

福井大学工学部 正員 福原 輝幸
大阪大学工学部 正員 室田 明

1. 緒論

今までの一連の研究により、植物を有する流れの特徴として周囲流体に及ぼす揺動の影響の大きいことが明らかになった^{1),2)}。要約すると次のようである。(i) 大規模かつ組織だった揺動と乱れとの相互作用は線形性が強い。(ii) 群落内部における流速分布の欠損状態(遅滞現象)は緩慢な揺動状態の方で著しい。(iii) 乱れ強度も緩慢な場合において同様に、群落内部に入つての値の遞減が著しい。(iv) レイノルズ応力の構造については群落内部、特にその深部において差異が現われ、緩慢な状態の方でランダム性が強まる。さらに、(iv)に関する考察を進めてゆくことで、群落内外の運動量輸送は揺動状態に依存することがわかってきた。

そこで本論文では、流れ場を支配するもう1つの重要な要素である密生状態を変化させることで、乱流構造がいかに変わるものかを検討する。

2. 密生度および植生状態

実験装置および実験方法は参考文献(1), (2)を参照されたい。密生度 C は次式で定義される。

$C = \frac{\pi}{4} d^2 N / BL \cdots (1)$ ここに、 d は粗度径、 N は本数、 BL は植物に覆われた路床の面積をそれぞれ表す。植生状態は図-1に示すとおりである。

3. 植物と周囲流体との相互作用

密生度の違いによる揺動スペクトルの変化を図-2に示す。密生度の低下により揺動のピーク周波数は高周波数側に移動する。目視観察に基づけば密生度が低下するに従って組織だった揺動現象は不明瞭となり、個々の植物は各々独立して振舞を呈するようになる。

他方、乱れのスペクトルを示したものが図-3であり、いずれも粗度高さ付近($y=k$)で揺動が著発な場合に相当する。本実験内での高密生度($C=9.05 \times 10^{-4}$)および中密生度($C=2.24 \times 10^{-4}$)に対応する(a)と(b)をみると、乱れのスペクトルの卓越周波数と揺動スペクトルのそれとの対応が明確に認められるが、(c)の低密生度($C=0.57 \times 10^{-4}$)になると、高周波側で複数のピークが現われるようになる。

これより、高密生度での組織的な揺動状態から個々の植物が独立して揺動するような低密生度状態に移行するにつれて、植物と乱れとの相互作用は非線形性が強まると考えられる。

4. 流速分布

密生度の違いによる流速分布の変化を図-4に示す。同図にも併示しているが高密生度の場合、レイノルズ数 Re の違いにより流速分布は変化するが、それ以外の密生度では変曲点をもつ流速分布を呈するような群落内部(内部領域)

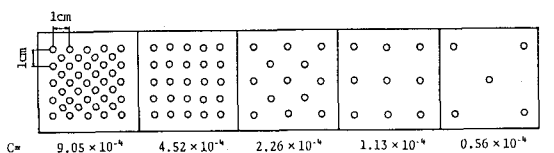


図-1 植生状態と密生度

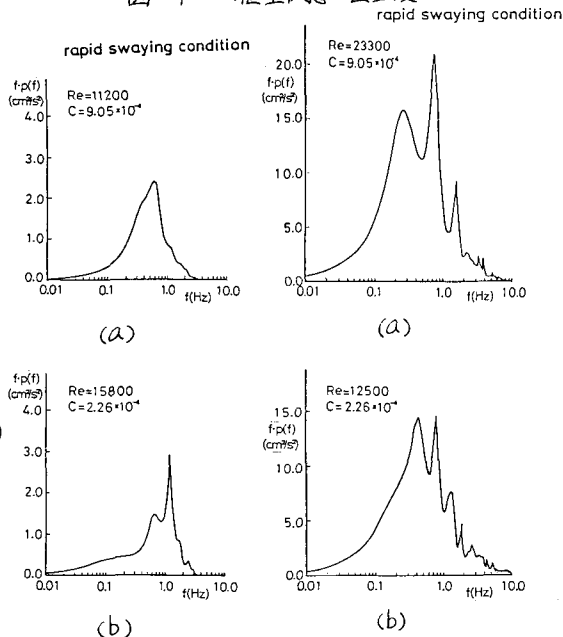


図-2 揺動スペクトル

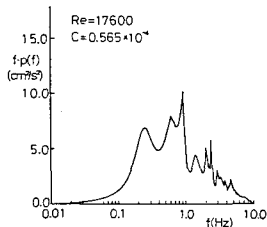


図-3 乱れのスペクトル

での強烈な流れの遅滞は現われず、概ねべき乗則に従う。また、 Re による流速分布の大きな変化も生じない。しかしながら滑面の分布に比べればなお全体的にやせた形状を示しており、遮水効果は持続している。そこで、高密度以外の場合について次式のようなべき乗則の適応を試みた。

$$\bar{U}/U_s = (y/h)^\alpha \quad (U_s: \text{表面流速}) \quad (2)$$

中密度 ($C = 2.24 \times 10^{-4}$) で $\alpha = 0.4$, 低密度 ($C = 0.57 \times 10^{-4}$) で $\alpha = 0.33$ と変化しており、 α は密度の低下とともに減少する。

