

5 樹林帯の土石流制御効果に関する実験的研究

建設省土木研究所 ○福本 晃久、水山 高久、井良沢道也

1. はじめに

近年、緑の砂防ゾーン創出事業をはじめとして、土砂災害対策に樹林が利用されはじめており、防災機能だけでなく環境面からも好ましいことから、今後ますます利用が盛んになると期待される。このように樹林帯を利用する場合には、その効果や特性を十分把握して、計画に反映させる必要があり、これまでもいくつかの研究¹⁾がなされている。ここでは、樹林帯が河道内に存在すると、土石流に対して抵抗として働き、土石流の堆積を促進する働きがあると考え、水理模型実験により樹林帯の群としての土石流の制御効果について検討を行った。また、その結果から土石流に対する樹林帯の規模の決定手法についての考察を行った。

2. 実験の概要

実験に用いた水路は、勾配が途中で変化する幅30cmの水路で、片面はアクリル製である。水路長は、上流水路が3.6m、下流水路が5.4mである。上流水路勾配は15°、20°、25°の3種類とし、下流水路勾配は7°と一定とした。立木の模型を図-1に示す。立木模型は木製である。立木の種類を表-1に示す4種類とした。

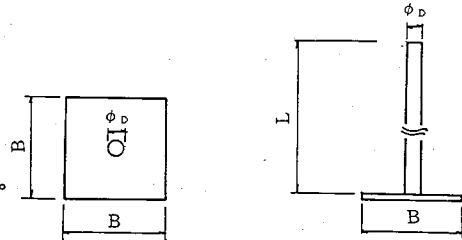


図-1 立木模型

なお、底板の設置深さ(砂厚)Dは図-1のBに等しくした。立木の配置は、千鳥で下流水路内に左右対象となるように配置した。樹林の間隔bは、5、6、7.5、10、15cmとし、樹木占有面積率Pは、0

表-1 実験に用いた立木の種類

	直径φ	高さL	底板長B
A	5mm	160mm	40mm
B	6	170	44
C	7	180	48
D	9	190	55

～1.5%の範囲とした。下流水路に流入する土石流の諸元を表-2に示す。今回用いた立木は、土石流のフロント部

表-2 樹林帯に流入する土石流の諸元

上流水路勾配	流速	波高	土石流量	濃度	単位体積重量
15°	0.80m/sec	3.0cm	7.2 g/sec	31.9%	1.5g/cm ³
20°	0.95m/sec	3.3cm	9.4 g/sec	47.8%	1.8g/cm ³
25°	1.10m/sec	3.5cm	11.6 g/sec	57.8%	1.9g/cm ³

によって破壊されなかった。実験に用いた砂を図-2に示す。平均粒径 d_m は6.3mm、最大粒径 d_{max} は19.1mmである。実験は、上流水路に砂を厚さ5cmに敷き水路上流端より水4.9 l/secを与えて土石流を発生させ、下流水路での土砂堆積

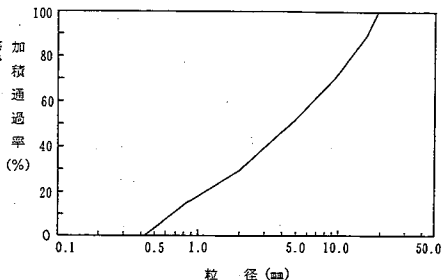


図-2 実験使用砂の粒度分布

を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 樹林帯による流速減勢効果

図-3に勾配変化点通過後の土石流のフロント部の流速の縦断変化を示す。流速は、各地点で大きく変動しているが、勾配変化点通過後大きく減少し、再び流速が増加し、一定の流速になる傾向がある。勾配変化点から約50cm下流以降の平均流速 V_m と樹林の配置の関係について図-4に示す。 V_{0m} は、樹林帯の無い場合の平均流速、 b_s は樹径を含まない樹林の間隙の幅(樹林の純間隔)である。流速は、樹木占有面積率 P が大きくなるほど、樹林の純間隔 b_s/d_{max} が小さくなるほど小さくなる事がわかる。流速の減勢率は、最大で80%程度である。

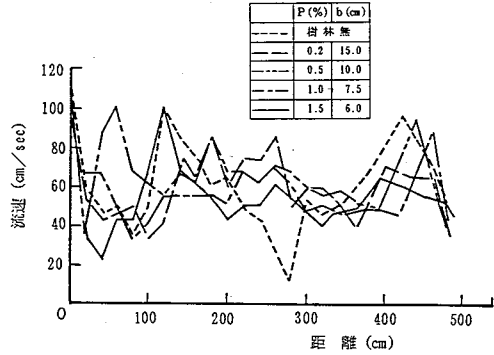


図-3 流速の縦断変化(上流水路勾配25°)

