

可視化法による開水路乱れの観察

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
鹿島建設	正員	○大衆 勲

1. まえがき 開水路流れの特性に関しては、これまで点計測によってかなりの成果が上げられてきたが、一般に、点計測によって流れの全域を瞬時に把握することは困難であり、このような場合には可視化法が有効となる。本報告では、定量的な解析も可能である水素気泡法によって開水路流れの乱れの発生機構を観察した結果を述べる。

2. 実験方法 実験は、長さ8.5m、幅29cmの滑面開水路において、水深6cmで5種類の Re 数(1390, 1890, 2800, 4710, 7650)について行ない、前回¹⁾と同様の方法で解析した。

3. 実験結果 図-1は対数則を仮定して、摩擦速度 u_* を求めた一例である。図-2はこの u_* を使った乱れ強さの分布であり、従来の点計測結果と同程度となるが、若干大きめであって読取誤差の影響が現われている。白金線を水路底に水平に、流れ方向に垂直に設置して流れを観察したところ、壁面近傍ではよく知られている低速縞(low-speed streak)の存在が確認され、その間隔は Re 数が大きくなるにつれて狭くなり、壁面から遠ざかるに従って広くなる。また低速縞相互の合体が観察され、その結果入が大きくなると新たに低速縞が発生する。一般に $\lambda^+ \equiv u_* \lambda / \nu \approx 100$ 程度の値を常に保とうとする性質が壁面近傍には存在するようである。図-3~6は、 Re 数が4710の場合の λ の確率分布の数例であり、 n はサンプル数、 $\bar{\lambda}$ は平均値である。 $y^+ = 4.1$ や 9.9 では $\lambda^+ \approx 100$ あたりに分布が集中しているが、 $y^+ = 25.6$ や 59.6 では、ちらばりが大きくなっている。この事実は他のケースでも観察され、粘性底層端付近には比較的規則正しいcoherentな運動が存在していると推測される。また、これらの分布を $\log(\lambda^+ / \bar{\lambda}^+)$ で正規確率紙にプロットした結果、ほぼ直線となり、これを正規化して図-7に示した。図中の直線は λ に関する次式の対数正規確率密度関数 $f(\lambda^+)$ である。

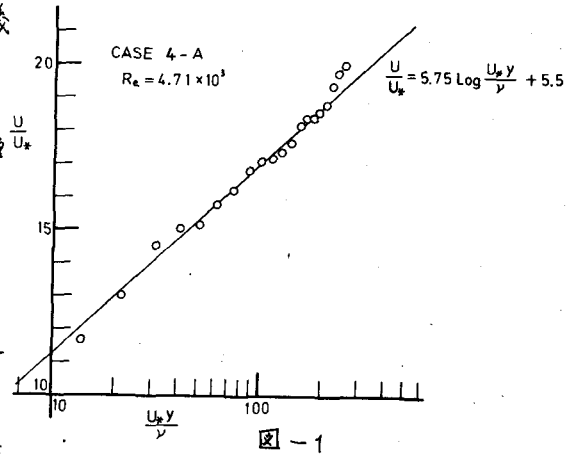


図-1

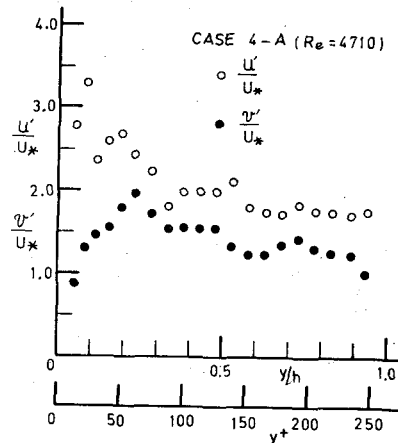


図-2

に分布が集中しているが、 $y^+ = 25.6$ や 59.6 では、ちらばりが大きくなっている。この事実は他のケースでも観察され、粘性底層端付近には比較的規則正しいcoherentな運動が存在していると推測される。また、これらの分布を $\log(\lambda^+ / \bar{\lambda}^+)$ で正規確率紙にプロットした結果、ほぼ直線となり、これを正規化して図-7に示した。図中の直線は λ に関する次式の対数正規確率密度関数 $f(\lambda^+)$ である。

