

京都大学工学部 正 員 橋津家久  
 京都大学大学院 学生員 門田章宏  
 京都大学大学院 学生員 〇戸田孝史

1. はじめに 床止め、堰などによる堆砂や河道改修工事などによって、河床勾配の変化が生じる場合、その近傍における流れの諸特性を的確に推定することは、河道の安全や環境問題を考えるうえで重要である。そこで、本研究では、実験水路床上に勾配部分を設け、加速流および減速流を人工的に生じさせて計測を行い、その乱流特性を明らかにする。

2. 実験方法 実験では、長さ10m、幅40cmの固定勾配の水路の上流から約7mの地点に滑面状の斜面を設置し、水路床勾配を大幅に変化させた。流速はレーザー流速計で高精度に計測された。斜面は長さ $L=40(\text{cm})$ 、高さ $H=2.1(\text{cm})$ および長さ $L=80(\text{cm})$ 、高さ $H=2.1(\text{cm})$ の2種類、流量は $Q=7, 10(\text{l/s})$ の2通り、水路床勾配は $S_b=1/1000$ に固定し、加速流、減速流それぞれ3ケースずつの計6ケースの実験を行った。また、全ケース通して常流であり、斜面勾配部の上流と下流において十分等流と見なせる状態であった。

3. 実験結果および考察 図-1は、修正形状係数 $H$ を用いて、本研究で対象とする流れを分類したものである。なお、 $H>1$ ならば加速流、 $H<1$ ならば減速流となる。図中、剥離が発生する範囲( $0.723<H<0.761$ )および吉川ら(1990)<sup>2)</sup>の実験データも併示した。加速流、減速流ともに、上流側では $H=1$ に近い値をとり、流下方向に行くにしたがって、減速流では $H=1$ から減少し、加速流では増加しており、本実験の減速流、加速流がそれぞれ逆圧力勾配および順圧力勾配の流れであることが良好に再現されている。また、減速流は剥離を伴った流れでないことが分かる。図-2は、平均流速分布を境界層における流速分布とともに示したものである。また、Clauserの圧力勾配パラメータ $\beta=(\delta_*/\tau_p)\partial p/\partial x$ の値も併示した。底面付近の領域では、加速流、減速流にかかわらずほぼ直線分布しており、この領域で対数則が成立するものと考えられる。一方、水面付近の領域では、対数則から大きくずれてwakeが観測され、特に減速流においては境界層流よりも大きな逆圧力勾配を持った流れであることが確認できる。そこで、次式で表されるLog-wake則を適用することによって、wake強度パラメータ $\Pi$ を評価した。

$$U(y)/U_* = 1/\kappa \cdot \ln(U_* y/\nu) + A_s + 2\Pi/\kappa \cdot \sin^2(\pi/2 \cdot y/h) \quad (1)$$

図-3は、そのwake強度パラメータ $\Pi$ の変化を、 $\beta$ に対して示したものである。図中、Kironoto(1993)<sup>3)</sup>が粗面上の不等流に対して求めた関係式およびClauserの導いた関係式を示してある。本実験のデータは、減速流でかなりばらつきが見られるものの、境

