

京都大学工学部 正 員 祢津家久
 京都大学大学院 学生員 門田章宏
 鹿島建設 正 員 ○戸田孝史

1. はじめに 実河川においては、河床勾配の変化などによって加速流および減速流が発生し、定常等流時と比較して流れの特性が大きく変化している。本研究では、空間的に非一様な流れ場が圧力勾配の影響を受けるものと考え、緩やかな sin 波路床上の加速・減速流を対象として、レーザ流速計を用いて粘性底層を含む底面近傍から自由水面まで詳細な計測を行い、その基本特性について実験的に考察したものである。

2. 実験方法および水理条件 本実験では、図-1 に示した sin 波半波長分の路床形状モデルを設置することによって加速流もしくは減速流を発生させた。

sin 波形状については、路床変化区間長さ(=sin 波半波長) $L=40.0\text{cm}$ の固定で、振幅 $a=0.5, 1.0\text{cm}$ (波高 $2a=1.0, 2.0\text{cm}$) の 2 種類とし、粘性底層内まで計測を行うために流量 $Q=2.0\text{liter/s}$ の一定として、加速流、減速流それぞれ 2 種類の計 4 ケースの計測を行った。計測点は、水路横断面中央にて、上流側の路床勾配が変化する地点を原点として流下方向に 7 断面、各断面について底面のごく近傍で計測点が密になるように鉛直方向に 50 点計測した。

3. 実験結果および考察 圧力勾配の大きさを定量的に表す指標として乱流境界層でよく用いられるのが、圧力勾配パラメータ p^+ である。本研究では、開水路における圧力勾配パラメータを次のように定義した。

$$p^+ \equiv v / \rho U_*^3 \cdot dp / dx = v / \rho U_*^3 \cdot \rho g \cos \theta dh / dx \quad (1)$$

図-2 に p^+ の流下方向変化を示す。加速流のケース(S2AAC, S2BAC)では、 p^+ は計測区間全域でほぼ負、減速流(S2ADC, S2BDC)では正の値をとる。このとき加速流では路床変化区間の上流側 ($x/L < 0.5$) でピーク値が現れる。

図-3 に、平均流速 $U^+ \equiv U / U_*$ を各断面鉛直方向に 10 ずつずらして表示した。摩擦速度 U_* は、本実験では粘性底層の直線分布式 $U^+ = y^+$ より評価した。加速流、減速流とも初期断面においてはほぼ定常等流時の対数則分布が成立するが、流れが加速もしくは減速されることによってバッファー層から外層にかけて分布形は大きく変化し、通常の対数則分布は成立しなくなることがわかる。

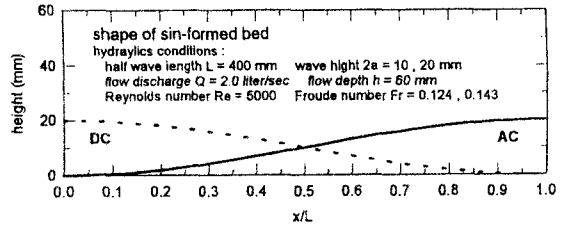


図-1 路床形状および水理条件

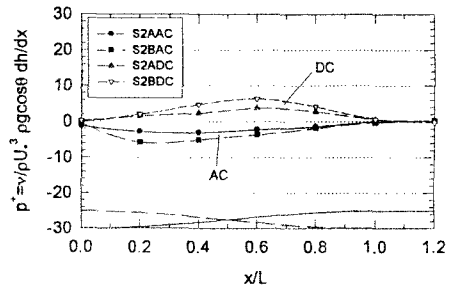


図-2 圧力勾配パラメータ p^+

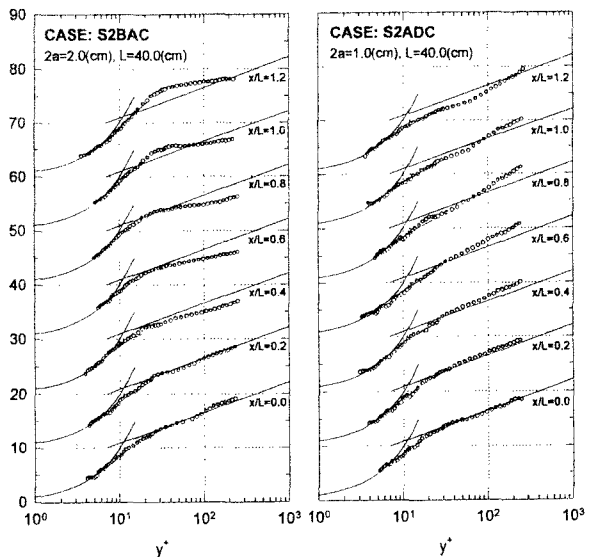


図-3 平均流速分布 (左:加速流 右:減速流)

