

II-119 樹林帯を伴う開水路流れの底面剪断力に関する研究

九州大学大学院 学生員 火箱 貴文 九州大学大学院 正員 橋本 晴行
 東京建設コンサルタント 正員 碓 正敬 九州大学大学院 学生員 Kichan Park
 NTT 鹿児島支店 正員 玉松 潤一郎 流域環境研究所 フェロー 平野 宗夫

1. はじめに

樹林帯は良好な環境空間を創造するとともに防災的機能も備えているという点で注目されている。しかしながら、その効果については従来より多くの研究が行われてきたが、定量的な評価を得るまでには至っていない。本研究は、樹林帯内における有効摩擦速度について検討したもので、流砂が存在する場合は掃流砂量を測定することで、流砂が存在しない場合は流速分布を測定することにより有効摩擦速度と樹林帯特性パラメータとの関係を調べたものである。

2. 掃流砂量の測定に基づく底面剪断力

(1) 実験方法

樹林帯内での掃流砂量 q_s を調べるために実験を行った。実験に用いた水路は、全長 12m、幅 15cm の片側アクリルライト製可変勾配水路である。実験では、下流端から 9m の区間に全水路幅にわたって樹木の模型を設置した。河床材料は粒径 $d=0.55, 0.84, 1.9\text{mm}$ ($\sigma/\rho=2.61\sim 2.65$) の 3 種類の砂であり、粒径が 0.84, 1.9mm の時は、下流端から 8m まで敷厚 5cm、0.55mm の時は下流端から 9m まで敷厚 3cm の移動床とした。樹木の模型には直径 D のステンレス丸棒を用い、樹木の中心間隔は 6cm で千鳥状に配置した。ここに樹林帯密度 λ （河床単位面積に占める樹木の断面積の割合）、密生度 a （流体単位体積あたりの樹木遮蔽面積）は表-1 のようになる。実験では上流端から単位幅流量 $q_0=200\text{cm}^2/\text{s}$ の水を供給し、樹林帯に流入した流れが等流状態になったことを確認した後、下流端において流れを採取し、流量及び流砂量をそれぞれ測定した。また、側方からはビデオカメラを用いて樹林帯内での流動深及び流れの状況を撮影した。

(2) 実験結果

図-1 は、流砂量の測定値を樹林帯のタイプごとに表したものである。ここに s は粒子の水中比重である。また h を水深として見かけの摩擦速度は $u_{*0}=\sqrt{gh \sin \theta}$ である。同図中には比較のため、橋本・平野²⁾らによって提案されている急勾配河道における等流条件下での掃流砂量式

$$\frac{q_s}{\sqrt{s g d^3}} = 4.7 \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \frac{1}{(\alpha - \tan \theta) \cos \theta} \quad (1)$$

の計算結果も無次元掃流力 τ_* を横軸にして示している。

また $\theta=1.06^\circ, 3.027^\circ$ の実験結果も比較のため載せた。ここに、 τ_* は無次元掃流力、 α は粒子間応力に関する係数で河床砂の比重を $\sigma/\rho=2.65$ とおくと $\alpha=0.875$ となる。また無次元限界掃流力 $\tau_{*c}=0.05$ とした。実験値はいずれも式 (1) の計算値より小さくなり、粒径が小さくなるにつれてより計算式の値に近付くことが分かる。樹林帯密度 λ が大きくなるほど流砂量は小さくなり、また有効摩擦速度 u_* は見かけの摩擦速度 $u_{*0}=\sqrt{gh \sin \theta}$ より小さくなっていることが分かる。

キーワード 樹林帯、底面剪断力

表-1 樹林帯の種類とその特性

種類	C	E	F
D(mm)	4.0	2.0	5.0
λ	7.0×10^{-4}	1.7×10^{-3}	11×10^{-3}
a(1/cm)	0.0222	0.0111	0.028

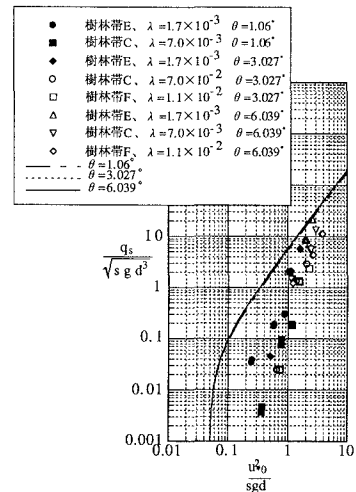


図-1 樹林帯における掃流砂量

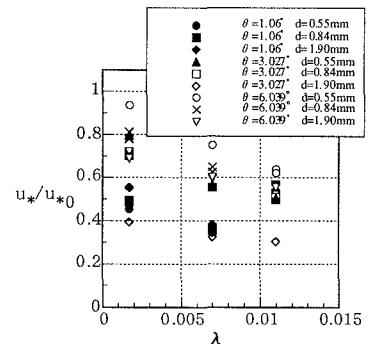


図-2 有効摩擦速度と樹林帯密度との関係

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院工学研究科（水工） TEL 092-642-3289

図-2は、式（1）に流砂量 q_s の実験値を代入して τ_* より有効摩擦速度 u_* を逆算し、 u_{*0} との比を求めたものである。樹林帯密度 λ が大きくなると、 u_*/u_{*0} の値は小さくなることから、また、断面平均流速を $\bar{u}$ として式（1）より逆算した有効摩擦速度 u_* を用いて流速係数 $\phi=\bar{u}/u_*$ を求めると流速係数 ϕ は、通常知られている清水流の場合の値よりは小さく、急勾配における流砂を伴う流れの流速係数とは同程度の値となっている。また樹林帯密度 λ が大きくなると小さくなる傾向がある。

