

京都大学大学院 正会員 楠津家久
 京都大学大学院 正会員 鬼束幸樹
 (株) 銭高組 正会員 ○中橋修一

1. はじめに

開水路等流の粘性底層における特性はOnitsuka & Nezu¹⁾によって詳細に調べられ、乱れ強度の勾配 C および乱れ強度のvan Driestのダンピング定数 B がReynolds数およびFroude数に依存しないことなどが明らかにされた。また、楠津²⁾は水素気泡法を用いて、burstの横断方向の平均縞間隔が内部変数表示で100を常に保つことを明らかにした。ところが、開水路加速流においては上述のような知見はいっさい得られていないのが現状である。本研究では、レーザードップラー流速計(LDA)を用いて極めて底面近傍の乱流計測を行い、主流速分布、乱れ強度分布などの特性を明らかにし、さらに、水素気泡法を用いてburstの横断方向縞間隔を計測した。

2. 実験装置および実験方法

レーザードップラー流速計(LDA)の実験に用いた水路および実験条件は、楠津³⁾の用いたものと同様であるので、文献3)を参照されたい。なお、水素気泡法については、白金線を底面から1mmのところまで横断方向に張り、水路上部からビデオ撮影を3分間行なった。実験後にVTRをコマ送りしてburstの縞間隔を計測した。

3. 実験結果および考察

開水路等流の粘性底層における流速分布は、次式で示される。

$$U^+ = y^+ \quad (1)$$

ここに、 $U^+ = U/U_*$ 、 $y^+ = yU_*/\nu$ 、 ν は動粘性係数、 U_* は摩擦速度である。開水路加速流に関する従来の研究では、摩擦速度の算出をlog則から行っていたが、本研究ではファイバー型LDAと1/100mmの精度をもつトラバース装置を駆使し、粘性底層の流速分布の計測に成功した。図-1は粘性底層から求められた摩擦速度 U_* により無次元化された主流速分布を示している。流下に伴って流れは加速されるが、いずれのケースもほぼ式(1)に適合していることが分かる。

図-2は粘性底層における乱れ強度 u'/U_* の分布を示したものである。なお、図中における直線は次式で示される等流で成立する経験式である。

$$\frac{u'}{U_*} = Cy^+ \quad (2)$$

等流では、係数 C は0.3をとる。本実験の $x/L = -0.11$ は加速部手前の等流状態であるが、この領域では乱れ強度分布はほぼ線形的で係数 C は0.3程度を示している。ところが、流下に伴って乱れ強度の

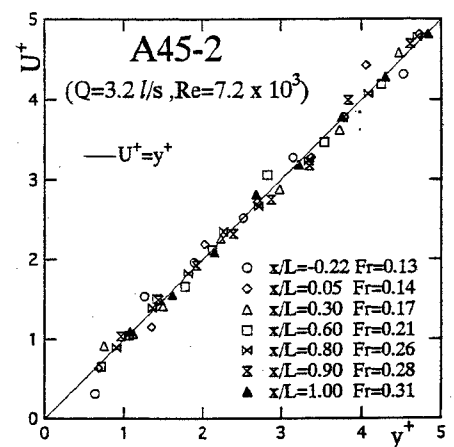


図-1 粘性底層における主流速分布

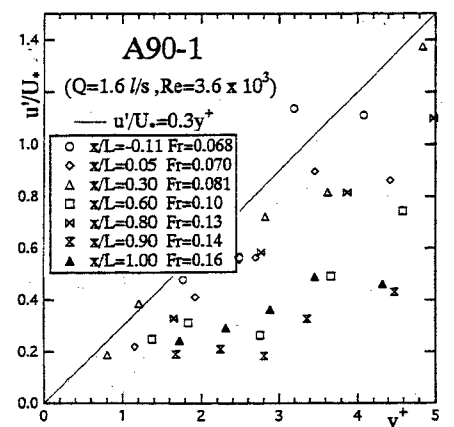


図-2 粘性底層における乱れ強度分布

値が減少していく。ただし、その分布形状はほぼ線形を保っている。そこで、式(2)より各断面における係数 C を求めた。図-3は係数 C の流下方向変化を示したものである。流下に伴って係数 C が減少していく様子がうかがわれる。ところで、開水路加速流における支配パラメータは以下のように考えられる。

$$p^+ = \frac{\nu}{\rho U_*^3} \frac{dp}{dx} = \frac{\nu g}{U_*^3} \frac{dh}{dx} \cos \theta \quad (3)$$