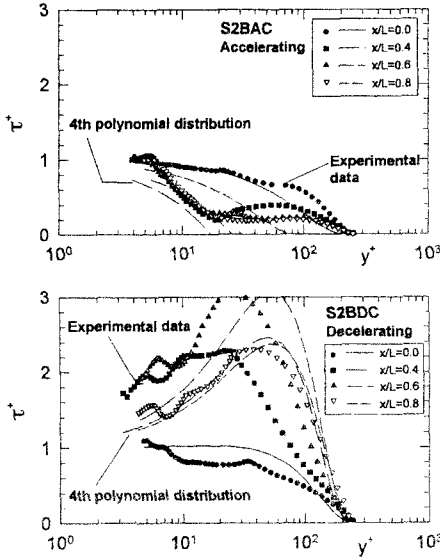


図-4 全せん断応力分布 (上:加速流 下:減速流)

図-4 は、 $\tau^+ = -\overline{uv}/U_*^2 + dU^+/dy^+$ に実験データを用いて計算した全せん断応力分布である。Thomas and Hasani (1989)¹⁾ は、逆圧力勾配下の乱流境界層のせん断応力分布を N 次の多項式で近似できるとし、本研究では次の 4 次多項式で近似した。

$$\tau^+ = (1 + 0.014p^+y^+) - (6 + 0.042p^+R_*) (y^+/R_*)^2 + (8 + 0.042p^+R_*) (y^+/R_*)^3 - (3 + 0.014p^+R_*) (y^+/R_*)^4 \quad (2)$$

実験値より求めたせん断応力と式(2)を比較すると、減速流についてはほぼその傾向が得られるものの、加速流では外層における分布形が実験値と大きく異なり、今後さらに検討を加える必要がある。

図-5 は、摩擦速度 U_* によって無次元化した乱れ強度 u' および v' の分布を各断面について示したものである。また、同様に Reynolds 応力分布を示したのが図-6 である。図中の曲線は定常等流時の分布を示す。底面のごく近傍に限定すると、乱れ強度分布および Reynolds 応力分布ともに、 y^+ に対して比例関係にあり、加速流で勾配は緩やかに、一方、減速流では逆に勾配が急になる傾向が見られる。これは、底面近傍の乱れの発生率 G が加速流では減少し、減速流では増大することとよく対応する。逆圧力勾配下の乱流境界層流においては、壁面近傍では乱れの発生率は低下し、乱れ強さは減衰すると報告されているが²⁾、本実験ケースの流れは境界層流と比較するとかなり大きな圧力勾配下の流れであり、圧力勾配の大きさによって乱れの発生機構が変化するものと考えられる。

4. おわりに 本研究では、sin 波路路上の加速・減速流について、レーザ流速計を用いて詳細な乱流計測を行い、その平均流速分布や底面近傍の乱れ特性量の分布特性について考察を行った。

【参考文献】 1) Thomas, L. C. and Hasani, S. M. F.: ASME, vol.111, pp.420-427, 1989.

2) 三宅裕, 中島正弘: 日本機械学会論文集(B 編), 60 巻 570 号, pp.51-58, 1994.

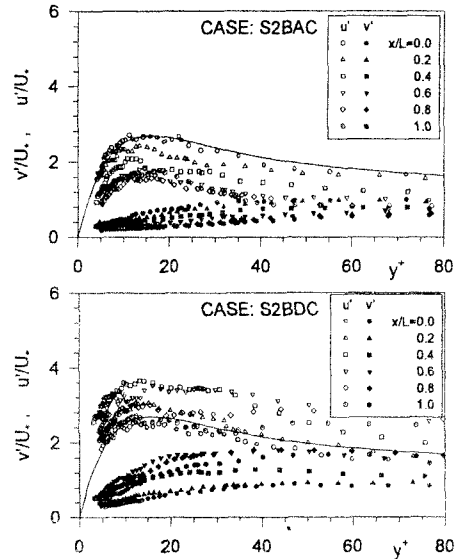


図-5 乱れ強度分布 (上:加速流 下:減速流)

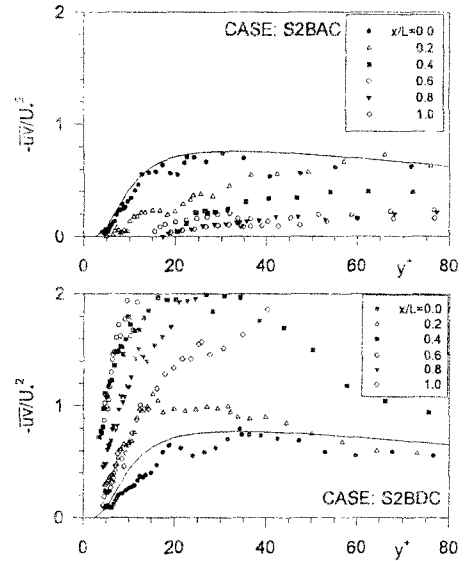


図-6 Reynolds 応力分布 (上:加速流 下:減速流)