このように Re に無関係に流速分布に相似則が成立することは、流水・植物および壁面との間の力の釣り合い状態が崩れることなく平衡状態にあることを示唆するものゆえ、もはや揺動が流れ場に与える影響は無視してよいと考えられる。

5. 乱れ強度分布

密度の違いによる乱れ強度 U_{rms} 分布の変化を図-5、図-6に示す。前者は摩擦速度 $U_* = \sqrt{g S_e h}$ で、後者は局所平均流速でそれぞれ無次元化してある。図-5に関しては次の事が言える。高密度では U_{rms} は $y \approx k$ で最大となり、水面・路床に向かって単調減少するが、密度が低下するに従って最大値の位置は路床側へ移行する。また、 U_{rms}/U_* の値は密度の低下とともに全体的に増大する。

相対乱れ強度 $U_{rms}/\bar{U}$ は高密度の場合、 $y/k = 0.8$ 付近で最大値をとるような分布形となるが、密度の低下とともに前図と同じく裾広がり、すなわち路床近くで最大値をとるような分布形となる。値自身は密度の低下とともに全般的に減少する。そして両図とも最終的には滑面での分布形に漸近する傾向がうかがえる。

以上より、流れ場を支配する乱れは高密度の場合が群落頂部から発生する乱れであるのに対し、低密度の場合には路床から発生する乱れ、すなわち壁面乱流に完全に移行している。

6. 乱れの統計的性質

図-7は流下方向変動流速 u の確率密度関数(図中の曲線は正規分布)を示したものである。高密度(a)では外部領域($y \geq k$)の分布形のピークは正側に、裾の部分は負側に尾を引くような形状となるが、内部領域のそれは逆にピークは負側に、裾の部分は正側に尾を引くような歪んだ分布形となる。ところが低密度状態になると外部領域の分布形はほとんど変化がないが、内部領域のそれは大きく変化し、外部領域での分布と同じような形状になる。しかもこの分布形の特徴が滑面の場合と酷似していることから、乱れの統計的性質からも低密度状態では植物による影響はないと推察される。

〔参考文献〕 (1) 室田・福原, 第28回水講演文, 1984. (2) 室田・福原, 昭和59年度関西支部年講概要

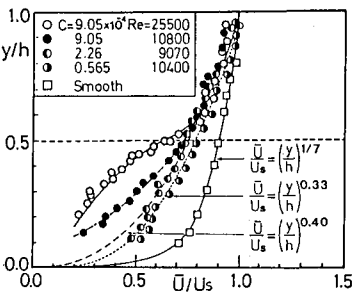


図-4 流速分布

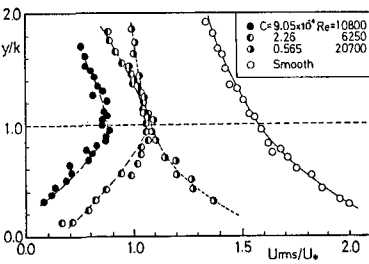


図-5 乱れ強度分布

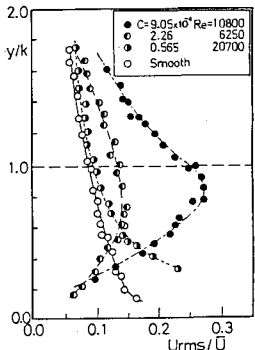
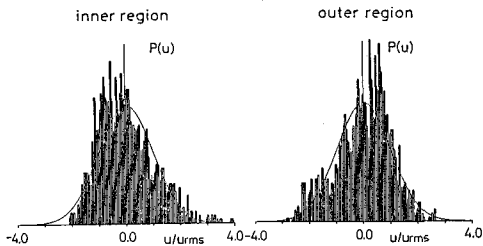
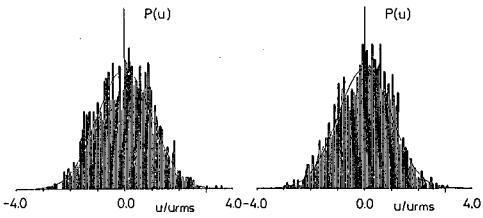


図-6 相対乱れ強度分布



(a) $C = 9.05 \times 10^{-4}$



(b) $C = 0.565 \times 10^{-4}$

図-7 流下方向変動流速の確率密度関数