

開水路粗度急変流の乱れ特性と組織構造に関する研究

京都大学工学部 正員 中川 博次
大阪府庁 正員 川端 伸哉
京都大学大学院 学生員 鈴木 康弘

京都大学工学部 正員 福津 家久
京都大学大学院 学生員 瀬谷 和彦

1. まえがき 開水路乱流場において、burstingと呼ばれる大規模組織構造が存在する。本研究では、滑面上、粗面上でのbursting現象の基本特性を検討し、粗度急変流でのbursting現象の時空間構造を、2点同時計測から得られたデータを基にし条件付サンプリング法により解明することを目的としている。

2. 実験方法 実験水路は長さ10m、幅40cmの勾配可変式水路である。粗度の急変部は上流端から約5mの位置に設けた。粗度として用いたのは粒径が1.2cmのビー玉である。原点は粒径の1/4だけ下方にずらした点にとった。実験ケースは、粗面から滑面への遷移とその逆の遷移の2種類である。その際、水深は8cmに、フルード数は0.2(平均流速は15.3cm/s)に統一した。また、計測区間長は、粗度の急変部の50cm上流側から175cm下流側までの225cmであり、計測断面は約16である。bursting現象の検出基準としては福津・中川¹⁾による四象限区分半値しきい値法を採用した。2点同時計測では、上流側の固定点(粗度急変部の7.5cm上流側)にはレーザー流速計を、移動点にはホットフィルム流速計を用いた。

3. 実験結果及び考察 図1には、滑面上及び粗面上でのbursting(ejection, sweep)の平均周期、平均滞在時間を外部変数である最大流速 U_{max} 、水深 h で無次元化した値を $y^+ = y \cdot U_{max} / \nu$ に対してプロットしている。この図から、bursting現象は、底面の粗度(k_s^+)にはよらずほぼ一定の値を示しているのがわかる。したがって、bursting現象の支配要因の一つは、外部層における流れ特性であると考えられ、bursting現象が外部領域に及ぶような大規模構造であることがわかる。また、図2には、粗度急変流におけるsweepの平均周期を図1と同様に U_{max} 、 h で無次元化した値の一例を示す。粗度急変流では、急変部からあらたな粗度の影響をうけて内部境界層が発達し、流れの構造は流下方向に徐々に変化しているはずである。しかし、図2より、sweepの平均周期は流下方向によらずほぼ一定値をとっている。これより、bursting現象は粗度の影響をほとんど受けていないと考えられる。次に、滑面上及び粗面上での瞬間レイノルズ応力の内部構造について考える。図3には、粗度急変流での RS_1/RS_2 の値を示す。滑面から粗面への遷移の場合、徐々に増加する傾向が、その逆の遷移の場合は減少の傾向がみられる。粗面上では、滑面上よりも相対的にsweepの寄与率が大きくなり、外部領域から内部領域への流入が大きくなる。図4には、滑面から粗面への遷移の場合の第一断面(滑面上)と最終断面(粗面上)での RS_1 と RS_2 を示す。 $y/h < 0.2$ の領域では粗面上の方が滑面上よりもejectionの寄与率に対するsweepの寄与率は大いことがわかる。

次に、2点同時計測によるbursting現象の時空間構造について考える。図5には、主流速の乱れ成分 u のejectionの条件付サンプリング値 $\hat{u}_e$ をずらし時間 τ に対して示す。遷移のしかたによらずbursting現象は平均流速の約0.8倍の速度で移流されているのがわかる。(図6) また、bursting現象は時間と共に下流側へ張り出した形状をしており、河床面に対して約20-30°の傾きを示している。図5に示すように $x/h < 0$ ($x/h = 0$ は粗度急変部を表す)ではそれぞれの底面でのbursting現象の空間スケールを表しているが、 $\hat{u}_e = -0.2$ の等値線に注目すると、粗面から滑面への遷移の場合の方が大きくなっている。これより、滑面上よりも粗面上の方が $\hat{u}_e$ の空間スケールが大きいとみなせる。しかし、底面の粗度が急変することによってbursting現象の空間的スケールがいかに変化するかはこの図からは判断できない。図7には、 $\tau = 0$ での鉛直成分 v のejectionの条件付サンプリング値 $\hat{v}_e$ を示す。 $\hat{u}_e$ と異なる点は、 $\hat{v}_e$ の空間的広がりは下流側というよりは鉛直方向であるという点である。 v は鉛直方向に相関が高いとわかる。

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Nobuya KAWASHIMA, Kazuhiko SEYA, Yasuhiro SUZUKI

4. あとがき 粗度急変部におけるbursting現象の特性、時空間構造を条件付サンプリング法などにより、示したが、底面の粗度が変化することにより、bursting現象が本質的にいかに変化するかを検討するには、底面が全面粗面であるとか、全面滑面であるといった場で再度検討する必要がある。

参考文献 1) Nakagawa, H. and Mezu, I. (1979): Structure of instantaneous Reynolds stress over a permeable open-channel with suction or injection. Memoirs, Fac. Eng., Kyoto Univ., 41, 240-267.