3. 清水流の流速分布測定に基づく底面剪断力

(1) 実験方法

2.の実験で用いた水路と同じ水路を用いて清水流における樹林帯内の流速分布の測定を行った。³⁾下流端から長さ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。この樹林帯の底面には滑面と粒径 $d=0.84\text{mm}$ の砂を貼った粗面の2種類を用いた。樹木の模型には2.の実験で用いたものと同じものを用い、樹木の中心間隔は6cm、3.3cmの2種類で千鳥状に配置した。実験では、上流端から単位幅流量 $q_b=200\text{cm}^2/\text{s}$ の水を供給し、樹林帯に流入した流れが等流状態になったことを確認した後、直径3mmの小型プロベラ流速計を用いて、10Hzで、約205秒間計測した。計測は水路中心部において9地点で行った。

(2) 実験結果

樹林帯の抵抗を考慮した運動方程式は次の通りである。

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

ここに、 τ ($=\rho \varepsilon du/dz$):剪断力、 ε ($=u_* h \kappa / 6$):渦動粘性係数、 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 :密度、 κ :カルマン定数である。

また、境界条件として

河床: 剪断力=河床摩擦 $z=0, u=u_b, \rho \varepsilon (du/dz)=\rho C_b u_b^2=\rho u_*^2$

水面: 剪断力=0 $z=h, u=u_s, du/dz=0$

ここに u_b は河床における流速、 C_b は河床抵抗係数、 u_s は水面における流速である。これらの境界条件を用いて u_*/u_{*0} 、 C_D をパラメータとして(2)式を数值的に解き、流速分布を求める。図-3は、このようにして得られた計算値と実験値を比較したものである。この図より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_*/u_{*0} 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 と樹林帯密度 λ との関係を表したものが図-4である。樹林帯密度 λ 、及び勾配 θ が変化しても抗力係数 C_D は1程度の値をとることが分かる。また有効摩擦速度 u_*/u_{*0} と樹林帯密度 λ との関係を表したものが図-5である。樹林帯密度 λ が変わっても、 u_*/u_{*0} の値は0.30程度であることが分かる。

また、2.の実験結果と比較すると樹林帯密度 λ の変化に関わらず流砂を含む流れよりも清水流のほうが有効摩擦速度 u_*/u_{*0} の値は小さくなっている。

4. おわりに

本研究で得られた結果は以下の通りである。樹林帯内において流砂の存在する流れでは樹林帯密度 λ が大きくなると流速係数 ϕ は小さくなる傾向がある。清水流における抗力係数 C_D は樹林帯密度 λ に関わらず1程度である。流砂の存在する流れでは有効摩擦速度 u_*/u_{*0} は樹林帯密度 λ が大きくなると減少する傾向にあるが、清水流では樹林帯密度 λ が変化しても u_*/u_{*0} の値は0.30程度でほぼ一定値であり、両者を比較するとその値は清水流のほうが小さい。

<参考文献>

- 1) 平野・橋本・玉松・Park・火箱：樹林帯における掃流砂量と河床変動に関する研究, 水工学論文集, 第43巻, 1999.
- 2) 橋本・平野：掃流状集合流動の抵抗則と流砂量, 土木学会論文, No.545/II-36, 1996.
- 3) 玉松・平野・橋本・玉松・神岡：樹林帯における流れの抵抗特性に関する研究, 平成9年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(其の1), 1998.

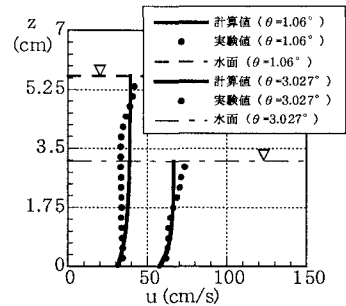


図-3 流速分布の理論値と実験値の比較（樹林帯C：滑面）

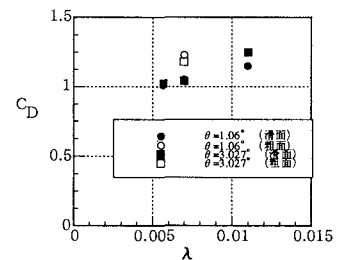


図-4 抗力係数 C_D と樹林帯密度との関係

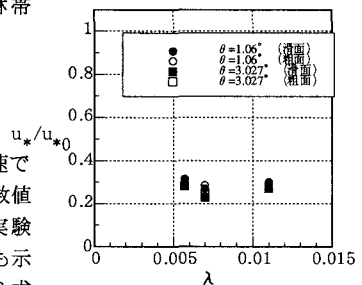


図-5 有効摩擦速度と樹林帯密度との関係