

51 樹林帯の抵抗を考慮した河床変動計算

住 鉦 コンサルタント株式会社 ○山下伸太郎

(財) 砂防・地すべり技術センター 打 萩 稔男、松村 和樹、高橋 正昭

1. はじめに

砂防基本計画や施設配置計画の検討において、これら計画の合理性や精度の向上のため、近年、河床変動モデルを用いた数値シミュレーション計算が一検討手法として用いられるようになってきた。

一方、砂防施設の多様化のなかで、「緑の砂防ゾーン」といった樹林帯を砂防施設と位置付ける計画もなされている。「緑の砂防ゾーン」は、土砂処理空間に樹林を配置することにより土砂流出抑制、分散堆積等の砂防効果を促進するものであり、環境への配慮の面からも注目されている。そのため、樹林の砂防効果に関する研究も進められてきている。とくに、樹林を砂防施設と位置付けた場合、土石流流体力や礫の衝突による衝撃に対して十分安全であることが必要であるため、樹林の倒壊限界に関する研究は比較的多い¹⁾。しかし、樹林帯の砂防効果そのものに関しては、実験的研究や二次元汜濫シミュレーションによる検討²⁾がなされているが、確立された手法はないのが現状である。

そこで本報告では、流水中に樹林を記した場合の樹林による流速低減および土砂堆積効果を考慮した一次元河床変動モデルの基礎検討を行った。また、「緑の砂防ゾーン」が計画されている流域を取り上げ、本モデルを用いて樹林帯の砂防効果について検討を加えた。

2. 河床変動モデルの概要

2.1 水理計算

いま、河道横断形状を複断面水路とし、左右岸高水敷に樹林帯を配置することを考える。そこで、複断面水路を図-1に示すように低水路、左右岸高水敷の3領域に分割する。流れを等流とした場合、各領域における流水の運動方程式は以下のとおりとなる³⁾。

$$\text{領域1: } g h_1 i_1 - \frac{1}{2} f_1 u_1^2 = 0 \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\text{領域2: } g h_2 i_2 - \frac{1}{2} (f_2 + \beta C_D) u_2^2 = 0 \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\text{領域3: } g h_3 i_3 - \frac{1}{2} (f_3 + \beta C_D) u_3^2 = 0 \quad \text{-----} \quad (3)$$

ここに、 g : 重力加速度、 h : 水深、 i : 河床勾配、 f : 抵抗係数、 u : 流速、 C_D : 木立の効力係数(円柱とする)であり、添え字は領域番号を表す。また、 β は樹林の密度にかかわる係数で次式で表わすこととする³⁾。

$$\beta = \frac{h D}{L_x L_y - \pi D^2 / 4} \quad \text{-----} \quad (4)$$

ここに、 D : 樹径、 L_x 、 L_y : 流れに平行および直角方向の樹林の間隔である。つまり、 β が樹林帯の効果を表しているといえる。

一方、運動方程式における u , f は土砂移動形態により変化する。そこで、本モデルでは土石流形態においては土石流の抵抗則、掃流状集合流動（土砂流）を含む掃流形態においては Manning 則を用いてそれぞれ次式により与えた。

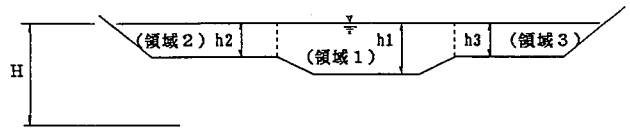


図-1 水理計算概念図

① 土石流

$$u = \frac{2}{5 d_m} \left[\frac{g \sin \theta}{0.02} \left\{ C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\sigma} \right\} \right]^{1/2} \left\{ \left(\frac{C_*}{C_d} \right)^{1/3} - 1 \right\} h^{3/2} \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{4 \left\{ C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\sigma} \right\} \left\{ \left(\frac{C_*}{C_d} \right)^{1/3} - 1 \right\}^2} \left(\frac{d_m}{h} \right)^2 \quad (6)$$

② 土砂流および掃流

$$u = \frac{1}{n} i^{1/2} h^{2/3} \quad (7)$$

$$f = \frac{2 g n^2}{h^{1/3}} \quad (8)$$

ここに、 θ : 河床勾配 ($i = \tan \theta$)、 C_d : 土砂濃度、 C_* : 堆積層の砂礫の容積濃度、 ρ_w : 水の密度、 σ : 砂礫の密度、 d_m : 河床材料の代表粒径、 n : Manning の粗度係数である。

