

開水路加速流の乱れ特性

九州工業大学大学院 学生員 ○岡本 智和 鬼束 幸樹
九州工業大学工学部 正 員 浦 勝 秋山 壽一郎
九州工業大学工学部 学生員 木下 敦之

1.はじめに

近年、境界層流、管路流、開水路流などの壁面乱流における乱れの発生に、bursting 現象が寄与していることが可視化観測により明らかにされた¹⁾²⁾。bursting 現象は、outward-interaction ($u>0, v>0$)、ejection ($u<0, v>0$)、inward-interaction ($u<0, v<0$) および sweep ($u>0, v<0$) に区分されるが(ここに、流下方向瞬間変動流速を u 、鉛直方向瞬間変動流速を v とした)、ゼロ圧力勾配境界層流や開水路等流においては乱れの発生に、底面付近の低運動量塊が上方に飛び出す ejection および壁面に向かって高運動量塊が接近する sweep が大きく寄与していることが、Hot-Film 流速計による測定結果に条件付き解析法を用いた結果、明らかにされた。一方、Kline *et al.*³⁾は加速された境界層流では bursting の発生頻度が減少することで乱れエネルギーが減少し、流速分布は層流的な分布となることを示した。開水路加速流に関しては、木下ら³⁾が乱れエネルギーが等流の分布より減少し、流速分布が log 則よりずれることを示したが、これらの現象に密接な関係にある bursting については言及していない。そこで、本研究では条件付き解析法を用い、開水路加速流の底面近傍で発生する bursting 現象に関して考察を加える。

2.実験方法および実験条件

実験装置および実験条件は、木下ら³⁾が用いたものと同様であり、本研究に用いる記号も彼らの定義に従う。以下解析の対象とする測定点は、表-1 に示すように流がほぼ等

表-1 実験条件

	x/ℓ	y/h	y^*	h (cm)	U_{max} (cm/s)	U (cm/s)
上流部点	-0.5	0.05	49.9	9.37	20.4	0.91
加速部点	1.0	0.05	49.0	6.08	25.2	1.39

流である上流部における測定点および流が最も加速された加速部における測定点である。ここに、 $y^*=yU/\nu$ 、 U は log-law より求めた摩擦速度、 ν は動粘性係数、 h は水深、 U_{max} は断面最大流速である。以下に前者を上流部点、後者を加速部点と呼ぶ。

3.実験結果および考察

bursting 現象を詳細に調べる方法に条件付き平均法がある。任意な物質質量 q の条件付き平均は、

$$\langle q \rangle(\tau) = \frac{\int_{-\tau}^{\tau} q(t+\tau) \cdot I(t) dt}{\int_{-\tau}^{\tau} I(t) dt} \quad (1)$$

で表される。ここに、 t は時間、 τ はラグタイムであり、 $\langle \rangle$ は平均を示す。Lu & Willmarth²⁾は outward-interaction, ejection, inward-interaction および sweep の乱れの発生に対する寄与率を調べるために四象限区分しきい値法を提案した。例として ejection についての条件付き平均を示す。

$$I_{ejection}(t) = \begin{cases} 1: u(t)\langle 0, v(t) \rangle 0 \text{ and } |uv| > H \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

その他の場合についても同様である。式(2)における H はホール値と呼ばれるしきい値である。図-1 に式(1)、(2)において $\tau=0$ 、 $q=uv$ としたときの無次元ホール値 H/U^2 に対する outward-interaction, ejection, inward-interaction および sweep の条件付き平均値を示す。 $H/U^2=0$ の場合における ejection と sweep の比は上流部点および加速部点でそれぞれ 1.09, 1.74 であり、加速部において、乱れの発生に対する ejection の寄与が大きいことが分かる。また、加速部における H/U^2 の増加に伴う条件付き平均値の減少傾向は、上流部よりも顕著であることから、加速部での bursting の強度が減少しているといえる。

