

国土交通省土木研究所 ○ 木戸脇季孝 (現 株式会社ブレック研究所)  
 金子正則 (現 日本道路公団)  
 寺田秀樹 (現 独立行政法人土木研究所)  
 アジア航測株式会社 正野光範・中島達也・小川紀一郎

1. はじめに

がけ崩れに対して、危険な斜面下の土地をあらかじめ確保し、人家等を立地させないようにすることで、がけ崩れ災害を防止する対策は、適切な土地利用という観点からも望ましく有効な対策である。特に斜面下に樹林帯が存在する場合は、樹林帯の抵抗により崩土の運動が減勢され流下距離が短くなり、効果的な対策になるものと考えられる。そこで、本研究では、崩土の流下に対する樹林帯の抵抗としての効果の評価方法を検討し、斜面下の樹林帯が崩土の流下距離に及ぼす影響を評価するためのモデル式を作成した。

2. 樹林帯の抵抗としての効果を組み入れたモデル式の考え方

崩土が斜面下の樹林帯を通過する際には、崩土が樹木に接触または衝突することで、流速が減じ、堆積が促進される。そこで、崩土が樹木に接触することによって摩擦係数が見かけ上増加し、また崩土が樹木に衝突することで流体力に比例する抵抗が作用するものと仮定し、これらの考えを既存の崩土のモデル式に反映するあたりでモデル式を作成した。既存のモデル式は、一次元の連続体モデルと質点系モデルの両モデルを使うものとする。以下、地震による斜面の崩壊を想定し、質点系モデルとして江頭らの研究<sup>1)</sup>による乾燥崩土のモデル式を使った検討結果を報告する。

江頭らの研究による崩土のモデル式に、式(1)のように樹林帯の抵抗としての効果を反映させた。崩土が樹木に接触することによる摩擦係数の見かけ上の増加は、 $\mu_k$ に係数 $\gamma$ (摩擦係数の見かけ上の上昇率)を乗じることで表し、崩土が樹木に衝突することによる流体力に比例する抵抗は、右辺の第4項に係数 $\varepsilon$ (散逸係数)を乗じた流体力の式を加えることで表現した。なお、本来、江頭らのモデル式は、土塊が塑性的な構造を保持したまま流下する場合を想定したものであり、流体力に比例する抵抗が作用するという仮定はそぐわないところもあるが、本研究は既存のモデル式を使って樹林の抵抗としての効果を評価することを目的としていることから、あえてこのような形で検討を進めた。

$$\frac{d(\rho_t \cdot A_f \cdot v)}{dt} = \rho_t \cdot A_f \cdot g \cdot \sin\theta - \gamma \cdot \mu_k \cdot \rho_t \cdot A_f \cdot g \cdot \cos\theta - f_b \cdot \rho_t \cdot l_f \cdot v^2 - \varepsilon \frac{\rho_t}{2} \cdot h \cdot v^2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\rho_t$ : 崩土全体の見かけ密度 ( $\rho_t = c\sigma$ )、 $\sigma$ : 粒子密度、 $c$ : 土砂濃度、 $\theta$ : 斜面勾配(°)、 $h$ : 移動層厚、 $x$ : 流下距離、 $v$ : 速度、 $v_0$ : 初速、 $\mu_k$ : 動摩擦係数、 $f_b$ : 流体抵抗係数、 $g$ : 重力加速度である。また、崩土の断面形状を三角形で近似しており、 $A_f$ は崩土の断面積、 $l_f$ はその時の底面の長さである。

3. 摩擦係数の見かけ上の上昇率と散逸係数の検討方法

2で示した摩擦係数の見かけ上の上昇率 $\gamma$ 、散逸係数 $\varepsilon$ の値は、模型実験によりいくつか条件を設定して検討することとした。

斜面の崩壊により発生する崩土は、様々な粒径の土砂が混在しているが、今回は $\gamma$ や $\varepsilon$ に影響するパラメータを検討するために、粒径の揃った土砂を使用する。樹林模型は木製の丸棒により作成し、樹林密度は、実際に見られる樹林の密度を参考に設定したが、実際よりもかなり高い密度のケースも実施している。また、これらの樹林模型は固定されており、樹木が倒れない条件下で実験を実施した。

3.1 摩擦係数の見かけ上の上昇率 $\gamma$ の検討方法

摩擦係数の見かけ上の上昇率 $\gamma$ を検討するため、次のような実験を行った。

測定しようとする土砂と同じ粒径の土砂を張り付けた粗度板に、土砂を一層程度敷き、土砂が層状に移動を開始する角度( $\theta_{s0}$ )を測定し摩擦係数( $\tan \theta_{s0}$ )とした。次に、樹林帯模型を設置した粗度板に、先と同様に土砂を敷き、土砂が層状に移動を開始する角度( $\theta_s$ )を測定し、樹林帯における見かけ上の摩擦係数( $\tan \theta_s$ )とした。そして、摩擦係数の見かけ上の上昇率を、 $\gamma = \tan \theta_s / \tan \theta_{s0}$ として計算した。

### 3.2 散逸係数 $\varepsilon$ の検討方法

モデル式の散逸係数  $\varepsilon$  を検討するため、崩土流動実験水路を使って、下流に樹林模型を設置しない場合、樹林模型を設置する場合について土砂の流下実験を行った。実験の詳細は、H12 年度<sup>2)</sup> に説明しているので省略する。今年度は、昨年度に実施しなかった樹木間隔 160、200mm、斜面勾配 40° の実験を行いデータを補完した。