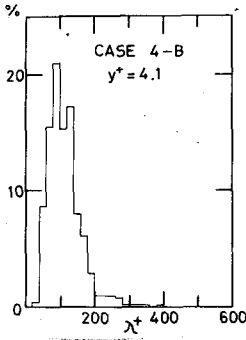


図-3 $n=522$, $\bar{\lambda}^+=114$

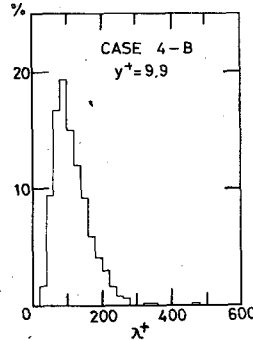


図-4 $n=640$, $\bar{\lambda}^+=114$

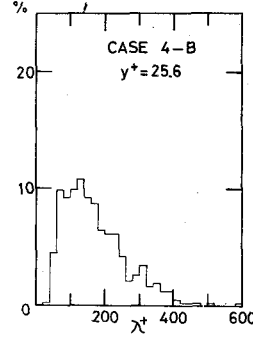


図-5 $n=425$, $\bar{\lambda}^+=172$

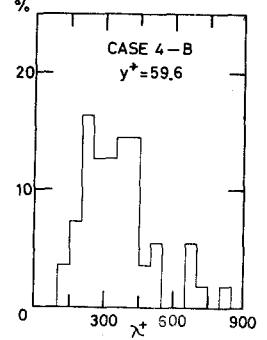


図-6 $n=55$, $\bar{\lambda}^+=358$

$$f(\lambda^+) = \frac{\log e}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\lambda^+}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \sigma_{\lambda^+}^2 (\log(\lambda^+/\lambda_0^+))^2\right\} \quad (1)$$

ここで $\log \lambda_0^+ = \log \bar{\lambda}^+ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log \lambda_i^+$ (λ_i^+ は図-3~6の各区分の中央値)

$$\sigma_{\lambda^+} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(\lambda_i^+/\lambda_0^+)^2}$$

実験値と式(1)は非常に良好な一致を示し、また他のケースでも同様の結果が得られた。したがって、 λ^+ はほぼ対数正規分布すると結論づけよう。図-8は5種類のRe数について、 λ^+ と $y^+ \equiv u_{rms} y/\nu$ を図示したものである。粘性底層端付近では、Re数による差異は顕著でなく、従来からの値 $\lambda^+ \approx 100$ と一致する。しかし各ケース共に、 y^+ の増加に従って λ^+ は増加し、また同じ y^+ でもRe数の大きい方が λ^+ も大きくなる傾向が見られ、自由水面上で観察される縦縞間隔との関連性が示唆される。最後に白金線を氷路底に垂直に設置し、高速度16mmカメラで撮影された画像から bursting 周期を次のように決定した。最大な凸の time line から次の最大な凸が生じるまでのコマ数を数えて bursting の周期 T_b とした。図-9は λ^+ と同様に T_b の対数正規化表示であり、実験値はHazenプロットしているが両者の一致は良好である。

4. 結語 bursting現象の縦縞間隔及びその周期 T_b は共に対数正規分布するものと考えられ、本来、不規則な乱流運動にも何らかの組織だった特性が存在すると示唆され、今後さらに次第された可視化観察によってその発生機構を解明して行きたい。参考文献 1) 中川ら: 関西支部年報 1996, II-31

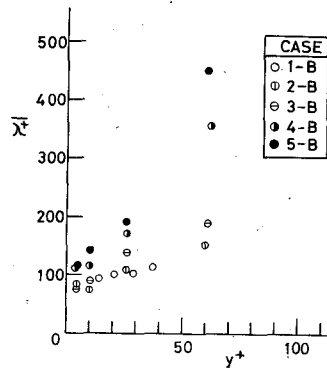


図-8

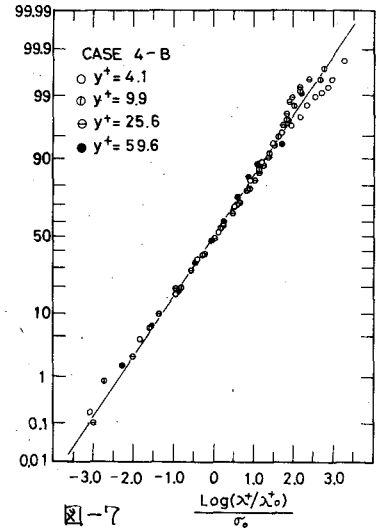


図-9

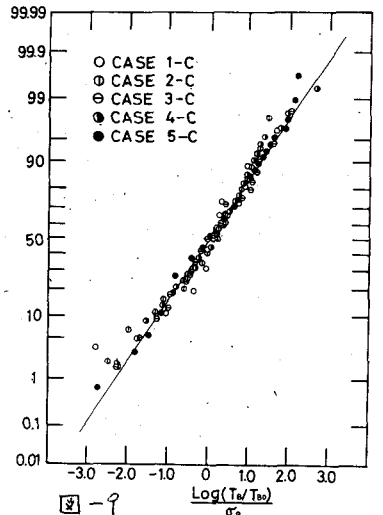


図-10