

II-233 並列らせん流とbursting現象との関連について

京都大学 工学部 正員 畠永晃宏
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

1. まえがき 開水路流れの河床で観察される sand ridge や縦筋は、並列らせん流の存在を示すものであるが、逆にまたこれらが乱れの不均一を増大し安定な並列らせん流を形成する機動力になると考えられる。著者らは、河床の縦筋現象すなわち粒径の粗い粒子と細かい粒子を河床に敷きつめて通水すると細かい粒子が堀れる部分と堆積する部分ができるという村本¹⁾及び著者²⁾の実験を参考にして、横断方向の粗度の変化が並列らせん流の発生を促進すると考えた。そこで本研究では、風洞において粗面と滑面を横断方向に交互に配置しこれを模擬した実験を行い、並列らせん流の乱流構造に及ぼす影響を検討しようとした。

2. 実験結果 実験装置及び方法については文献3)を参照されたい。図-1は実験の結果並列らせん流が最も明瞭に形成されたときの河床条件を示している。このときの平均流速 U の等値線を示したものが図-2である。底面ごく近傍を除いて粗面上で高速、滑面上で低速となっている。図-3は鉛直方向の平均流速 V の等値線で、明らかに粗面上で負すなわち下降、滑面上で正すなわち上昇となり、 V の値は U の約2%に達している。このように粗面上で下降、滑面上で上昇という図-1の矢印に示される顕著な2次流が確認された。次に乱れ強度 u', v' 及び Reynolds 応力 $\overline{u'v'}$ の分布をそれぞれ図-4, 5 に示す。明らかに一樣平坦河床の場合と異なっており、両者とも $y/D < 0.2$ では粗面上の方が大きく、 $y/D > 0.2$ では滑面上の方が大きい。すなわち $y/D < 0.2$ では底面の境界条件の影響を強く受けるが、 $y/D > 0.2$ では並列らせん流の影響が強く現われたものと考えられる。図-5には底面全体が滑面の場合 (Case 1) 及び粗面の場合 (Case 2) の実験値を直線近似したものが併示してあるが、これによると底面付近ではそれぞれの底面状態の値とほぼ一致しており、底面から離れるにつれて滑面では増大、粗面では減くし、このことは並列らせん流の存在から説明できる。

3. bursting 現象に及ぼす影響について このように並列らせん流が明確

に存在し、乱れ強度分布及び Reynolds 応力分布に変化が生じているとき、せん断乱流における組織立った構造である bursting の構造がどのように変化するかを検討するために、パターン認識法による解析を行った。この解析法は前報⁴⁾と同じであるからここでは省略する。ただし平滑化項数 N_s は、 $N_s \cdot \Delta T$ ($\Delta T =$ サンプリング周期 $= 5 \times 10^{-4}$ sec) が、次式

$$\bar{T}_b \cdot U_{max} / h = 2 \sim 3 \quad (1)$$

から予想される bursting 周期 $\bar{T}_b$ より十分小さくなるように $N_s = 7$ が選ばれた。まず1つのパターンから次のパターンまでの時間を bursting 周期 $\bar{T}_b$ と定義し、この平均値を U_{max} 及び h で無次元表示したものが図-6

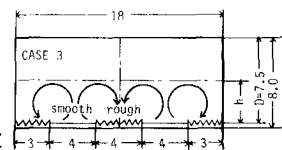


図-1 河床条件と並列らせん流

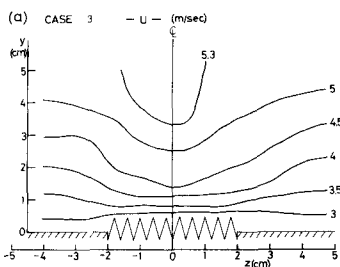


図-2 U の等値線

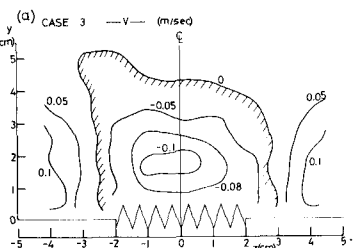


図-3 V の等値線

○ ● --z/b=-1 (smooth) ⊕ ⊖ --z/b=-0.25 (rough)
△ ▲ --z/b=-0.75 (smooth) ⊕ ⊖ --z/b=0 (rough)
□ ■ --z/b=-0.5 (boundary) (b: width of roughness)