これらの実験から得られたデータをもとに、次の計算により  $\varepsilon$  を検討した。まず、 $\gamma=1$ 、 $\varepsilon=0$  として、式 (1) により、樹林なしの場合の実験結果が再現される  $\mu_k$  や  $f_b$  等のパラメータを設定する。次に、このパラメータのもとで式 (1) の  $\varepsilon$  を変化させ、樹林ありの場合の流下距離を再現する値を検討した。なお、 $\gamma$  については 3.1 の測定実験の結果を用いた。

## 4. 検討結果

### 4.1 摩擦係数の見かけ上の上昇率 $\gamma$

3.1 の結果を用いて、相対樹木間隔（樹木間隔： $w$  / 粒径： $d$ ）及び断面積密度（単位面積あたりに占める樹幹面積の割合： $p$ ）と  $\gamma$  との関係を検討した。図-1 に相対樹木間隔と  $\gamma$  との関係を示す。相対樹木間隔が 10 未満になると  $\gamma$  は急激に大きくなるが、10 以上では  $\gamma$  は 1 に近くなり、摩擦係数の上昇はそれほど大きくないことがわかる。

### 4.2 散逸係数 $\varepsilon$

3.2 の結果を用いて、相対樹木間隔及び断面積密度と  $\varepsilon$  との関係を検討した。図-2 に相対樹木間隔と  $\varepsilon$  との関係を示す。相対樹木間隔が小さくなるほど、 $\varepsilon$  の値は大きくなり、特に 10 未満になると  $\varepsilon$  は急激に大きくなる。一方、 $w/d$  の値が 50 程度と大きくなっても、 $\varepsilon$  の値は 0 にはならない。

## 5. まとめ

以上より、図-1、図-2 により得られた  $\gamma$ 、 $\varepsilon$  の値を式 (1) に代入することで、斜面下の樹林帯が乾燥崩土の流下距離に及ぼす影響を評価することができる。

参考までに、斜面下は平坦となっており、そこに樹林帯が存在する場合を想定して、モデル式を使って樹林帯がある場合とない場合の流下距離を比較してみる。山麓に見られる実際の樹林の樹木間隔は、スギの人工林の場合では 3~4m 程度であることから  $w=3m$  とし、 $d=20, 10, 5cm$  として  $w/d=15, 30, 60$  の時について計算した。そして、斜面下の勾配変化点からの流下距離を、樹林がある場合： $L_t$ 、樹林がない場合： $L_n$  として、 $L_t/L_n$  を算出した。なお、斜面高： $H=20m$ 、崩壊する斜面の勾配： $\theta_m=40^\circ$ 、 $V_m=100 m^3$ 、 $l_m=10m$ 、 $h=1.5m$ 、 $\mu_k=0.7$ 、 $f_b=0.002$  とし、勾配変化点後の流速は、勾配変化点前の流速の水平方向の成分が保存されるものとしている。計算の結果、 $w/d=15$  の時は  $L_t/L_n=0.65$ 、 $w/d=30$  の時は  $L_t/L_n=0.76$ 、 $w/d=60$  の時は  $L_t/L_n=0.84$  となり、同じ樹木間隔であれば粒径が大きい方が小さいものより、樹林帯により減勢されやすいことがわかる。

本モデル式は実現象への適用性を検討していないので、今後は崩壊事例によりモデルの有用性を確認していく必要がある。また、式 (1) は崩土により樹木が倒れない条件下での検討結果であることから、式 (1) の使用にあたっては、樹林の倒壊条件を検討した上で、その範囲内で使用することが必要であると言える。

## 参考文献

- 1) 江頭他：斜面崩壊に伴う災害危険度の評価法に関する研究、砂防学会誌（新砂防）、Vol.49、No.3、pp11~19、1996
- 2) 桜井他：樹林帯の崩土流下抑制機能について、平成 12 年度砂防学会研究発表会概要集、pp260~261、2000

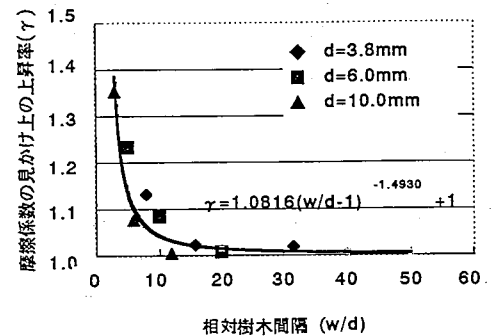


図-1 相対樹木間隔と摩擦係数の見かけ上の上昇率

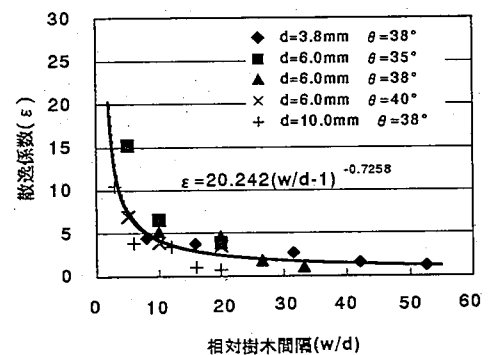


図-2 相対樹木間隔と散逸係数