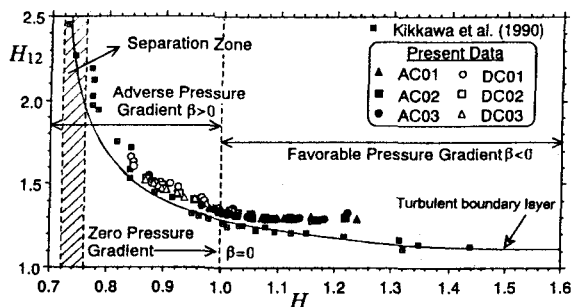


図-1 修正形状係数 $H$

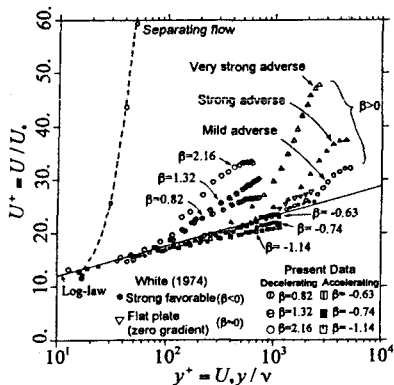


図-2 平均流速分布

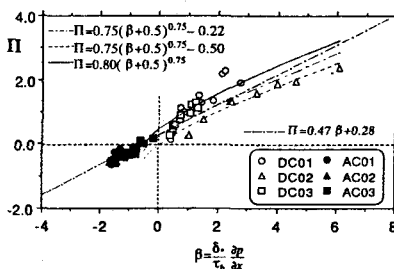


図-3 圧力勾配パラメータ $\beta$ に対する $\Pi$ の変化

界層流ほどは大きく変化せず、順圧力勾配( $\beta < 0$ )の大きくない領域で、Kironotoの実験式とよく似ており、ほぼ直線近似できると考えられる。そこで、本研究では図中の直線で示すように、 $\beta$ と $\Pi$ の関係を、 $\Pi = 0.47\beta + 0.28$ と定めた。図-4は、流速分布に対数則を適用して得られた摩擦速度 $U_*$ の流下方向変化を、従来から用いられてきたその他の評価方法と比較して示したものである。この図から、加速流では流下方向に摩擦速度 $U_*$ は増加し、逆に減速流では減少する。Ludweig-Tillmannの実験公式 $C_f = 2(U_* / U_{max})^2 = 0.256 \times 10^{-0.678H} \times Re_\theta^{-0.268}$ による評価方法が、対数則による方法と良好に一致している。ここで $H$ は形状係数、 $\theta$ は運動量厚である。図-5は、乱れ強度分布およびレイノルズ応力分布を示したもので、図中の点線で表した曲線および直線は、橋津の普遍関数および粘性項を無視した三角形分布である。乱れ強度分布、レイノルズ応力分布とも、加速流では普遍特性から分布形が抑えられるように小さくなり、逆に減速流では膨らむように大きくなっている。

図-6は、相関係数 $R = -\overline{uv} / u'v'$ の変化を示したものである。図中、実線で示した等流時で成立する相関係数よりも、加速流では相関係数が大きく、減速流では小さくなっている。

#### 4. おわりに

本研究結果から、修正形状係数を用いて加速、減速流が良好に分類でき、さらに、加速、減速流においては、平均流速分布、乱れ強度分布、レイノルズ応力分布が、普遍特性が成立する等流時からかなり大きく変化することが分かった。

<参考文献>

- 1) H.Schlichting: Boundary Layer Theory, pp.672-674, 1979
- 2) 吉川ら: 土木学会論文集, 第417号/II-13, pp.63-71, 1990.
- 3) B.A.Kironoto: Doctoral Dissertation, Lausanne, Switzerland, 1993.

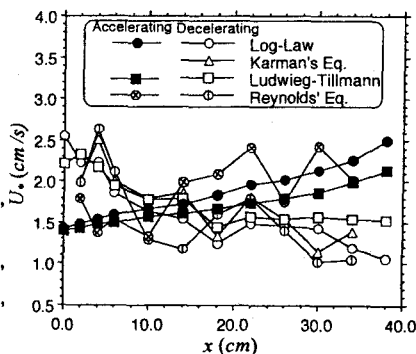


図-4 摩擦速度 $U_*$ の変化

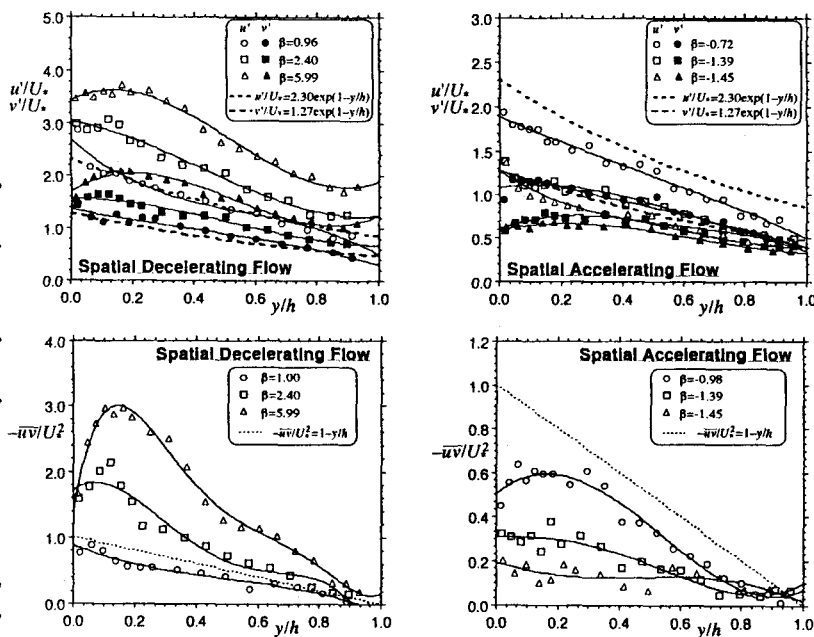


図-5 乱れ強度分布およびレイノルズ応力分布

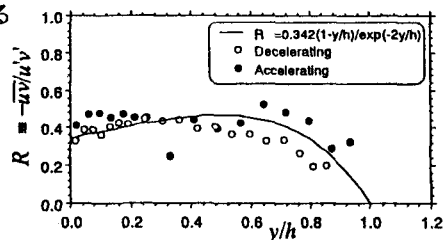


図-6 相関係数 $R$ の変化