ここに、 g は重力加速度、 ρ は密度であり、静水圧近似を用いている。図-4は圧力勾配パラメータ p^+ に対する乱れ強度の係数 C の挙動を示したものである。ただし、横軸は $-p^+$ とし、等流部の $x/L=0.11$ においては $p^+=0$ であるため、 $-p^+=10^5$ として表示している。係数 C は $-p^+$ に対して時計回りのループを描いていることが確認できる。しかし、流れが加速部に流入してしばらくの区間は上流の履歴がきくと考えられるため、ある程度流下するまでは流れは p^+ に一義的に決定されるとは考えにくい。そこで、加速部における比較的下流部分、つまり、時計回りのデータの最も周回したデータに着目すると、 $-p^+$ に対して減少関数であることがわかる。

図-4にはこれらのデータをなめらかに結んだ曲線を示している。今後、 $0 \leq -p^+ \leq 10^4$ および $-p^+ \geq 10^2$ の流れを計測することによって p^+ と係数 C との関係が定式化されるものと期待できる。

開水路等流におけるburstの縞間隔 λ_z は内部変数表示にすると Reynolds 数および Froude 数に関わらず、 $\lambda_z^+ = \lambda_z U_* / \nu = 100$ 程度であることが瀬津²⁾によって明らかにされている。図-5は無次元化されたburstの横断方向縞間隔の流下方向変化を示したものである。初期断面の等流部でやや値にばらつきが見られるが、加速に伴いburstの縞間隔が広がっていることが確認できる。

4. おわりに

開水路加速流において、粘性底層における乱れ強度の勾配が減少することや、burstの横断方向縞間隔が増加することなどが明らかにされた。

参考文献

- 1) Onitsuka, K. and Nezu, I., *The 7th Int. Symposium on Flow Modeling and Turbulence Measurements*, pp.679-704, 1998.
- 2) 瀬津家久：開水路流の乱流構造に関する基礎的研究，京都大学博士論文，1977.
- 3) 瀬津家久，鬼束幸樹，藤山知加子：開水路加速流の乱流構造について，平成10年度関西支部年次，1999.

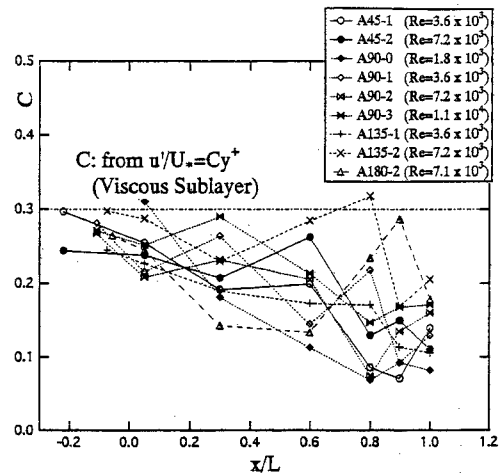


図-3 乱れ強度 u'/U_* の係数 C の流下方向変化

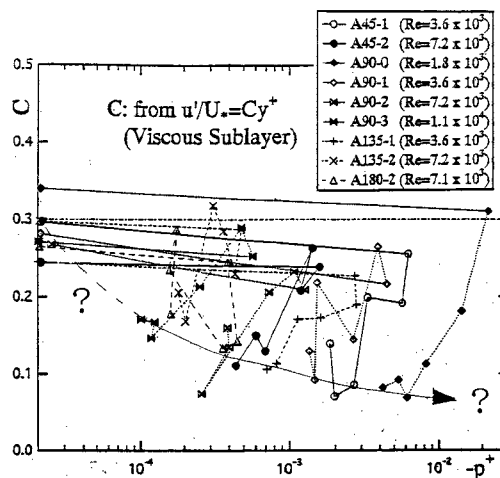


図-4 係数 C と無次元圧力勾配 p^+ との関係

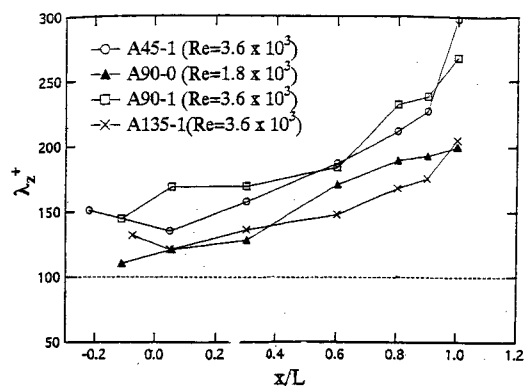


図-5 burstの横断方向縞間隔の流下方向変化