

III-116

森林による土砂災害防止機能の定量的評価（Ⅰ）

— 樹木に作用する衝撃エネルギー —

国立森林総合研究所 正員 岩元 賢
国立森林総合研究所 阿部和時

1. はじめに

森林法（昭49）によれば、山地崩壊や地すべり、土石流等による土砂の流出を軽減・防止するために、森林の防災機能の1つとして土砂流出防備保安林が指定されている。しかし、近年の山間部の土地開発による都市近郊林隣接型の居住地区の増大は、昭和57年長崎災害や昭和58年島根災害にみられるように、多大な土砂災害の誘因にもなっている。そこで、森林による土砂流出防止機能を定量的に評価することは、今後の都市近郊林周辺の土砂災害の危険度予測と防止施設の計画、設計、維持管理等の国土防災対策を有効に推進する点からも必要である。本文では、樹林帯の土砂災害防止機能を評価するために、まず、現地の実態把握から樹木による各種の抵抗形態と衝撃エネルギーについて考察する。

2. 災害地における樹林帯の抵抗形態

土石流の流下・堆積区間における樹木の抵抗形態は、樹種や樹齢、地形や地質、土石流の規模等の立地条件によって複雑に変化する。しかし、災害地での実態調査によれば、土石流に対する樹木の主な抵抗形態は樹幹部の折損や転倒（根倒れ）、林内に残存する転倒木（付加的表面粗度）、樹幹部に摩擦痕を有するが立木状態で残存する樹木等の効果として、モデル的には図-1のように表わされる。

3. 樹木に作用する衝撃エネルギーと抵抗力

山崩れや土石流に対する樹木の衝撃力緩和作用を定量的に評価するために、樹木を根部の回転を考えない弾塑性体の円断面単テーバー片持ちばり（図-2）とすれば、各種の抵抗力は次のようになる。

3. 1 曲げ折損抵抗力（ σ_b ）

根元直径Dの樹木に外力 W_f が作用して直径dなる樹幹部（地上高H）で折損する場合には、折損部分の曲げモーメント M_f 、折損抵抗力 σ_b 、外力 W_f の関係は次式で与えられる（沢田；林試北支，1983）。

$$M_f = Z_x \cdot \sigma_b = - W_f \cdot H / 2 \beta, \quad (x = 1/2 \beta, \quad \beta = D/d - 1) \quad \text{----- (1)}$$

$$W_f = (\pi / 16) a_1 \beta D^3 \cdot E_g / \{ (1 + \beta)^2 H \} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 Z_x ：最大曲げ応力発生部xにおける断面係数 $= \{ (1 + \beta x)^3 / (1 + \beta)^2 \} Z_1$ 、 Z_1 ：根元の断面係数 $(\pi D^3 / 32)$ 、 σ_b ：曲げ強さ $(= a_1 E_g)$ 、 E_g ：ヤング率、 a_1 ：比例定数である。

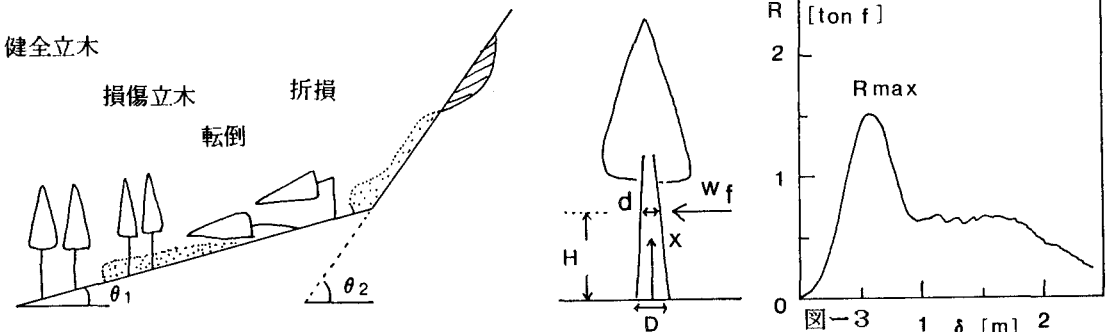


図-1 土砂流に対する樹林帯の抵抗形態 図-2 樹木に作用する外力 図-3 抜根試験による抵抗力と変位

3.2 転倒抵抗力 (R_t) 樹木が折損しないで根倒れした場合には、外力としては地表面を支点とした転倒モーメントが考えられる。一般に、樹木の動的転倒モーメントの測定は難しいので、ここでは静的転倒モーメントを抜根試験で求める。図-3は、スギ立木による典型的な抜根抵抗力の形態を示したもので、図中、最大抵抗力 R_{max} は従来の最大抜根抵抗力 P であり、さらに転倒過程における系全体の転倒抵抗力 R_t は仕事量 U で表わされ、実験的には樹木の直径 D の関数型でえられる。

$$\left. \begin{aligned} R_{max} &= P = a_2 D^{b1} \\ R_t &= U = \int_0^{\delta} R d\delta \end{aligned} \right\} \therefore R_t \propto a_3 D^{b2} \quad \text{----- (3)}$$