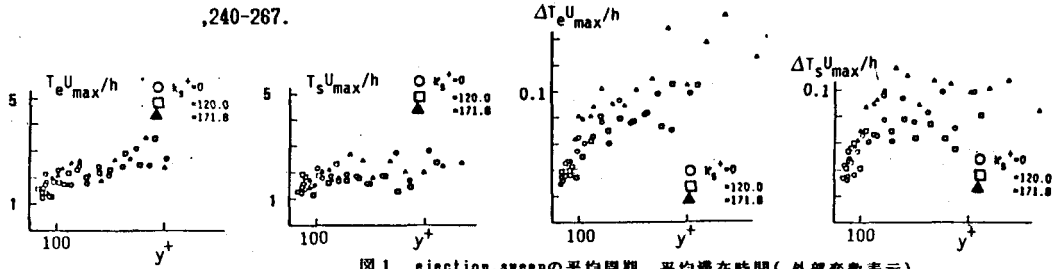


図1 ejection, sweepの平均周期、平均滞在時間（外部変数表示）

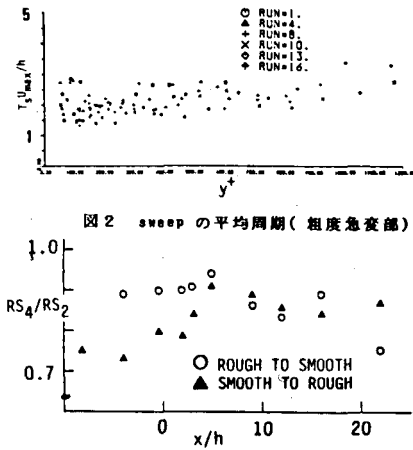


図2 sweepの平均周期（粗度急変部）

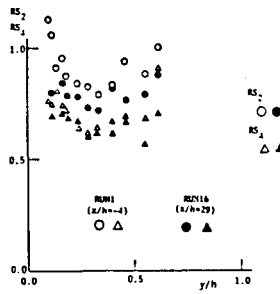


図4 RS4, RS2のy方向の変化

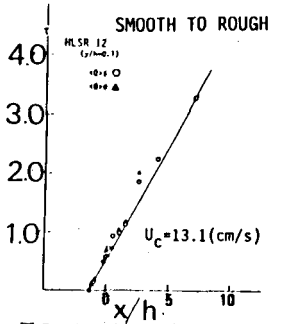
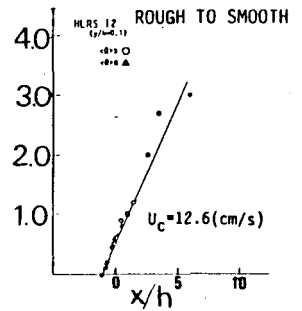


図6 bursting現象の移流速度

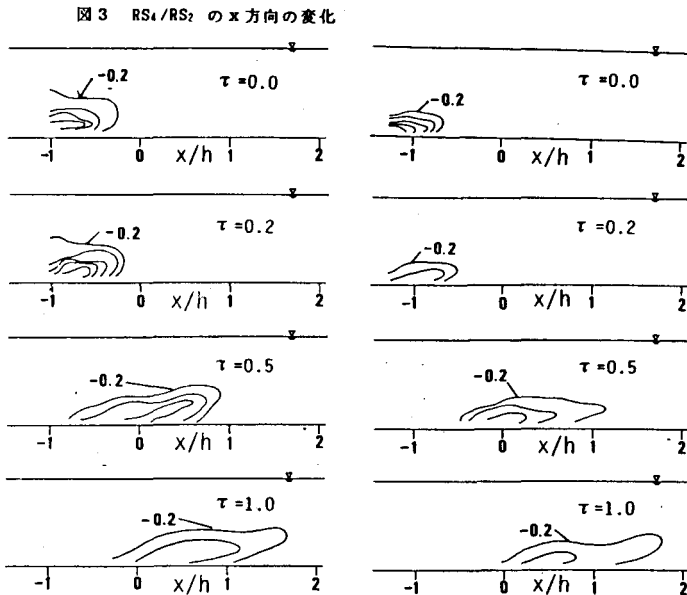


図5 bursting現象の移流過程（左がrough to smooth, 右がsmooth to rough）

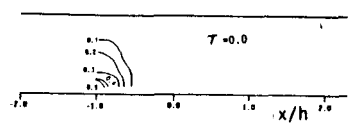


図7 τ = 0.0での<v>