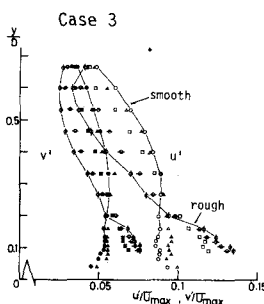


図-4 乱れ強度分布

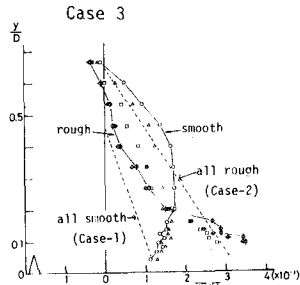


図-5 Reynolds 応力分布

である。図には滑面上、粗面上及びこれらの境界上の分布を示しているが、これらの間に系統的な差は認められず、底面付近から管の中央高さ付近までほぼ一定値をとり、その値は $T_b \cdot U_{max}/h \approx 3$ となり式(1)を満足している。図-7は T_b の確率分布の1例であり、図中の対数正規曲線との一致は良好で、従来平坦滑面で指摘されているように T_b の分布は対数正規分布に従うと言える。このように顕著な並列らせん流が存在しても、bursting周期は変化せず、分布形も影響を受けないということは、burstingは並列らせん流とは独立に発生し、同一視できないと考えられる。次に、滑面中央($z/b=-1$)及び粗面中央($z/b=1$)における (u) , (v) , $(-uv)$ のパターンを示したものが図-8(a)~(f)である。このパターン認識法では u の時系列をパターンの検出基準としているため (u) の形はどれもほぼ同じになっている。しかし (v) 及び $(-uv)$ については、滑面上の底面近くで $u < 0$, $u > 0$ の ejection 事象における $(-uv)$ の値が小さく、高さが増すにつれて大きくなっていくのに対して、粗面上では底面近くで ejection における値と sweep ($u > 0$, $u < 0$) における値がほぼ等しく、高さが増すにつれて sweep における値が小さくなり、管の中央高さでは sweep からの寄与がほとんど0になっている。Case-1(全滑面)及びCase-2(全粗面)のパターンは割愛したが、管の中央高さ近くで sweep が少し小さくなる傾向がみられた他は、計測位置によってほとんど変化せず ejection の方が sweep より若干大きく、図の(c), (d)に近い形であった。以上から、bursting現象は並列らせん流の影響を明らかに受けていると考えられる。次にこれを定量的に評価するために、瞬間 Reynolds 応力を $u-v$ の4象限に区分し、ejection 事象及び sweep 事象の寄与率 $R2$ 及び $R4$ を計算した⁵⁾。この $R4$ と $R2$ の比の等値線を図-9に示す。これから明らかに ejection からの寄与に対する sweep からの寄与の比は粗面上で小さく滑面上で大きくなっていくことがわかる。図-5に示した Reynolds 応力分布は、並列らせん流の存在で変化するが、bursting 周期は変化しないが

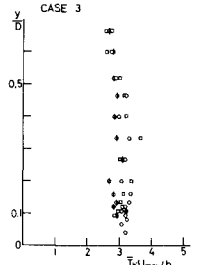


図-6 T_b の分布

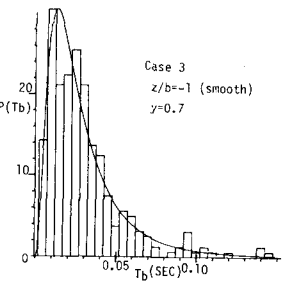


図-7 T_b の確率分布

う、その強さが変化するはずであり、図-8に見られるように上昇部で ejection が、下降部で sweep が相対的に変化していることがわかる。

4. あとがき 今後2次流の存在のもとで bursting の時空間の構造を調べ、両者の関連性を詳細に検討したい。

<参考文献> 1) 村本ら、京大防災研年報 20号B-2 (1977), 2) 中川ら、関西支部年議 II-41 (1981), 3) 中川ら、関西支部年議 II-40 と II-42 (1981), 4) 畠永ら、土木学会全国大会年議 (1980) 5) Nakagawa & Nezu, JFM, vol 80 (1977)

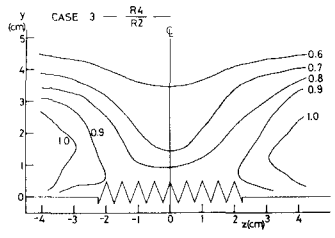


図-9 $R4/R2$ の等値線

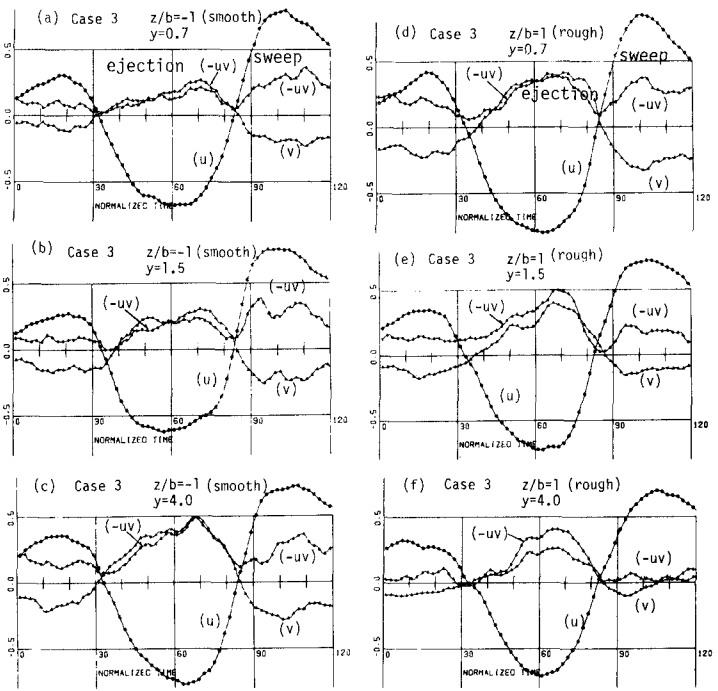


図-8 各点における $u, v, -uv$ のパターン