○松本直也

1° まえがき 近年せん断乱流場を支配する構造が大規模で比較的規則性をもつことが明らかにされ注目を集めている。水理学の分野でも拡散や流砂運動など乱れに支配される現象が多くあり、それらとの関連で重要性が認識されつつある。*bursting* 現象は定性的には流れの可視化観察によってかなり詳細に調べられているのに対し、定量的な把握はまだ不十分である。本報告は、2台の2成分ホットフィルム流速計を用いた同時計測に条件付サンプリング解析法を適用し *bursting* 現象における *ejection* 事象や *sweep* 事象の時間空間構造を明らかにしようとするものである。

2° 実験 実験は右の写真に示すように1台のホットフィルム流速計を $y=0.4\text{ cm}$ ($y^+=38.3$) の位置に固定し(固定プローブ)、他の1台を水深方向と流下方向の種々の位置に変化させ(移動プローブ)同時計測を行った。水理条件は表-1に示すとおりである。計測点は全部で222点であり、各点でサンプリング周波数100 Hz、サンプリング数10000個のデータを得た。

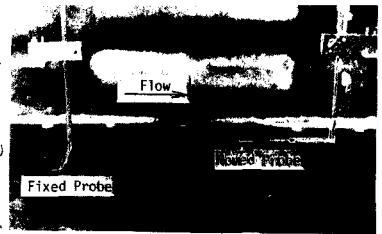


写真 ホットフィルム流速計の配置

3° 条件付サンプリング法 *bursting* 現象の特性を調べるために、*ejection* 事象の条件付平均 $\langle u \rangle_e$ 及 *sweep* 事象の条件付平均 $\langle u \rangle_s$ を次式で新たに定義した。

$$\langle b \rangle_e(\tau) = \int_{\tau} b(x+\tau) \{ -u_{fix}(x) v_{fix}(x) \} I_e(x) dx / \int_{\tau} \{ -u_{fix}(x) v_{fix}(x) \} I_e(x) dx \quad (1)$$

$$\langle b \rangle_s(\tau) = \int_{\tau} b(x+\tau) \{ -u_{fix}(x) v_{fix}(x) \} I_s(x) dx / \int_{\tau} \{ -u_{fix}(x) v_{fix}(x) \} I_s(x) dx \quad (2)$$

$$I_e(x) = \begin{cases} 1: u_{fix}(x) < 0 \text{ and } v_{fix}(x) > 0 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases}, \quad I_s(x) = \begin{cases} 1: u_{fix}(x) > 0 \text{ and } v_{fix}(x) < 0 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases}$$

Bed slope	S	0.08×10^{-3}
Water depth	h	8.08 cm
Aspect ratio	B/h	6.19
Discharge	Q	6.02 l/sec
Mean velocity	U _m	14.89 cm/sec
Friction velocity	U _*	0.949 cm/sec
Water temperature	T _w	20.67 °C
Kinematic viscosity	ν	$0.00991 \text{ cm}^2/\text{sec}$
Reynolds number	$Re = U_m \cdot h / \nu$	1.214×10^4
	$Re_* = U_* \cdot h / \nu$	773.8
Froude number	$Fr = U_m / \sqrt{g \cdot h}$	0.167

表-1 水理条件

$\int_{\tau} \dots d\tau$ は計測時間内の積分、 $u_{fix}(x)$ 、 $v_{fix}(x)$ は固定プローブにおける乱れの瞬間値、 $b(x)$ は任意の物理量を表わす。(1),(2)式の意味は *bursting* の検出基準としてしきい値を設定せずそれぞれの事象に属するすべての時間でサンプリングするかわりに、瞬間 Reynolds 応力による重みづけを行うことによって相対的に強いものほど平均に大きな寄与を示すということ、固定プローブで各事象が生起するときの時間的・空間的特性が任意性が入らずに得られる。

4° Euler 的時間特性 (1),(2)式の b を $\hat{u}_{fix}$ 、 $\hat{v}_{fix}$ 等でおきかえると1点で Euler 的に見た場合の各事象の時間的特性が得られる(ただし $\hat{u} = u/U'$ 、 $U' = \sqrt{u_*^2}$ 、 $\hat{v}$ も同様)。図-1に $\langle \hat{u} \rangle_e(\tau)$ 、 $\langle \hat{u} \rangle_s(\tau)$ を示す。*sweep* 事象のスケールの方が大きいことがわかるが、定量的に明らかにするために、(3)式で時間スケールを定義する。ただし、図から前後非対称であ

$$\tau_{\langle \hat{u} \rangle_e} = \int_{\tau} \frac{\langle \hat{u} \rangle_e(\tau)}{\langle \hat{u} \rangle_e(\tau=0)} d\tau, \quad \tau_{\langle \hat{u} \rangle_s} = \int_0^{\tau} \frac{\langle \hat{u} \rangle_s(\tau)}{\langle \hat{u} \rangle_s(\tau=0)} d\tau \quad (3)$$