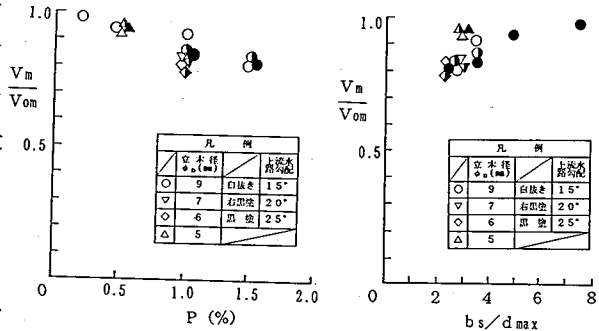


図-4 V_m/V_{0m} と樹林の配置の関係

3.2 流出土砂濃度の変化

水路下流端での土砂濃度の時間変化を図-5に示す。樹林帯を設けたことにより土砂が流出し始める時間が遅れ、土砂濃度は減少することがわかる。樹林の配置による流出土砂への影響はばらつきがあるが、 P が大きいほどまた b_s/d_{max} が小さいほど、小さくなる傾向がある。

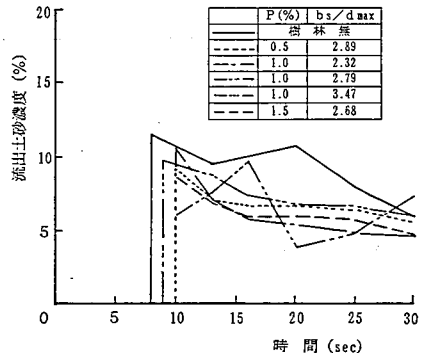


図-5 流出土砂濃度の時間変化(上流水路勾配20°)

3.3 樹林帯による堆積促進効果

図-6にビデオの撮影結果より読み取った土石流の堆積過程を示す。樹林帯を設けることにより、勾配変化点付近の堆積高は上昇し、堆積勾配も大きくなる事がわ

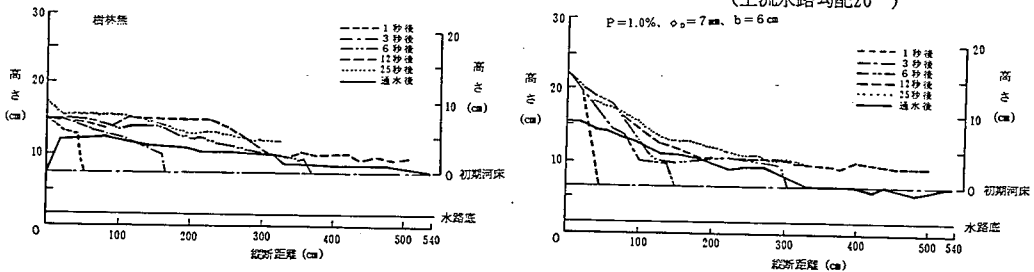


図-6 土石流の堆積過程(上流水路勾配20°)

かる。このため、樹林帯の下流では洗掘傾向となり、樹林帯の規模によっては、流木となる恐れがある。また、上流水路の砂がなくなると、上流側が侵食され流木化した例もあった。

図-7に最大堆積深（実験中に発生した最大の堆積深+流動深） $h_{max}/h_{o,max}$ と bs/d_{max} の関係について示す。図中、 h_{max} は樹林のある場合の最大堆積深、 $h_{o,max}$ は樹林がない場合の最大堆積深である。樹林の純間隔が小さくなるほど最大堆積深は大きくなり、樹林帯による土石流制御効果があることが分かる。樹林がない場合に比べると最大で2倍程度まで堆積深が上昇する。図-8に $h_{max}/h_{o,max}$ と樹木占有面積率Pの関係を示す。 $bs/d_{max}=2.8$ ではPの影響は小さい。

また、勾配変化点での土石流の堆積過程について高橋¹⁾は、図-9のような形状に堆積するものとしてモデル化している。ただし、 $\theta \leq \gamma$ で、下流の堆積物をジャンプして乗り越える場合である。

図-9を参照にして、砂礫の保存の式を導くと、

$$\frac{1}{2}X^2A = q_T \frac{C_d}{C_*} t$$

となる。ただし、

$$A = \frac{\tan(\gamma - \theta)}{\tan(\gamma - \theta) \tan(\theta u - \theta) + 1} + \frac{1}{\tan \delta \cos^2(\theta u - \theta)} \left[\frac{\tan(\gamma - \theta)}{\tan(\gamma - \theta) \tan(\theta u - \theta) + 1} \right]^2 \dots \dots \dots (2)$$

$$\tan \gamma = \frac{C_* (\sigma - \rho) \tan \phi}{C_* (\sigma - \rho) + \rho \{1 + 0.52 (q_o^2 / g d^3)^{1/3}\}} \dots \dots \dots (3)$$

である。式(2)から、

$$X = \sqrt{\frac{2 q_T C_d}{C_* A} t} \dots \dots \dots (4)$$

$$y = \frac{1}{\cos(\theta u - \theta)} \frac{\tan(\gamma - \theta)}{\tan(\gamma - \theta) \tan(\theta u - \theta) + 1} X \dots \dots \dots (5)$$

$$x_1 = \frac{y}{\tan \delta} \dots \dots \dots (6)$$

が得られ、時刻tを与えれば、X、y、 x_1 が求まり、堆積形状が求められる。ここに、 q_T :土石流の単位幅流量、 C_d :土石流の土砂濃度、 C_* :堆積土砂の土砂濃度、 ϕ :内部摩擦角、 σ :砂の密度、 ρ :水の密度、 q_o :表面流の単位幅流量、 g :重力の加速度、 d :粒径である。