次に、bursting の時間スケールを求める。柘津・中川⁴⁾は、次式で示す重み付き平均法を提案した。

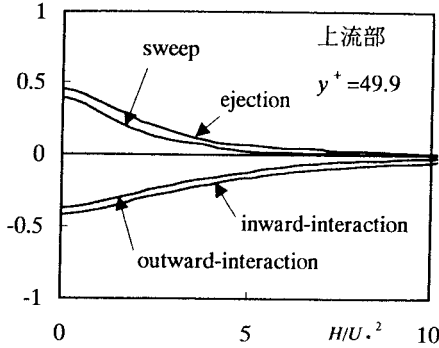


図-1(a) 上流部点における瞬間 Reynolds 応力の内部構造

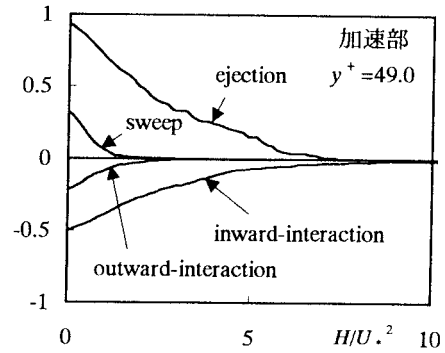


図-1(b) 加速部点における瞬間 Reynolds 応力の内部構造

$$I_{ejection}(t) = \begin{cases} u(t)v(t) : u(t) < 0, v(t) > 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

式(1)において $q=u$ として, ejection の時間スケール P を次式で定義した。

$$P_{ejection} = \int_0^{\tau_*} \frac{\langle u \rangle_e(\tau)}{\langle u \rangle_e(0)} d\tau \quad (4)$$

ここで、 τ_* は $\langle u \rangle_{ejection}$ がゼロとなる時間である。図-2 に $q=u$ とし式(1), (3)を用いて重み付き平均された ejection および sweep の自己相関を示す。さらに式(4)を用いて無次元時間スケール PU_{max}/h を求めると、上流部においては、ejection が 0.39, sweep が 0.44 の値を、加速部では、ejection が 0.66, sweep が 0.50 の値をとった。これらの値より、加速部における bursting の無次元時間スケール PU_{max}/h が増加していることが示される。

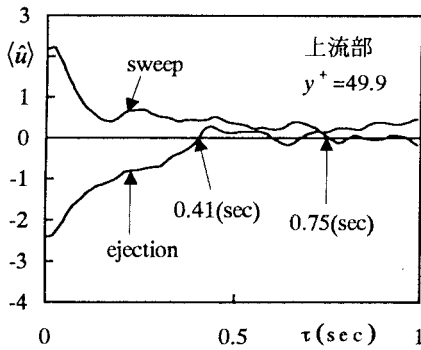


図-2(a) 上流部点における自己相関構造

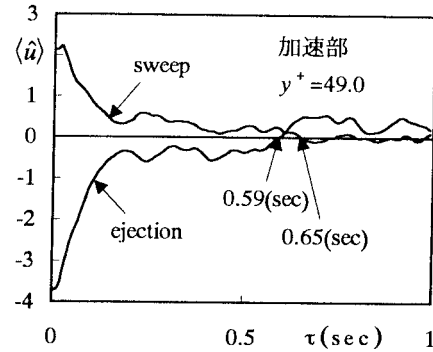


図-2(b) 加速部点における自己相関構造

4. おわりに

条件付き解析法を用いて、開水路加速流における bursting 現象の強度および時間スケールについて調べた。その結果、bursting の強度は等流のものよりも減少し、時間スケールは増加することが明らかにされた。

参考文献

- 1) Kline, S. J., Reynolds, W. C., Scharaub, F. A. and Runstadler, W., *J. Fluid. Mech.*, Vol. 30, pp. 741, 1967.
- 2) Lu, S. S. and Willmarth, W. W., *J. Fluid. Mech.*, Vol. 60, pp. 89-112, 1973.
- 3) 木下敦之, 浦 勝, 秋山壽一郎, 岡本智和, 鬼束幸樹, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1997.
- 4) 禰津家久, 中川博次, 第 24 回水理講演会論文集, pp.293-300, 1980.
- 5) 禰津家久, 中川博次, 第 25 回水理講演会論文集, pp.439-445, 1981.