

植物を有する流れの乱流構造

大阪大学工学部 正員 室田 明

大阪大学工学部 正員 ○福原輝幸

1. はじめに 現在、筆者らは植物を有する流れの抵抗と乱流構造に関する一連の研究を進めている。この種の流れに関する一番の特徴は植物の揺動であり、しかも揺動が周囲の流れに大きな影響を及ぼしている。例えば直立性の植物群落の場合、組織だった揺動現象と乱れとの相互作用は線形的であり、流れの遅滞効果は揺動状態で変わる。¹⁾

ここでは、揺動が乱れに及ぼす影響をより明確にすることを目的としている。

なお、実験装置および実験方法に関しては文献(1)を参照されたい。

2. 乱流構造および運動量輸送機構に及ぼす揺動の影響評価

2-1: 慣用平均操作にもとづく考察: 図-1(a),(b)および(c)は流下方向変動流速 u と鉛直方向変動流速 v の結合確率密度関数であり、(a)と(b)は揺動が活発な状態での外部領域($y/k \geq 1.0$, k : 平均粗度高さ)と内部領域($y/k \leq 1.0$)における結果を、(c)は揺動が微弱かつ緩慢な状態における結果をそれぞれ示したものである。まず(a)と(b)をみると、分布形は外部・内部領域で明らかに異なっていることがわかり、外部領域では第2象限に、内部領域では第4象限にそれぞれ引き伸ばされた形状となっている。次に、揺動による違いを検討するために(b)と(c)を比較する。図では y/k が異なるが、活発な揺動状態では全内部領域を通じて分布形は変わらない。一方、揺動が緩慢になると群落深部に向かうにつれ(b)から(c)のように同心円を描くような分布形に変遷する。すなわち、揺動が緩慢な状態での群落深部はランダム性の強い乱流構造となる。

図-2は平均渦径 L_g の水深方向変化を示したものであり、●印が緩慢な揺動状態に、○印が活発な揺動状態にそれぞれ対応する。外部領域では両者の値に差異はないが、内部領域になると揺動が緩慢な方で相対的に L_g/h は小さくなり、かつ $y/k \leq 0.6 \sim 0.7$ で一定の値(約0.2)をとるのに対して、活発な場合 L_g/h は路床に向かって単調減少している。この傾向は混合距離の水深方向変化でも認められ、揺動が乱れの空間規模、特に内部領域のそれに対してかなりの影響を及ぼすことが知り得る。

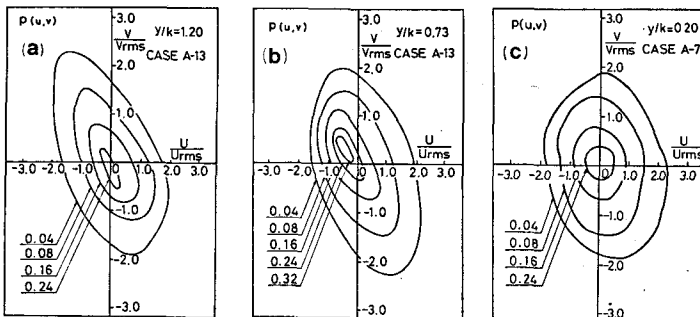
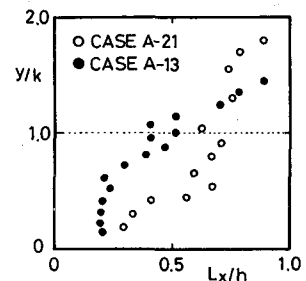
図-1 u と v の結合確率密度関数

図-2 平均渦径

Akira MUROTA and Teruyuki FUKUHARA

2-2: 条件付抽出法にもとづく考察: 流れの抵抗や河川の生態系に及ぼす植物の水理学的機能を解明する上で重要となる内部・外部領域間の運動量輸送機構について、レイノルズ応力の構造を介して考察する。そのために4象限法を用いる。

