

II-280

樹林帯における土砂堆積の数値計算について

九州大学大学院 学生員 多川 博章
九州大学工学部 正会員 平野 宗夫
同 上 正会員 橋本 晴行

1. はじめに

樹林帯は防災的機能を持つものとして利用されており、水理学的には大きな粗度集団と考えることが出来る。土石流等が河道からあふれだした場合、居住区域との間に樹林帯を設けることにより、樹林帯内に流出土砂を堆積させ、居住区域内での被害を最小限に食い止めることが出来る。樹林帯のような防災施設は、人工構造物を使用せずに設置でき、自然環境の保護という面からも今後ますます盛んになると思われる。また、数値計算によって土砂堆積現象を再現することは、樹木の配置や大きさを決定する際に大変重要になる。そこで本研究は、土砂輸送形態が掃流砂の場合について、1次元での河床変動計算を樹林帯の内外に対して行い、樹林帯の特性パラメータの変化が土砂堆積に及ぼす効果について調べたものである。

2. 基礎式

図-1は今回計算に用いた樹林帯モデルの概略図である。樹林帯内における運動方程式、連続式はそれぞれ次のように表される。

$$\frac{\partial q_t}{\partial t} + \frac{\partial v q_t}{\partial x} = \rho_t (1 - \lambda) g h \left[\sin \theta_0 - \frac{\partial(h+z)}{\partial x} \cos \theta_0 \right] - \rho_t (1 - \lambda) \frac{v^2}{\phi^2} - \frac{\rho_t v^2 C_D a h}{2} \quad (1)$$

$$(1 - \lambda) \frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial q_t}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$(1 - \lambda) \frac{\partial(C \cdot z)}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

ここに、 t ：時間、 x ：河床方向に沿う流れ方向の座標、 θ_0 ：水路床勾配、 q_t ：総流量、 h ：水深、 z ：土砂堆積厚、 λ ：樹林帯密度（河床単位面積に占める樹木の断面積）、 a ：密生度（流体単位体積あたりの樹木の遮蔽面積）、 ϕ ：流速係数、 C_D ：抗力係数、 g ：重力加速度、 C ：堆積層における粒子濃度で $C_s = 0.6$ 、 q_s ：掃流砂量、 $\rho_t = \sigma C + \rho(1 - C)$ である。

流砂量式は、急勾配河道に適した橋本・平野の式¹⁾を若干変形した次式を用いる。

$$\frac{q_s}{\sqrt{s g d^3}} = \frac{14}{3} \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(\frac{1}{\alpha - I_f} \right) \quad (4)$$

ここに、 s ：土粒子の水中比重、 d ：粒径、 τ_* ：無次元掃流力、 τ_{*c} ：限界掃流力、 I_f ：摩擦勾配、 α ：粒子間の衝突に関する係数で $\alpha = 0.873$ である。

3. 数値計算法と初期・境界条件

基礎式(1)～(3)においては未知数は全流量 q_t 、水深 h 、河床高 z の3個である。差分化にはMacCormack法を用いた。計算対象区間は $x = -100\text{cm} \sim 200\text{cm}$ の区間である。区間 $x = -100\text{cm} \sim 0\text{cm}$ は樹林帯のない固定床とし、座標原点 $x = 0\text{cm}$ を樹林帯の上流端とする。

初期条件としては、流砂量 $q_s = 0$ の清水流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 を初期値とする。また、河床高については $z = 0$ を初期値とする。

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 $\partial z / \partial x = 0$ とした。下流端の $x = 200\text{cm}$ ではボックス型差分を陽解法となるように変形したものをを用いた。

計算格子間隔は、計算区間の全縦断面にわたりクーラン数が1以下であるように $\Delta x = 2\text{cm}$ 、 $\Delta t = 0.01\text{sec}$ とした。

4. 計算結果および考察

(1) 清水流の場合

まず、計算手法の妥当性を検証するために、清水流の場合について計算を行った。樹林帯特性パラメータは樹林帯密度 $\lambda = 0.011$ 、密生度 $a = 0.0336(1/\text{cm})$ である。抗力係数 C_D 、流速係数 ϕ および境界条件は表-1に示す。図-2にその計算結果と実験値²⁾との比較を示す。

$\theta = 3^\circ$ の場合、射流から常流に跳水を伴って遷移しており、跳水の発生位置もほぼ一致している。 $\theta = 6^\circ$ の場合は、上流端付近を除いて、大部分で両者は一致している。また、流れの全領域で射流となっており跳水は発生していない。

