

93 樹林帯における掃流状集合流動の土砂堆積

九州大学工学部 ○橋本 晴行
 九州大学工学部 平野 宗夫
 九州大学大学院 玉松潤一郎
 九州大学大学院 草場 浩平

1. はじめに

樹林帯は水害防備林、飛砂防備林、防雪林など防災的機能を持つものとして古くから利用されてきたが、最近、自然環境的な側面からも注目されるようになり、その機能について定量的な研究が行われるようになってきた。土石流や土砂流などの土砂災害に対しても、良好な環境空間を創造しつつ、土砂堆積を促進して下流域への土砂流出を防ぎ、地域の安全を計るものとして、各地で樹林帯が計画されている。その際、土石流や土砂流などと樹林帯との相互作用に関する定量的な評価が必要となるが、これについては2~3の研究があるだけで^{1,2)}、定量的な評価までには至っていない。

著者らは、これまで、水路に樹林帯の模型を設置し、土砂と水の固液二相流を流入させて、樹林帯の抗力係数を調べる研究を行ってきたが³⁾、本研究はさらに樹林帯内の堆砂状況を調べる実験を行い、河床変動計算の結果と比較し、樹林帯密度の効果を調べたものである。

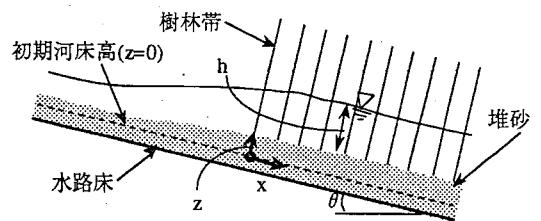


図-1 水路の模式図

表-1 樹林帯の諸元

樹林帯のタイプ	A	B	C
D(mm)	5	4	2
$\lambda \times 10^3$	11.0	7.0	1.7
a(1/cm)	0.0278	0.0222	0.0111

2. 実験方法

実験に使用した水路は、全長12m、幅15cmで片側アクリルライト製の可変勾配水路である。全長を移動床とし、そのうち下流端から3mの区間に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

にその模式図を示す。河床材料として、粒径 $d=0.84\text{mm}$ 、密度 $\sigma=2.62\text{g/cm}^3$ の均一な粗砂を用いた。また樹林帯の模型は、直径Dのステンレス丸棒を樹木間隔6cmで千鳥状に配置したものである。樹林帯の模型の諸元は、表-1の通りである。ここに、 λ は樹林帯密度（河床単位面積に占める樹木の面積）、 a は密生度（単位体積あたりの樹木の遮蔽面積）である。実験では、上流端で単位幅当たり $q_p=200\text{cm}^2/\text{s}$ の水量を供給した。上流側で土砂・水の二相流が発生流下し、樹林帯内で堆砂が発生した。この状況について下流端の3.8mの区間に渡ってビデオカメラを用いて撮影し、河床高や水位の変化を調べた。

3. 実験結果

図-2, 3, 4は、それぞれ樹林帯A, B, Cについて、堆砂形状の時間的変化を示したものである。ここに、 $t=0$ は流れの先端が樹林帯上流端に到達した時刻であり、 x は水路床に沿って取られた流れ方向の座標で、樹林帯上流端を原点とする。堆砂のピークの発生位置は各ケースにおいてほぼ一定で、時間的にはほとんど移動しない。最初はピークの位置より下流側に多く堆積するが、時間の経過とともに上流側に多く堆積するようになる。樹林帯密度が大きい場合は局所的に堆積し、樹林帯密度が小さい場合は広範囲に堆積する。また水路勾配が大きくなると、流砂量が大きくなるために急激な堆積が発生する。

4. 河床変動計算

樹林帯における1次元の運動方程式、全相の連続式、流砂の連続式および流砂量式をそれぞれ以下に示す。

$$\frac{\partial q_t}{\partial t} + \frac{\partial v q_t}{\partial x} = (1 - \lambda)gh \left[\sin \theta - \frac{\partial(h+z)}{\partial x} \cos \theta \right] - (1 - \lambda) \frac{v^2}{\phi^2} - \frac{1}{2} v^2 C_{Dah} \quad (1)$$

