

II-208

加速流および減速流の乱流特性

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 戸田孝史

1. はじめに 実河川においては、河道の変化に伴って空間的に加速流および減速流が生じ、流れの特性がかなり変化している。このため、そうした流れ場の諸特性を的確に推定することは、河道の安全や生態系を含めた環境の配慮などを考えるうえで重要である。そこで、本研究では、実験水路床上に上り勾配部分および下り勾配部分を設け、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. 実験および解析方法 実験は、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、流速をレーザー流速計で高精度に計測した。斜面は高さ $H=2.1(\text{cm})$ で、長さ $L=40(\text{cm})$ 、 $80(\text{cm})$ の2種類とし、流量は $Q=7, 10(\text{L/s})$ の2通り、水路床勾配は $S_b=1/10^3$ 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。

本研究では、対象とする流れが圧力勾配に強く支配されていることを考慮し、流れの特性を表すパラメータとして、修正形状係数 H およびClauserの圧力勾配パラメータ $\beta=(\delta_*/\tau_b)\partial p/\partial x$ を用いることにする。ここで、 δ_* は排除厚である。

3. 実験結果および考察 図-1は、修正形状係数 H を用いて、本実験の流れを分類したものである。修正形状係数は圧力勾配によって速度分布が圧力勾配のない場合よりどれだけ変化したかを表し、 $H>1$ ならば加速流、 $H<1$ ならば減速流となる。図中には、斜線で剥離が発生する範囲($0.723<H<0.761$)を併示した。流下方向に行くにしたがって、 $H=1$ から減速流

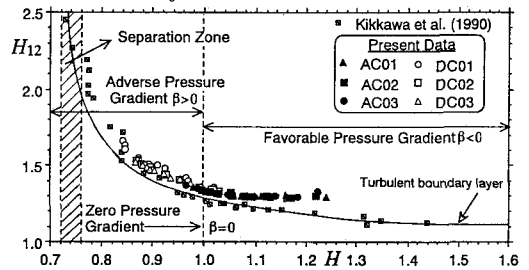


図-1 修正形状係数による流れ場の分類

では H は減少し、加速流では H 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、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、減速流では剥離は生じていない。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。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、その傾向は β の絶対値が大きな、より圧力勾配の大きな場合で顕著である。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 Π を評価した。

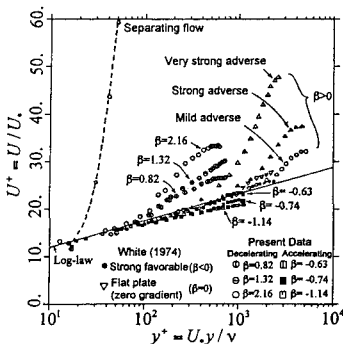


図-2 平均流速分布

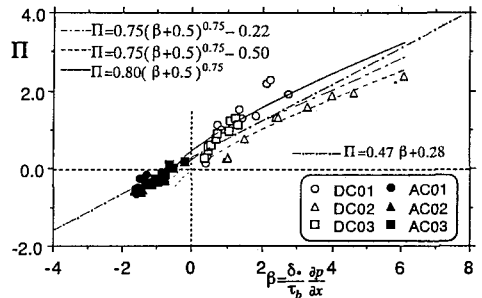


図-3 圧力勾配パラメータ β に対する Π の変化

$$\frac{U(y)}{U_s} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{U_s y}{\nu}\right) + A_s + \frac{2\Pi}{\kappa} \sin^2\left(\frac{\pi y}{2h}\right) \quad (1)$$

図-3は、その Π の変化を β に対して示したものである。図中、実線で表した式はClauserが境界層流について導いた関係式で、点線の2式はKironoto(1993)²⁾が粗面上の不等流に対して求めた関係式である。本実験のデータは境界層流ほどは大きく変化せず、本研究ではその変化が直線近似できると考え、 β と Π の関係式を $\Pi=0.47\beta+0.28$ 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_s の流下方向変化をその他の評価方法とともに示したものである。これより、加速流では流下方向に摩擦速度 U_s は増加し、減速流では減少する。評価方法ではReynolds方程式およびKarmanの運動量式による方法は、全体的には同様な傾向を示すものの、かなりばらつきが見られる。一方、Ludwig-Tillmannの実験公式 $C_f = 2(U_s/U_{max})^2 = 0.256 \times 10^{-0.678H} \times Re_\theta^{-0.268}$ による評価方法は、対数則による方法と良好に一致している。なお、 H は形状係数、 θ は運動量厚である。図-5に、乱れ強度分布およびレイノルズ応力分布を示す。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。また、圧力勾配がより大きな場合にその傾向が顕著である。図-6は、相関係数 $R = -\overline{uv}/u'v'$ の変化を示したものである。外層では、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 本研究では次のような結論を得た。修正形状係数を用いて加速、減速流が良好に分類できる。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し、圧力勾配パラメータによってその程度を定量的に評価できる

<参考文献>

- 1) H.Schlichting: Boundary Layer Theory, pp.672-674, 1979
- 2) B.A.Kironoto: Doctral Dissertation, Lausanne, Switzerland, 1993.

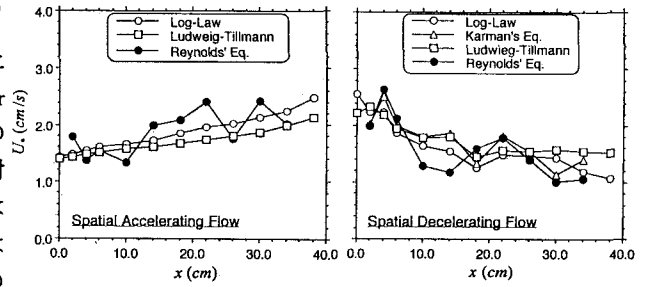


図-4 摩擦速度 U_s の変化

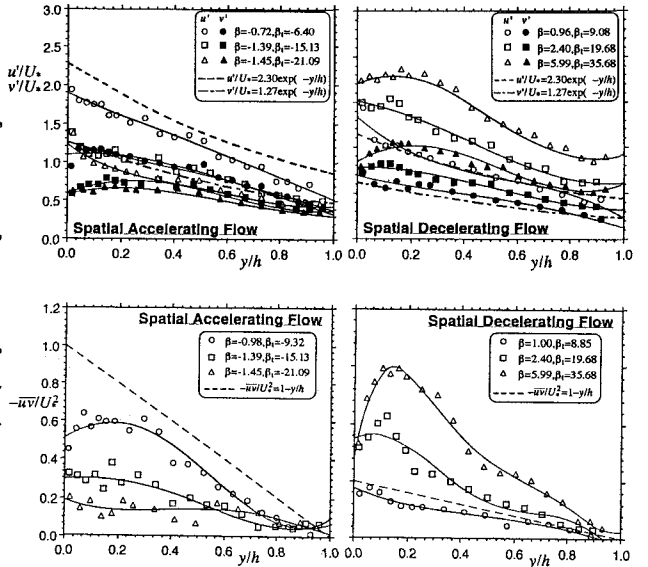


図-5 乱れ強度分布およびレイノルズ応力分布

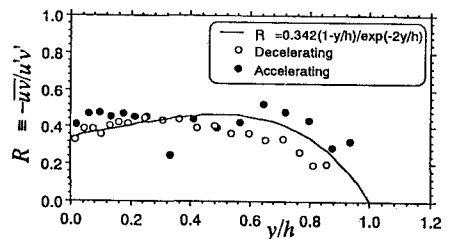


図-6 相関係数 R の変化