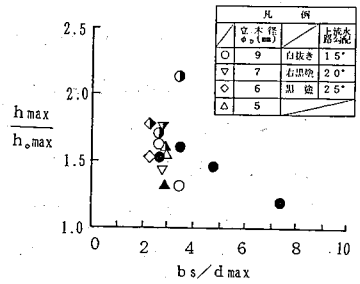


図-7 $h_{max}/h_{o,max}$ と bs/d_{max} の関係

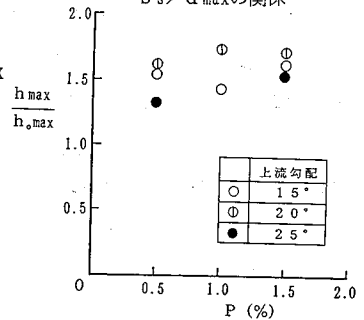


図-8 $h_{max}/h_{o,max}$ とPの関係 ($bs/d_{max}=2.8$)

..... (1)

図-6にみられるように、樹林帯が勾配変化点より下流に存在すると、堆積を促進し堆積形状が変化する。また、図-7及び図-8より樹林による土砂堆積効果は、 bs/d_{max} に大きく影響されることがわかった。そこで、土石流の堆積勾配を読み取り、樹林の純間隔の関係について整理して図-10に示す。この図より、樹林帯があることにより堆積勾配は大きくなるのがわかり、その関係は、

$$\tan \gamma / \tan \gamma_0 = 4.6 (bs/d_{max})^{-2.6} + 1 \quad \dots \dots (7)$$

となる。ここに、 γ ：樹林帯のある場合の堆積勾配、 γ_0 ：式(3)より求まる樹林帯が無い場合の堆積勾配、 bs ：樹林の純間隔、 d_{max} ：最大粒径である。式(7)を用いて樹林帯内の土石流の堆積勾配を求め、高橋のモデルにより土石流の堆積過程が計算できる。図-10より樹林帯の土石流堆積促進効果が認められるのは、 bs/d_{max} が3以下のときであり、樹林帯による土石流制御効果を期待する場合には、樹林の間隔を密にする必要がある。

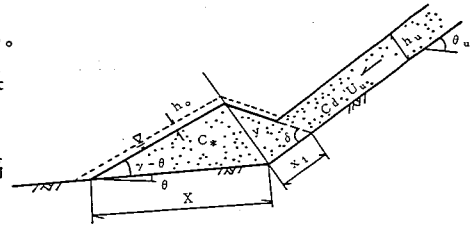


図-9 土石流の堆積形状²⁾

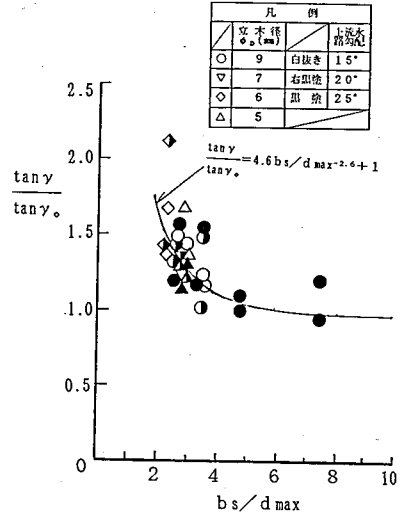


図-10 $\tan \gamma / \tan \gamma_0$ と bs/d_{max} の関係

4. まとめと今後の課題

勾配変化点下流にある樹林帯により流速が減勢され、樹林体内を通過した土石流の土砂濃度は、樹木占有面積率と樹林の間隔に関係して減少することがわかった。また、上流より流入してくる土石流の堆積を促進させる効果があることもわかった。この結果より、土石流の流入条件、土砂量、樹林の純間隔が与えられると、式(7)及び高橋の堆積過程のモデルにより土石流の堆積長が推定でき、樹林帯の必要な長さを求めることが可能である。ただし、今回の実験条件は、土石流により立木が破壊されない状態を考慮しており、立木が土石流によって破壊³⁾されないかを検討しておく必要がある。

今後は、実際の緑の砂防ゾーンの効果を土石流の氾濫堆積シミュレーションなどで評価できるように、横方向の流れに対する樹林帯の効果も評価した二次元的な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 例えば 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(165)、1989、pp.18~22
- 2) 高橋 保、吉田 等：土石流の停止・発生機構に関する研究(1)、京都大学防災研究所年報、No.22 B-2、1974、pp.315~328
- 3) 鈴木浩之、水山高久、栗原淳一：立木の土石流衝撃緩衝効果、平成元年度砂防学会研究発表会概要集、1989.5、pp.291~294