また、断面における流れの連続式は、境界条件として与えられる流量に対して次のように示される。

$$Q = A_1 u_1 + A_2 u_2 + A_3 u_3 \quad (9)$$

ここに、 Q : 流量、 $A_1 \sim A_3$: 各領域の流積である。

以上より、式(1)～(3)の運動方程式と式(9)の連続式を連立して、各領域の水深および流速を求めればよいが、解析的には解けない。そこで、まず水位 H を仮定し、仮定した H に対して運動方程式より算出される流速が連続式を満たすように、繰り返し計算によって $u_1 \sim u_3$ を求めた。

2.2 流送土砂量計算

流送土砂量の計算にあたっては、水理計算と同様に土砂流送形態を土石流と土砂流および掃流とに領域区分して求めた。

① 土石流

$$C_d = \frac{\rho_w \tan \theta}{(\sigma - \rho_w) (\tan \phi - \tan \theta)} \quad (10)$$

ここに、 ϕ : 砂礫の内部摩擦角である。

② 土砂流および掃流

土砂流を含む掃流移動の領域については、浮遊砂成分も含んだ全掃流砂量を与える Brown 式を用いた。

$$\frac{q_s}{\sqrt{g (\sigma / \rho_w - 1) d_m^3}} = 10 \left\{ \frac{u_*}{(\sigma / \rho_w - 1) g d_m} \right\}^2 \quad (11)$$

ここに、 q_B :単位幅流砂量、 $u_* (= \sqrt{g h i})$:摩擦速度である。

2.3 横断方向輸送土砂量

水路側部に樹林帯を設けた場合、樹林帯のある水路側部と樹林帯のない水路中央部では、流速、土砂濃度が大きく変化すると考えられる。このように、横断方向に土砂濃度が変化すると土砂濃度の大きな断面から土砂濃度の小さな断面へと土砂輸送が行われる。いま、この土砂輸送量を拡散モデルによる浮遊砂の濃度分布と同様の取り扱いをすれば、平衡状態を仮定して次のように示すことができる。

$$q_{BS} = \epsilon \frac{dC}{dy} \quad \text{----- (12)}$$

ここに、 q_{BS} :横断方向の輸送土砂量、 dC/dy :横断方向の濃度勾配である。また、 ϵ は横断方向の拡散係数に相当する。なお、本報告では ϵ をパラメトリックに取り扱う。

2.4 河床変動量の計算

低水数および高水数の河床変動量および河床変動高は、流砂の連続式を差分化した次式により求めることができる。

$$\text{低水路: } \frac{\Delta z_L}{\Delta t} + \frac{1}{B_{NL}C} \cdot \frac{(Q_{BLi+1} - Q_{BLi})}{\Delta x} + q_{BS} = 0 \quad \text{----- (13)}$$

$$\text{高水数: } \frac{\Delta z_H}{\Delta t} + \frac{1}{B_{NH}C} \cdot \frac{(Q_{BHi+1} - Q_{BHi})}{\Delta x} - q_{BS} = 0 \quad \text{----- (14)}$$

ここに、 Δz_L , Δz_H :低水路および高水数の河床変動高、 Q_{BLi} , Q_{BHi} :低水路および高水数の i 断面を通過する流送土砂量、 Δx :区間距離、 Δt :単位時間、 B_{NL} , B_{NH} :低水路および高水数の i , $i+1$ 区間の平均流水幅である。

3. 計算条件

本モデルを用いたシミュレーション計算は、「緑の砂防ゾーン」が計画されているI沢における施設配置計画に基づいて行った。モデル箇所計画河床勾配は1/12であり、横断形状は図-3のとおりである。そして、図-3に示す高水数に樹林帯を配置する計画である。

境界条件は、計画ピーク流量 $94 \text{ m}^3/\text{s}$ を1時間のみ流下させるものとした。また、樹林帯の効果が評価し易いように、樹林帯を設けない場合に計画縦断勾配1/12がほぼ動的平衡勾配となるように土砂濃度を設定した。つまり、樹林帯がない場合、区間堆積量はほぼ0となる。

設定した土砂濃度は $C_d = 0.077$ であり、総土砂量は $28,000 \text{ m}^3$ である。また、樹径は 0.3 m とした。なお、計算に用いたパラメータは表-1のとおりである。