通常、平均レイノルズ応力 $\overline{uv}$ は次式で定義される。 $\overline{uv} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (uv)_i \dots (1)$ ここに、 N は総サンプル数を表す。条件付レイノルズ応力 $\langle uv \rangle_i$ は次式より求められる。 $\langle uv \rangle_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} (uv)_j \dots (2)$ ここに、 N_i は各事象ごとのサンプル総数である。各事象は次のように呼ばれる。 $i=1$:outward interaction, $i_o(u>0, v>0)$, $i=2$:ejection, $e_j(u<0, v>0)$, $i=3$: wallward interaction, $i_w(u<0, v<0)$, $i=4$:sweep, $s_w(u>0, v<0)$ 。各事象の時間占有率 T_{fi} および $\overline{uv}$ への寄与率 $\overline{uv}_i / \overline{uv}$ はそれぞれ次式より求められる。 $T_{fi} = (N_i / N) \times 100(\%) \dots (3)$, $\overline{uv}_i / \overline{uv} = \langle uv \rangle_i / \overline{uv} \cdot T_{fi} / 100 \dots (4)$

図-3 は T_{fi} の水深方向変化を示したものである。(a) は揺動が緩慢な場合、(b) は揺動が活発な場合に対応する。両者とも外部領域では $s_w > e_j$, 内部領域では $s_w < e_j$ が成立する。また $y=k$ より少し路床側の領域で i_w, i_o の T_{fi} が最小となることより、この領域は運動量交換に関与する乱れの時間の割合が最も高い。両者の違いは群落深部で生じており、(a) では4象限とも $T_{fi} \cong 25\%$ 、すなわち同程度の出現率となるにもかかわらず、(b) ではそのような変化は現われてこない。

各事象から $\overline{uv}$ への寄与を示したものが図-4 (a), (b) であり、(a) は揺動が緩慢な状態、(b) は活発な状態に対応する。

両者とも外部領域では e_j からの寄与が、内部領域では逆に s_w からの寄与が最大となる。水深方向にみると、 $y=k$ より少し下側の位置で e_j と s_w からの寄与が最大となるのがわかる。これより群落頂部付近から発生する乱れは内部・外部領域間の運動量交換に積極的に関与すると推察される。(a) と (b) を比較すると分布形の違いは群落深部で生じており、揺動が緩慢な場合のみ4象限とも $\overline{uv}_i / \overline{uv}$ の絶対値は同程度となり急増大する。この原因としては運動量交換が弱まることで $\overline{uv}$ 自身が小さくなったこと、および乱れのもつランダム性の強まったことが挙げられる。

3. おわりに 今までの考察をもとに揺動状態の違いに伴う運動量輸送機構の変化を模式的に示したのが図-5であり、同図は外部高速流体の内部領域への侵入強さは揺動状態に依存し、揺動が活発なほど高速流体は群落深くまで入り込むことを説明している。

[参考文献]: (1) 室田・福原, 第28回水理講演会論文集, 1984

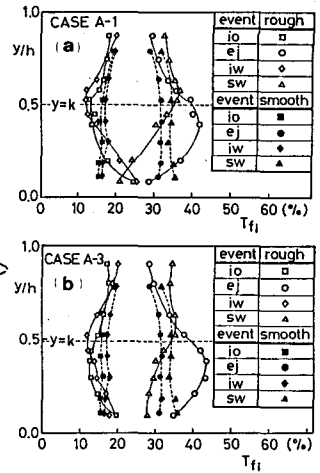


図-3 時間占有率

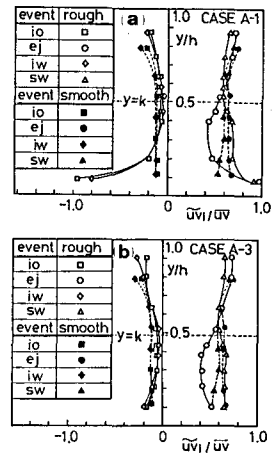


図-4 $\overline{uv}$ への貢献度

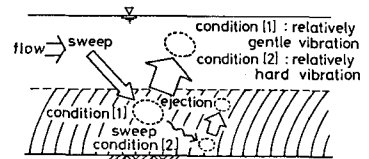


図-5 運動量輸送機構の概念図