

Ⅱ-213 樹林帯における流れの濃度・速度分布に関する研究

九州大学大学院 ○学生員 玉松 潤一郎 九州大学工学部 正 員 平野 宗夫
九州大学工学部 正 員 橋本 晴行 鹿児島市役所 中村 拓史

1.はじめに

樹林帯は土石流などの土砂災害に対して土砂流出制御の観点から注目され、その効果について研究が行われてきたが、いまだ定量的な評価を得るまでには至っていない。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⁾。本研究は、樹林帯における流れの内部機構、特に濃度・速度分布について、実験により調べたものである。

2.実験方法

本研究では清水流の流速分布実験および、混相流の濃度分布実験を行った。実験に使用した水路は、全長12m、幅15cmで片側アクリルライト製の可変勾配水路である。清水流の流速分布実験では下流側10mを固定床とし、下流端から3m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）。また、混相流の濃度分布実験では、上流側7mを移動床、下流側5mを固定床とし、さらに下流端から3mの区間には全水路幅にわたって樹林帯を設置した（図-2）。なお、樹木の模型には直径 $D=5.0\text{mm}$ 、 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のようである。

流速分布実験では、上流端から単位幅流量 q_p の水を供給し、樹林帯の上流端から 2.5m 程下流で等流状態を確認し、直径 3mm の小型プロベラ流速計を用いて、 10Hz で、約 240 秒間計測した。実験条件を表-2に示す。計測は水路中心部で図-3に示すように $a\sim i$ の9点で行った。

濃度分布実験では、河床材料として、粒径 $d=0.17\text{mm}$ 、密度 $\sigma=2.61\text{g/cm}^3$ の均一な砂を用いた。まず、水路に河床材料を敷き、所定の勾配 θ_0 に設定した後、上流端から単位幅流量 q_p の水を供給した。その結果、土砂・水の混相流が発生し、樹林帯内に流入した。下流端から 0.53m 、 0.515m 、 0.50m の位置に円管を設置してサイフォン方式で採水した。用いた円管は、内径 4mm 、外径 5mm の銅製で、中心間隔 1cm で垂直方向に4本配置した。計測は図-3に示す a, b, c の3点で行った。実験条件を表-3に示す。

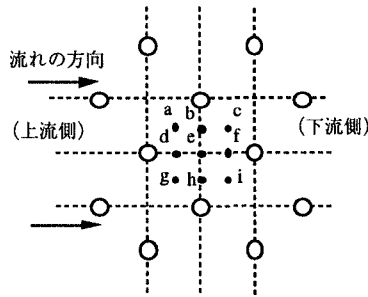


図-3 測定位置の模式図

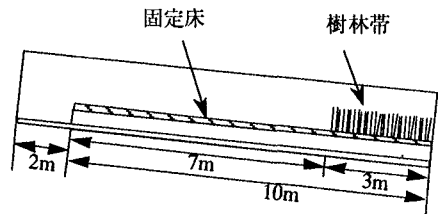


図-1 清水流の流速分布測定のための水路

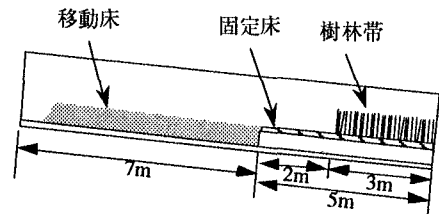


図-2 混相流の濃度分布測定のための水路

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}
$a(1/\text{cm})$	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	$q_p (\text{cm}^2/\text{s})$	$\theta_0 (^\circ)$
C	200	3
	320	6
D	200	3
E	200	3
F	200	3

表-3 濃度分布測定のための実験条件

種類	d(mm)	$q_p (\text{cm}^2/\text{s})$	$\theta_0 (^\circ)$
C	0.17	200	6,8,10
E	0.17	200	6,8,10
F	0.17	200	6,8,10

流砂、土石流、樹林帯、流体力

〒812-81 福岡市東区箱崎6-10-1 電話 (092) 642-3288 FAX (092) 642-3322

3. 実験結果と考察

3.1 清水流の流速分布

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-4である。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。樹林帯C, D, Fで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。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²⁾。

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

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_* ：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、水面で剪断力がなく、河床で剪断力が河床摩擦とつりあうことから、次の式が成り立つ。

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

$$z=0, u=u_0, \partial u / \partial z=6u_* / \kappa h \quad (3)$$

$$u_s = \sqrt{\frac{2(1-\lambda)}{a C_D} g \sin \theta} \quad (4)$$

ここに、 u_s ：水面における流速、 u_0 ：河床における流速である。

(1)～(4)式を反復法によりを解き、流速分布を求めたのが図-5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。

3.2 混相流の濃度分布

樹林帯Cにおいて、測点aでの濃度分布を勾配毎に示したのが図-6である。また、測定された濃度分布は測点a, b, cの違いによる差異は見られなかった。実験によると勾配が大きくなるにつれて濃度分布は一様化することがわかる。

図-7は図-6の $\theta=6^\circ$ の濃度分布を正規化し、樹林帯がある場合とない場合とを比較したものである。樹林帯がある場合もない場合も、濃度分布はほぼ同様の分布を示していることが分かる。一方、Rouse分布曲線との比較も行ったが、樹林帯が存在するとRouse分布曲線とは一致しないという結果となった。

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。濃度分布は、勾配が大きくなるにつれて一様化する。また、樹林帯がある場合もない場合も、濃度分布はほぼ同様の分布を示す。最後に、実験において九州大学工学部の池松伸也技官、及び当時同大学工学部生の草場浩平氏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) 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

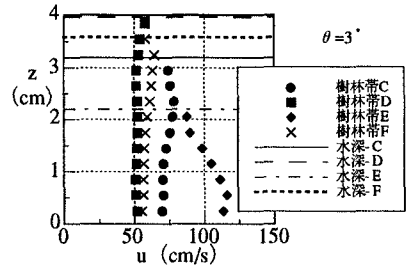


図-4 空間平均した流速分布図

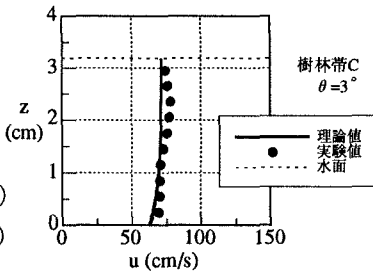


図-5 流速分布の実験値と理論値との比較

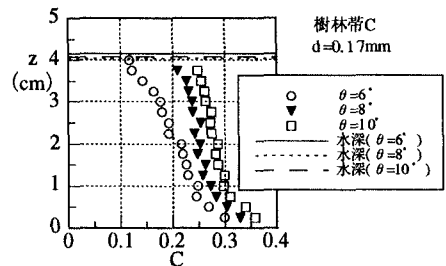


図-6 測点aにおける濃度分布図

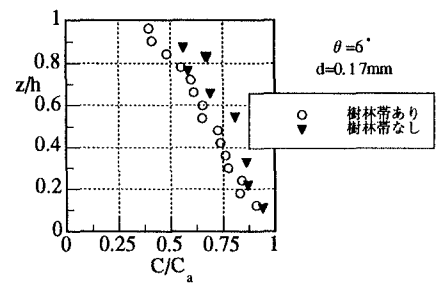


図-7 樹林帯がある場合とない場合との比較