

II-310

植生の存在する流れ場の流速分布について

東京工業大学大学院 学生員 金沢 稔

東京工業大学工学部 正 員 池田 駿介

1. はじめに

近年、河川環境の重要性が認識されるようになり、植生が存在するような場の水理学的特性の解明が強く望まれている。水田の上に風が吹くと、植生の組織的な変形によって穂波現象が観察されるが、穂波現象は直立性沈水植物にも見られ、乱れの構造、運動量輸送、物質の輸送などに大きな影響を与えていると考えられる。そこで本研究では穂波現象の解明の基礎として、穂波現象が発生する様な植生の場を対象とし、植生層内外の平均流速分布の理論値を求め、実験値との比較を行った。

2. 植生層内外の平均流速分布について

植生上端を鉛直座標(z)の原点とした座標系を図1のように設定し、流れ場を植生層内($z < 0$)と植生層外($z > 0$)に分けて検討する。植生層内($z < 0$)では混合距離を一定

$$l_0 = \kappa (h - d) \quad \cdots (1)$$

と仮定する。 κ はカルマン定数、 h は植生高さ、 d は見かけ上の河床面。植生の上($z > 0$)では、混合距離を

$$l = l_0 + \kappa z \quad \cdots (2)$$

とする。植生層外では混合距離モデルによって式(2)を用いて積分すると平均流速分布は以下ようになる

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln(z + h - d) + C_1 \quad (0 \leq z \leq H) \quad \cdots (3)$$

但し、 C_1 は積分定数、 u_* は植生境界面でのせん断応力を用いて定義される摩擦速度である。

一方、植生層内における運動方程式は次式で表される。

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\tau}{dz} = \frac{d}{dz} \left(K \frac{du}{dz} \right) = \frac{1}{2} a C_D u^2$$

但し、 $K = l_0^2 (du/dz)$ 、 a は単位体積に含まれる植生の投影面積、 C_D は抵抗係数。 a 、 C_D を植生層内で一様分布としてこれを解くと、次式のようになる。

$$u = C_2 e^{bz} \quad (-h \leq z \leq 0) \quad \cdots (4)$$

ここで、 $b = (a C_D / 4 l_0^2)^{1/3}$ 、 C_2 は積分定数である。式(3)、(4)を $z = 0$ で u と du/dz が一致するように定数 C_1 、 C_2 を決定する。結果は次のようになる。

$$u = \frac{u_*}{\kappa b (h - d)} e^{bz} \quad (-h \leq z \leq 0) \quad \cdots (5)$$

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{(z + h - d)}{h - d} + \frac{u_*}{\kappa b (h - d)} \quad (0 \leq z \leq H) \quad \cdots (6)$$

これは、Inoue¹⁾が仮定したcanopy-flowの平均流速分布の式と一致する。

3. 実験値との比較

実験は、長さ15m、幅40cmの循環式可変勾配水路を用いて行われた。模擬植生は横断方向に0.5cm、流下方向に1cm間隔で、長さ7mにわたって設置した。植生の長さは5cmであり、6.10ナイロンブリッスル

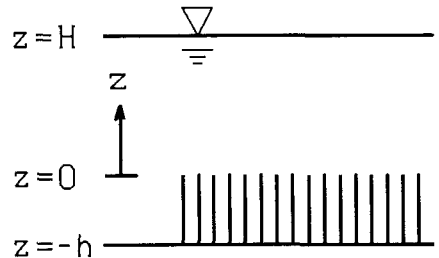


図1 流れ場の状況

表-1 実験条件の諸元

CASE	Q (l/sec)	H (cm)	S ($\times 10^{-3}$)	h (cm)
Run1	37.5	19.0	4.921	4.25
Run2	40.0	16.5	6.412	4.00
Run3	24.6	17.1	2.782	4.25