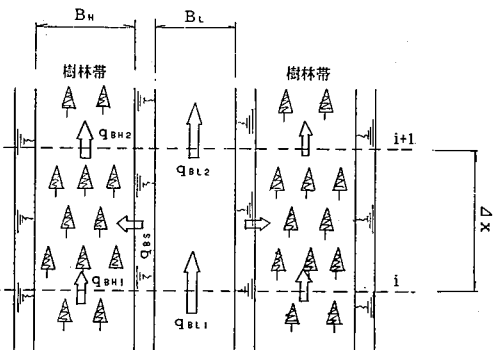


図-2 河床変動量計算模式図

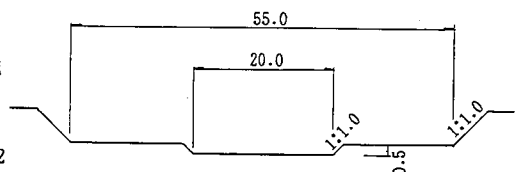


図-3 計画横断面図

4. 計算結果

ϵ をパラメータとして樹林密度と計算区間の堆積土砂量の関係を示したのが図-4である。ただし、堆積土砂量は空隙を含まない堆積である。図-4を見ると、樹林密度が高い(β/h が大きい)ほど堆積土砂量が大きくなる傾向が現われており、本モデルにより樹林帯の土砂堆積効果の評価が可能であることを示している。また、

ϵ をパラメータとした場合の樹林帯の効果を見ると、 ϵ が大きいほど、つまり横断方向の土砂移動量が大きいほど、樹林帯の効果が大きくなる傾向がある。しかし、 $\epsilon = 0$ とした場合、つまり横断方向の土砂移動を無視しても樹林帯を設けることにより土砂堆積

効果があることがわかる。これは、樹林の抵抗により土砂輸送能力が低下していることを示すものである。また、図-5には、樹林密度と高水敷の流速との関係を示した。図-5をみても樹林が密であるほど流速が小さくなり樹林の流速低減効果が現れていることがわかる。

5. おわりに

本報告では、河床変動計算を用いた樹林帯の砂防効果評価法の一試案について述べた。しかし、本モデルにおいては、横断方向の土砂移動量を決定する ϵ についてはパラメトリックに取り扱い理論的な考察は行っていない。今後は、解析的手法や水理模型実験との比較を行い、モデルの検証を進める必要がある。

なお、本検討を進めるに当たり、ご協力頂いた建設省中国地方建設局倉吉工事事務所の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 矢澤昭夫, 水山高久, 福本晃久: 立木の土石流制御効果と破壊限界, 土木技術資料, 29-12, 1987, pp.50-55
- 2) 建設省関東地方建設局渡瀬川工事事務所: 大畑沢線の砂防ゾーン(土石流緩衝林)計画書, 1988
- 3) 玉井信行, 池田裕一, 小平 卓, 広沢祐晴, 浅枝 隆: 円柱杭による堆砂効果と平衡断面形状, 土木学会第43会年次学術講演概要Ⅱ, 1988, pp.304-305

表-1 計算パラメーター一覧表

項 目	記 号	単 位	数 値
水の密度	ρ	g / m^3	1.0
砂礫の密度	σ	"	2.65
堆積層砂礫の容積濃度	C_s		0.65
砂礫の内部摩擦角	ϕ	$^{\circ}$	30
マニングの粗度係数	n		0.045
河床材料の代表粒径	d_s	cm	2.7
円柱杭の効力係数	C_D		1.17 ¹⁾

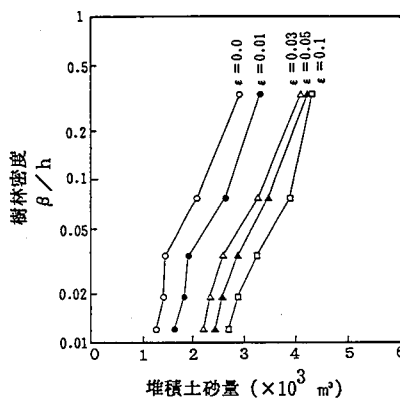


図-4 樹林密度と堆積土砂量の関係

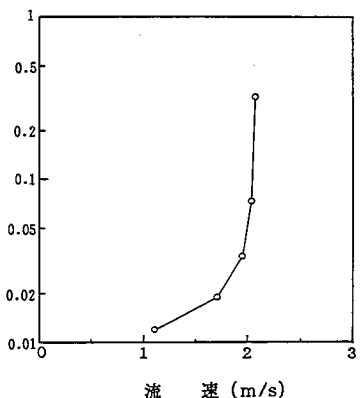


図-5 樹林密度と高水敷流速の関係