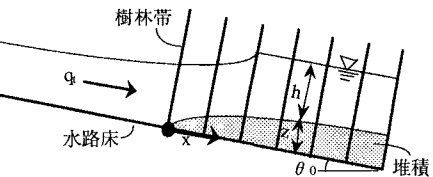


図-1 樹林帯モデル概略図

表 - 1

θ	C_D	ϕ	q_t	h
3°	1.08	17.9	264cm ² /s	1.62cm
6°	0.96	16.5	298cm ² /s	1.58cm

(2) 掃流砂流の場合

樹林帯密度 $\lambda=0.007$ ，密度 $a=0.0222(1/\text{cm})$ の場合について，抗力係数 C_D を変化させて式(1)～(3)の数値計算を行い，土砂堆積に対するその効果を調べた．境界条件は流量 $q_t=208\text{cm}^2/\text{s}$ ， $h=1.91\text{cm}$ とした．この樹林帯モデルは，直径4.0mmの円柱を3cm間隔で千鳥状に配置したものに相当する．限界掃流力 τ_{*c} の値は，岩垣式より求め0.034とした．計算条件を表-2に示す．

表 - 2

θ	d	σ	C_D	ϕ	q_t	h
3°	0.87mm	2.62g/cm ³	1.0, 1.5	11	208cm ² /s	1.91cm

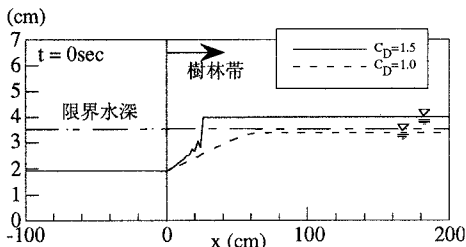


図 - 3 初期状態の水面形

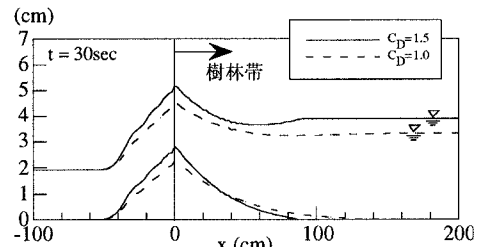


図 - 4 抗力係数を変化させた場合の堆砂形状

図-3は，初期状態の水面形の計算結果で，樹林帯上流端を $x=0\text{cm}$ としている．なお，抗力係数 C_D の値は1.0，1.5と変化させている． $C_D=1.0$ の場合は射流のまま樹林帯内において緩やかに水深が増加しているが， $C_D=1.5$ の場合は樹林帯内において射流から常流への遷移がみられ， $x=20\text{cm}$ 付近で跳水が発生している．この結果を初期値として30秒後の堆砂形状を計算したものが図-4である． $C_D=1.0$ ，1.5いずれの場合も，樹林帯上流端付近で最も土砂が堆積している． C_D の値が大きい場合は，最大土砂堆積厚は増加するが，堆積長は逆に減少することが分かる．

次に，樹林帯密度 λ が堆砂形状に与える影響をみるために， λ と密度 a のみを変え，その他のパラメータは固定して数値計算を行った．すなわち $\lambda=0.0017$ ， $a=0.0111(1/\text{cm})$ とした．このモデルは直径2.0mmの円柱を3cm間隔で千鳥状に配置したものに相当する．つまり，樹木の配置間隔は変化させず，樹木の直径を半分にしたものである．計算結果を図-5に示す．樹林帯密度を小さくすると，最大土砂堆積厚に減少がみられ，堆積長は増加することが分かる．

5. おわりに

以上，樹林帯内における運動方程式と連続式をMacCormack法を用いて差分化し，樹林帯モデルに適用して掃流砂による1次元河床変動計算を行った．また，抗力係数および樹林帯密度を変化させて堆砂形状の変化を調べた．その結果，水流の場合は実験値に良く一致しており，堆砂形状は実験値と比較していないが，樹林帯の持つ特性を良く表していた．今後は，堆砂形状の実験値との比較，および浮流砂を含めた河床変動計算を行っていく予定である．

参考文献

- 1) 橋本晴行・平野宗夫：急勾配水路における流量と抵抗則，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第2部(A)，2) 鳥廻健司・平野宗夫・橋本晴行：樹林帯における土砂・水混相流の抵抗則と土砂堆積，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第2部(A)，1995，3) 岡部健士・高橋邦治・穴瀬康雄：MC法を用いた1次元開水路流れの数値計算法，徳島大学工学部研究報告，No.38，1993．