3.3 衝撃エネルギー吸収能 (E_d) 樹木が折損や転倒することなく、単に土砂流の通過中に振動しながら立木状態で残存する場合には、樹木は衝撃エネルギー吸収能としての抵抗形態を発揮する（図-4）。樹木の応力-ひずみ関係を図-3の完全弾性域で考えると、最大曲げモーメント M_{max} 、最大たわみ δ_{max} 、仕事量 U はそれぞれ次式で与えられ、エネルギー吸収能 $E_d = U$ が得られる。

$$\left. \begin{aligned} M_{max} &= -W_f H, \quad \delta_{max} = W_f H^3 / 3 E_g I \\ E_d = U &= W_f \delta / 2 = 3 E_g I \delta^2 / 2 H^3, \quad (I = \pi D^4 / 64) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

3.4 流体力学的抵抗力 (T) 土砂流が林間を流下するとき林床や樹木からうける流体力学的な抵抗力としては、林床からうける抗力 T_a 、立木や転倒木の樹幹周辺マサツ力 T_s 、転倒木による形状抵抗力 T_d が考えられ、これらの関係はそれぞれ次式で表わされる（平野：土木年講Ⅱ，1979）。

$$\left. \begin{aligned} T_{total} &= T_a + T_f + T_d \\ T_f &= A_d \tau_s = (\pi D H / 2) \tau_s = \{ C_* (\sigma - \rho) h + \rho h \} g \sin \theta \\ T_a &= \mu N = \mu \{ C_* (\sigma - \rho) h + \rho h \} g \cos \theta \\ T_d &= (\rho C_D V^2 A_d / 2) H \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

4. スギ林分における抵抗力の一解析例

4.1 折損抵抗力：冠雪荷重等による座屈試験によれば、針葉樹： $\sigma_b = 5 \times 10^{-3} E_g$ の関係があるので、1本のスギ立木 ($D = 20 \text{ cm}$) には $\sigma_b \approx 300 \text{ kg f/cm}^2$ の折損抵抗力が推定される。

4.2 転倒抵抗力：抜根試験からえられる転倒エネルギーと直径の関係は、 $R_t = 6.30 D^{2.26}$ （図-4）となり、 $D = 20 \text{ cm}$ の立木には $R_t = 15 \text{ kg f/cm}^2$ の転倒抵抗力が推定される。

4.3 衝撃エネルギー吸収能：落石防止柵の許容最大変位量の設計指針（最大たわみ角 $\theta_0 = 15^\circ$ ）によれば、立木のエネルギー吸収能は抜根試験の弾性域における R_{max} の70%程度の抵抗力が求められるので、 $E_d = 0.7 R_{max} = 25.0 D^{1.53}$ より $E'_d = 8 \text{ kg f} \cdot \text{m/cm}^2$ が推定される。

4.4 流体力学的抵抗力：式（5）は土砂流の規模や流下区間の立地条件によって複雑に変化するので、各抵抗力はモデル的な斜面と樹林帯規模に対応して計算される。

5. モデル斜面での適用例

スギ20年生林分 ($D = 20$, 2000 本/h a , $\theta_1 = 20^\circ$) において、転倒と林床摩擦による抵抗力のみを仮定して、 $h = 1 \text{ m}$, $V = 6 \text{ m/sec}$, $\omega = 1.5 \text{ t f/m}^2$ の土砂流に対する樹林帯の抵抗例数を試算すると図-5となる。

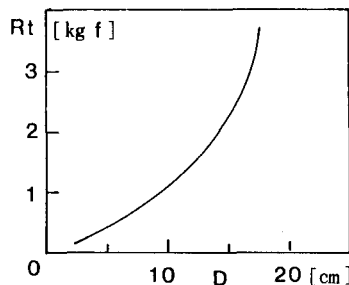


図-4 転倒エネルギーと根元直径

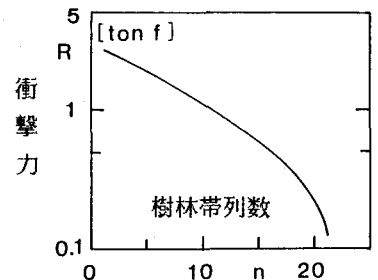


図-5

土砂流に対する樹林帯列数モデル