

樹林帯における流れの抵抗特性に関する研究

九州大学大学院 学生員 玉松 潤一郎 九州大学工学部 フェロー 平野 宗夫
九州大学工学部 正 員 橋本 晴行 九州大学工学部 学生員 神岡 稚子

1.はじめに

樹林帯の役割には、山腹斜面では土砂の生産・流出の抑制など、堤防沿いには破堤や氾濫水の減勢などが挙げられる。その効果についてはこれまで研究が行われてきたが、いまだ定量的な評価を得るには至っていない。著者らは、これまで実験水路内に樹林帯の模型を設置し、土砂・水混相流に対する樹林帯の抗力係数や、土砂堆積の特性について調べてきた^{1) 2)}。本研究では、特に樹林帯における流れの抵抗特性を調べるため、その手始めとして清水流の流速分布実験を行った。

2.実験方法

実験に使用した水路は、全長12m、幅15cmで片側アクリライト製の可変勾配水路である。下流側9mを固定床とし、下流端から5mの区間には全水路幅にわたって樹木の模型を設置して樹林帯とした(図-1)。なお、樹木の模型には直径D=5.0mm、4.0mm、2.0mmのステンレス丸棒を用い、樹木の中心間隔は6cm、3.3cmの2種類で千鳥状に配置した。樹林帯密度 λ (河床単位面積に占める樹木の断面積)、密生度a(流体単位体積あたりの樹木の遮蔽面積)は表-1のようになる。実験では、上流端から単位幅流量 q_b の水を供給し、樹林帯の下流端から各距離で等流状態を確認し、直径3mmの小型プロペラ流速計を用いて、10Hzで、約240秒間計測した。実験条件を表-2に示す。ここに θ は水路勾配である。また、 $\bar{u}$ を断面平均流速として $Fr = \bar{u} / \sqrt{gh}$ 、 $Re = \bar{u}D / \nu$ である。計測は水路中心部で図-2に示すようにa~iの9点で行った。

3.実験結果と考察

樹林帯の密度が流速分布に与える影響をみるため、空間平均を施した流速分布が図-3、4である。 $\theta = 1^\circ$ の場合も $\theta = 3^\circ$ の場合も、樹林帯の密生度aが小さくなると流速は速くなっている。また、流速分布は水表面で若干早くなるが、ほぼ一様な分布を示している。しかし、 $\theta = 3^\circ$ において樹林帯密度 λ 、密生度aがともに最も小さな樹林帯Eでは $Fr = 1.99$ で逆に表面ほど遅くなっている。

次に、樹林帯の抵抗を考慮した運動方程式は次の通りである³⁾。 図-3 空間平均した流速分布図 ($\theta = 1^\circ$)

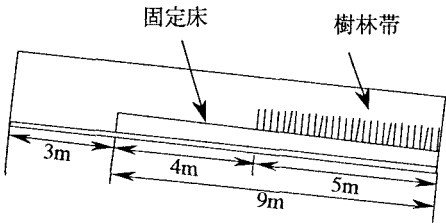


図-1 清水流の流速分布測定のための水路

表-1 樹木の模型

種類	C	D	E	F
D(mm)	4.0	2.0	2.0	5.0
λ	7.0×10^{-3}	5.7×10^{-3}	1.7×10^{-3}	1.1×10^{-2}
a(1/cm)	0.0222	0.036	0.0111	0.028

表-2 流速分布測定のための実験条件

種類	C	D	E	F
q_b (cm^2/s)	200	200	200	200
θ ($^\circ$)	1 $^\circ$ 3 $^\circ$	1 $^\circ$ 3 $^\circ$	1 $^\circ$ 3 $^\circ$	1 $^\circ$ 3 $^\circ$
測定位置 下流端より	108 cm 228 cm	108 cm 250 cm	108 cm 228 cm	108 cm 252 cm
Fr	0.48 1.17	0.38 0.76	0.78 1.99	0.42 0.87
Re	1420 2580	608 972	986 1845	1635 2646

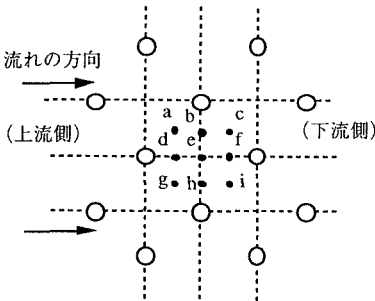


図-2 測定位置の模式図

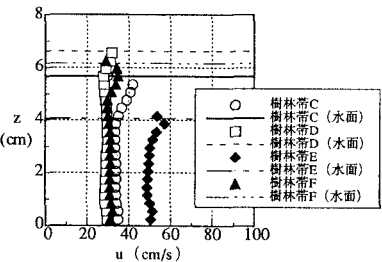


図-3 空間平均した流速分布図 ($\theta = 1^\circ$)

$$(1-\lambda)\rho g \sin \theta = -(1-\lambda)\frac{d\tau}{dz} + \frac{a}{2}u^2aC_D$$