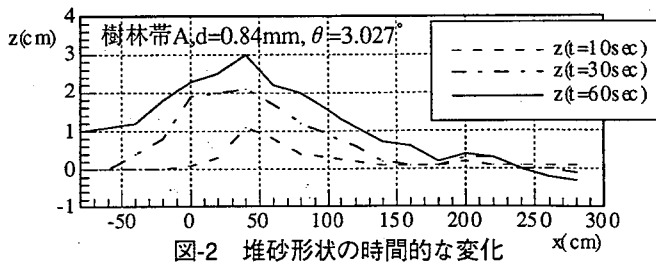


図-2 堆砂形状の時間的な変化

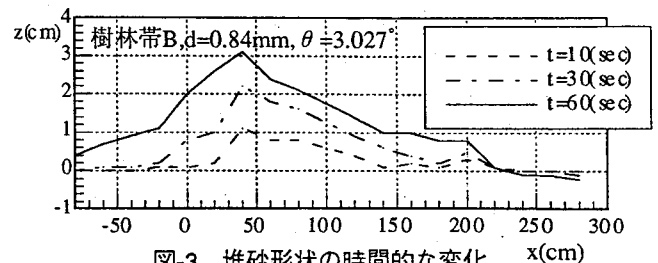


図-3 堆砂形状の時間的な変化

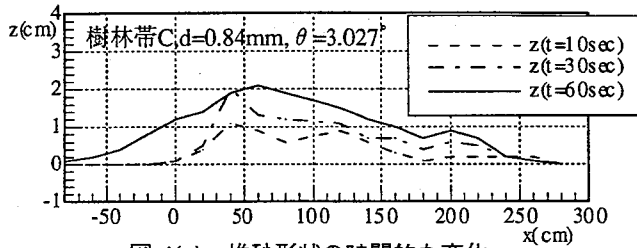


図-4(a) 堆砂形状の時間的な変化

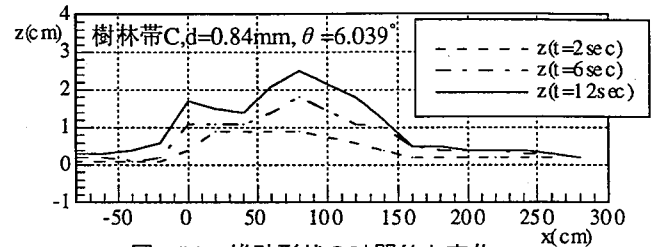


図-4(b) 堆砂形状の時間的な変化

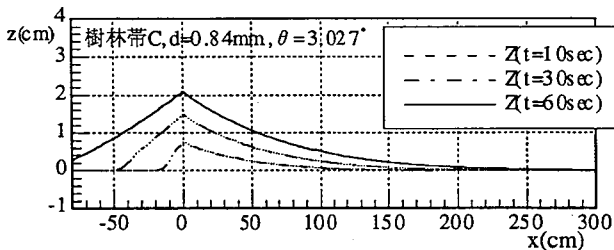


図-5(a) 堆砂形状の計算結果

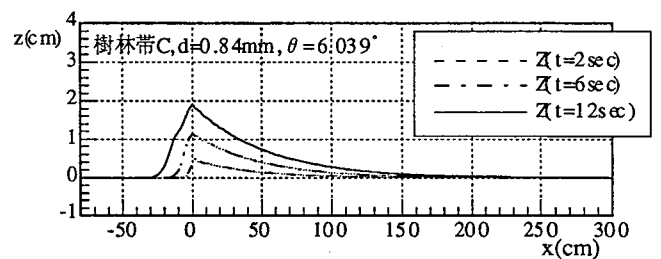


図-5(b) 堆砂形状の計算結果

$$(1 - \lambda) \frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial q_t}{\partial x} = 0 \quad (2) \quad (1 - \lambda) \frac{\partial(C_*z)}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (3) \quad \frac{q_s}{\sqrt{sgd^3}} = 4.7 \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_*c}{\tau_*}\right) \frac{1}{(\alpha - I_f)} \quad (4)$$

ここに ϕ は流速係数である。抗力係数 $C_D=1.0$ とおいた。また、流砂量式は橋本・平野⁴⁾の式を不定流に拡張したものであり、 α は粒子間応力に関する係数、 I_f は摩擦勾配である。差分化にはMacCormack法を用いた。計算区間は $x=-100\sim 300(\text{cm})$ である。初期条件としては、まず、流砂量 $q_s=0$ の清水の場合について全区間で定常状態となるまで計算を行い、この計算結果の水深 h と全流量 q_t を初期値とした。また河床高は $z=0$ とした。境界条件としては、 $x=-100\text{cm}$ において一定な全流量 q_t と等流水深を与え、河床高に関しては $z=0$ とした。下流端の $x=300\text{cm}$ では通常のボックス型差分を陽解法となるように修正して用いた。計算格子間隔は $\Delta x=2\text{cm}$ 、 $\Delta t=0.01\text{sec}$ とした。図-5(a)、(b)は樹林帯Cの場合の計算結果である。堆積高のピークは実験値とほぼ等しい結果となったが、その発生位置は、実験では $x=50\text{cm}\sim 100\text{cm}$ 付近になるが、計算では掃流力の急減する樹林带上流端の $x=0\text{cm}$ となった。これは、計算モデルにおいて流砂の非平衡性が考慮されていないからと考えられる。また、図は省略するが、樹林帯密度が小さい場合は広範囲に堆積し、大きい場合は局部的に堆積する結果となり、実験結果を良く説明している。

5. おわりに

以上、樹林帯における移動床実験を行い、樹林帯密度が大きくなると、局所的に堆積し、小さくなると広範囲に堆積することが分かった。数値計算の結果は、実験結果を概ね表すことができたが、堆砂のピークの位置は樹林带上流端となり、実験とは異なる結果となった。

参考文献

- 1)阿部和時・岩元賢・三森利昭：樹林帯の土砂流出防止機能について、昭和62年度砂防学会研究発表会概要集，1987。
- 2)水山高久・天田高白・栗原淳一・小林幹男：樹林帯の抵抗特性と土砂堆積促進効果，新砂防，vol. 42，No. 4，1989。
- 3)平野宗夫・橋本晴行・多川博章・玉松潤一郎：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。
- 4)橋本晴行・平野宗夫：掃流状集合流動の抵抗則と流砂量，土木学会論文集，No.545/II-36，pp. 33-42，1996。