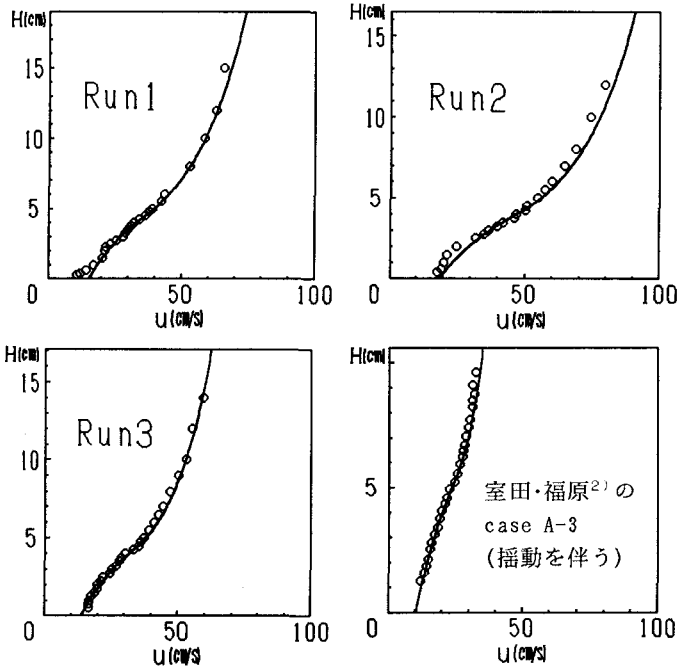


図2 理論値と実測値の比較（揺動を伴う場合）

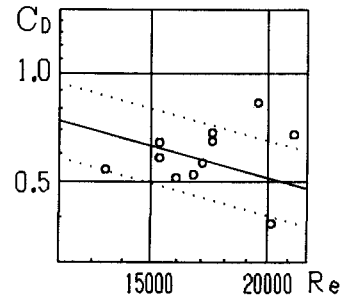


図3 抵抗係数 C_D と Re との関係
（点線は室田らの実験値の範囲）

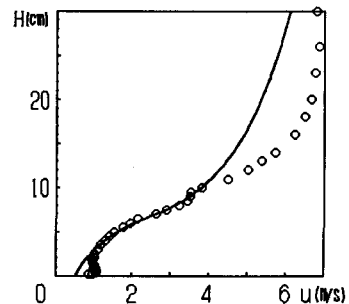


図4 理論値と実測値の比較
（揺動を伴わない場合）

（東レモノフィラメント社製）を用いたが、水流の変化に追従する柔軟性を有している。流速の測定はピトー管を用いて行った。実験値Run1～3、室田・福原²⁾の case A-3（揺動を伴う）と式(5)、(6)との比較の結果を図2に示す。Run1～3の実験条件の諸元は表-1のとおりである。なお、式(5)、(6)の b と d は植生境界面 $z = 0$ での実験値の流速から決定した。図2を見ると、底面付近と水面付近ではやや異なるものの、植生の揺動を伴う流れ場ではどのケースでも理論値は実験値をよく表しているのがわかる。抵抗係数 C_D とレイノルズ数 ($Re = v \cdot h / \nu$, v は断面平均流速) との関係は図3に示すとおりで、これは実線で示されている植生の揺動を伴う場合の室田・福原²⁾の結果と比べても概ね一致している。

式(5)、(6)は、植生の揺動の効果を特に考慮していないので、揺動を伴わないケースでの実験値との比較をしてみる。実験は長さ9m、高さ43cm、幅15cmの風洞を用いたもので、植生模型は高さ7cm、直径5mmの円柱木材を横断方向に3cm、縦断方向に2cm間隔で、長さ3mにわたって配置した。結果を図4に示す。揺動を伴う場合と比べると明らかに理論値と実験値との差が大きい。水流を用いた揺動を伴わない別の実験例³⁾についても比較したが、いずれも理論値と実験値は、植生の揺動を伴う場合ほどは一致しなかった。

式(5)、(6)は、混合距離を最も単純に植生層内で一定とただけで、植生の揺動の効果を特別に考慮していない。しかし、穂波現象が発生するような流れ場の平均流速分布は式(5)、(6)により良好に説明できることがわかった。今後は、実験ケースを増やして検討を深めたい。

参考文献

- 1) Inoue, E.: On the turbulent structure of airflow within crop canopies, Jour. Meteorological Society of Japan, Ser. 2, Vol. 41, pp. 317-326, 1963.
- 2) 室田・福原: 直立性の植物を有する開水路の流れ構造について, 第28回水理講演会論文集, pp. 225-231, 1984.
- 3) 清水・辻本・中川・北村: 直立性植生層を伴う流れ場の構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第438号, pp. 31-40, 1991.