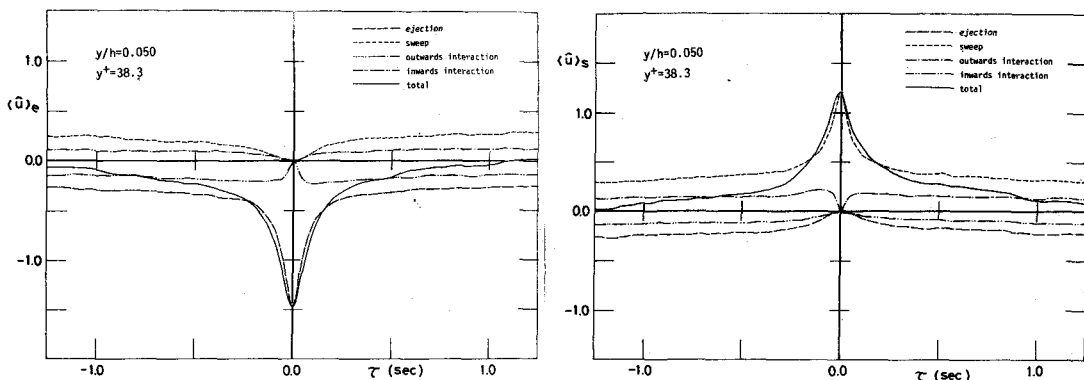


図-1 ejection (sweep) が生起するときの条件付平均の時間的变化

ることが明らかであるから別々に求め添字＋で区別する。(3)式で、 τ_- 、 τ_+ はそれぞれ $\tau < 0$ 、 $\tau > 0$ でゼロ交叉する遅れ時間である。 $\langle \hat{u} \rangle_s(\tau)$ 、 $\langle \hat{u} \rangle_e(\tau)$ 、 $\langle \hat{v} \rangle_s(\tau)$ 、 $\langle \hat{v} \rangle_e(\tau)$ についても同様の定義から計算され表-2に示される。表より、(i) u の方が v より時間スケールが大。(ii) sweep事象の方がejection事象より時間スケールが大。(iii) ejection事象では $\tau_- > \tau_+$ 、sweep事象はその逆ということがわかる。すなわち ejectionはゆっくり始まり急に終わる運動、sweepはその逆であることを意味している。

	τ_-	τ_+
$\langle \hat{u} \rangle_e$	0.254	0.191
$\langle \hat{v} \rangle_e$	0.131	0.082
$\langle \hat{u} \rangle_s$	0.258	0.325
$\langle \hat{v} \rangle_s$	0.105	0.139

(sec)

表-2 Euler的時間スケール
5° 空間特性 $\tau=0$ すなわち固定フローで ejection (または sweep) 運動が生起した瞬間の各計測点の条件付平均から等値線を描いたものが図-2に示される。図から(i) u の条件付平均は大きく下流側に傾いている。(ii) v より u 、ejection事象よりsweep事象の空間的拡がりが大きい。(iii) ejection事象は下流側、sweep事象は上流側の拡がり大きいことなどがわかる。
6° あとがき 4°、5°は互いに矛盾せず、図-2に示すような空間構造が移流されていく過程を1点でEuler的に見ると図-1のような結果が得られると思われる。今後、この実験をもとにして bursting 現象の移流過程を調べてゆきたい。

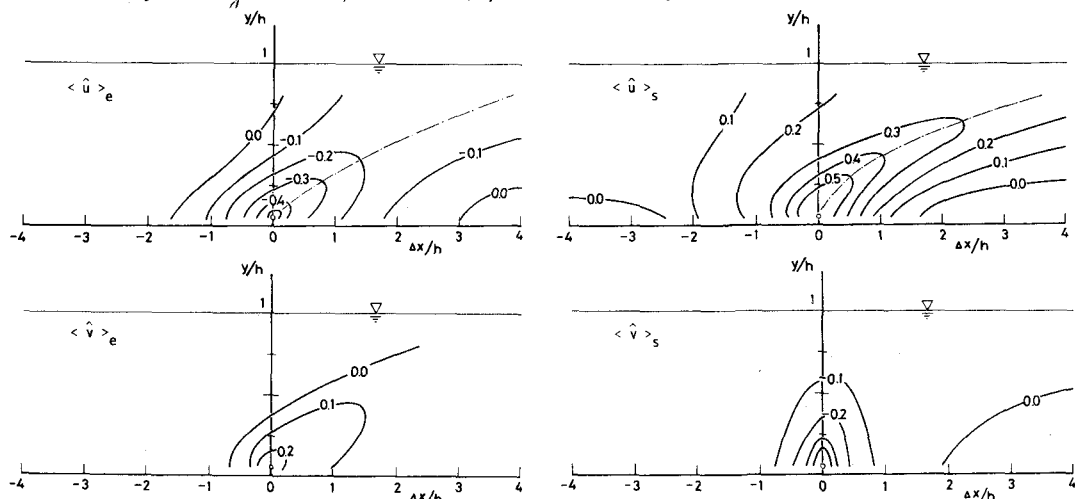


図-2 固定フローで ejection (sweep) が生起した瞬間の条件付平均の等値線