ここで、剪断力 ($\tau = \rho \epsilon du/dz$) 及び渦動粘性係数 ($\epsilon = u_* h \kappa / 6$) を用いて変形すると

$$(1-\lambda)\rho g \sin \theta = -(1-\lambda)\rho u_* h \kappa \frac{1}{6} \frac{d^2u}{dz^2} + \frac{\rho}{2} u^2 a C_D \quad (1)$$

ここに、 g : 重力加速度、 h : 水深、 C_D : 樹木の抗力係数、 ρ : 密度、 u_* : 樹林帯内の摩擦速度、 λ : 樹林帯密度、 a : 密生度、 κ : カルマン定数である。

また、水面で剪断力がないことから次の式が成り立つ。

$$z = h, u = u_s, \partial u / \partial z = 0 \quad (2)$$

ここに、未知数である u_s は水面における流速である。ここで、運動方程式より剪断力の勾配 ($d\tau/dz$) が負であるためには

$$u \leq \sqrt{\frac{2(1-\lambda)}{a C_D} g \sin \theta}$$

である必要がある。従って、水面における流速 u_s として次式を仮定する。

$$u_s = \sqrt{\frac{2(1-\lambda)}{a C_D} g \sin \theta} \quad (3)$$

u_s に実験値を用い抗力係数 C_D を求め、(1)～(3)式を反復法によりを解き、実験値と合致したものを解とする。図-5は理論式より求めた流速分布と実験値を比較したものである。流速分布が一様化することが理論的にも示されている。また、このとき $u_* / \sqrt{g h \sin \theta}$ も求めることができる。

上記の結果より求められた抗力係数 C_D と密生度 a との関係を表したものが図6である。密生度 a 、及び勾配が変化しても抗力係数 C_D はほぼ1付近の値をとることがわかった。

また、 $u_* / \sqrt{g h \sin \theta}$ と密生度 a との関係を表したものが図7である。密生度 a が変わっても、 $u_* / \sqrt{g h \sin \theta}$ の値は0.50付近であることがわかった。これは、抵抗として、樹木の抗力と河床の摩擦とがそれぞれ約半分づつであることを示している。

4. 結論

本研究で得られた結果は以下の通りである。樹林帯の密生度 a が小さくなると流速は速くなる。また、鉛直方向の流速は、一様な分布を示す。密生度 a 、及び勾配が変化しても抗力係数 C_D は1付近の値をとる。また、樹林帯内の抵抗として、樹木の抗力と河床の摩擦とがそれぞれ約半分づつであることをがわかった。最後に、実験において九州大学工学部の池松伸也技官には多大の助力を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 平野・橋本・多川・玉松：樹林帯に作用する土砂・水混相流の流体力と土砂堆積, 水工学論文集, 第41巻, 1997
- 2) 平野・橋本・玉松・中村：樹林帯における流れの濃度・速度分布に関する研究, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 第II部, 1997
- 3) 渡邊・北条・清水：樹木の存在する河道の流況特性, 水工学論文集, 第35巻, 1991

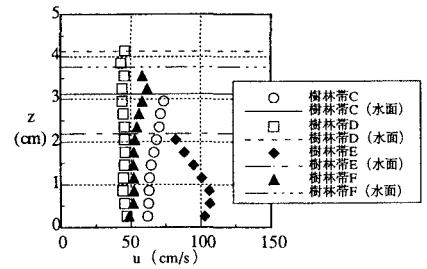


図-4 空間平均した流速分布図 ($\theta = 3^\circ$)

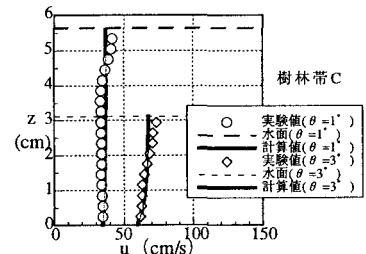


図-5 流速分布の実験値と理論値との比較

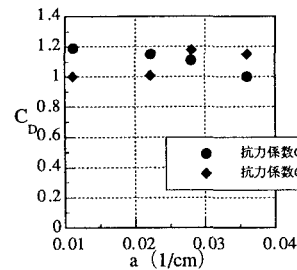


図-6 抗力係数 C_D と密生度 a との関係

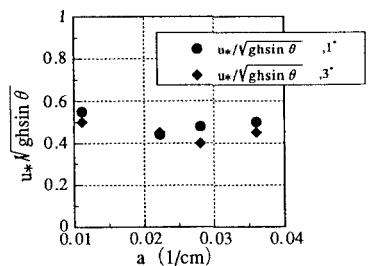


図-7 $u_* / \sqrt{g h \sin \theta}$ と密生度 a との関係