

## 多摩丘陵の急傾斜地崩壊空間における樹木根系の力学的負荷低減効果について

神奈川県 正会員 ○遠藤 清亮

神奈川県 正会員 田口 雅丈

## 1. はじめに

多摩丘陵（川崎市）の斜面林や斜面緑地には地形分類による急傾斜地が散在している。多数の急傾斜地は戸建住宅地や集合住宅団地に隣接していることから、土砂災害のおそれのある範囲には「土砂災害警戒区域」が指定されている。さらに土砂災害警戒区域のうち急傾斜地の崩壊により建築物に損壊が生じ、住民に著しい危害を及ぼすおそれがある範囲では、「土砂災害特別警戒区域」に関する基礎調査が実施されている。急傾斜地の表層には環境に応じて、多種多様な植物や樹木が生育していることから、根系の力学的機能により表層崩壊に関わる「作用力と影響範囲」の減少が推測される。このことから、著者らは多摩丘陵の斜面勾配30度以上、高さ5m以上ある急傾斜地の崩壊が仮に生じた時に設定される「作用力と影響範囲」について、根系を崩壊規模の影響因子として捉え、地形と地質等のパラメータの移行とあわせて各種演算を行った。その結果の差異により、斜面表層崩壊現象を想定した事案から、根系の力学的機能による負荷低減効果を評価するものとした。

## 2. 根系を考慮した急傾斜地表層の安定度評価と崩壊深度について

急傾斜地樹木根系の深度方向の密度分布をWeibull確率関数<sup>1)</sup>で分析し、その結果を無限長斜面安定解析の滑動抵抗力で採用して、斜面安全率を計算した結果と、根系分布  $f(z)$  を深度方向に表示したものが図-1である。これは、斜面崩壊の原因地の現象から被害想定範囲を設定するうえで、関係する崩壊深度を根系有無の観点から比較し検討するものとした。斜面崩壊現象の深度を採用するため局所安全率=1を基点として、各ケースの深度を比較すると根系無で表層から0.65m、根系有（ $\beta = 1.0$ ）で表層から0.85mであることが識別できる。

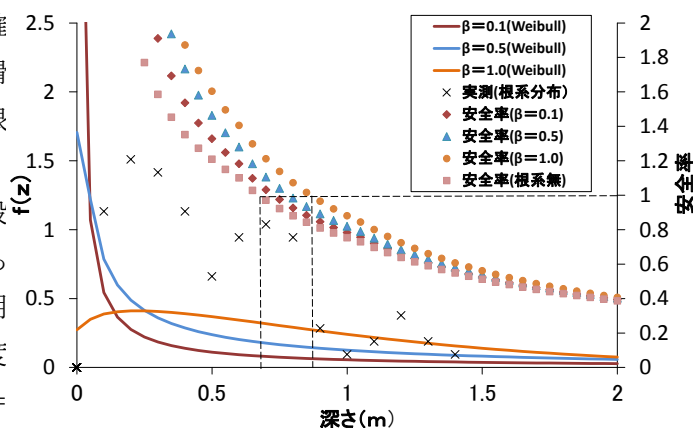


図-1 表層の根系分布と安全率の推移

## 3. 急傾斜地崩壊が生じた仮定に基づく影響力と範囲の分析について

急傾斜地（勾配30度以上、高さ5m以上）の表層が崩壊したものと仮定した場合に、その下端で受ける「影響力と範囲」を数値的に分析するうえで、原因地の崩壊土量の算出に関して過去の災害履歴と地形規模により決定づけられるポテンシャルは高い。さらに崩壊深度が一要因となっていることから、樹木根系の力学的効果を採用した重合法や線形結合による崩壊空間分布の評価から「影響力と範囲」の推移を考察するものとした。

## 3. 1 急傾斜地表層の根系を考慮した力学的な低減効果

急傾斜地崩壊の影響力を「移動による力（以下、 $F_{sm}$ ）」<sup>2)</sup>から根系強度特性による効果の採用を前提に算出するものとした。 $F_{sm}$ (式-1)は、土石の移動の高さ $h_{sm}$ を簡易計算法とFEM解析により、表層安定度を評価した各

$$F_{sm} = \rho_m g h_{sm} \left\{ \frac{\cos \theta_u \left\{ \tan \theta_u - \frac{(\sigma-1)c}{(\sigma-1)c+1} \tan \phi \right\}}{\frac{2}{(\sigma-1)c+1} f_b} (1-e^{-\frac{2}{(\sigma-1)c+1} f_b H}) + \frac{\cos \theta_d \left\{ \tan \theta_d - \frac{(\sigma-1)c}{(\sigma-1)c+1} \tan \phi \right\}}{\frac{2}{(\sigma-1)c+1} f_b} (1-e^{-\frac{2}{(\sigma-1)c+1} f_b x}) \right\} \quad \dots \text{式-1}$$

ここに、 $H$ : 急傾斜地の高さ(m)、 $\theta_u$ : 急傾斜地の傾斜度(°)、 $x$ : 急傾斜地の下端から建築物までの水平距離(m)、 $h_{sm}$ : 土石等の移動の高さ(m)、 $\theta_d$ : 急傾斜地の下端から平坦部の傾斜度(°)、 $\rho_m$ : 土石等の密度(t/m³)、 $g$ : 重力加速度(m/s²)、 $\sigma$ : 土石等の比重、 $c$ : 土石等の容積濃度、 $f_b$ : 土石等の流体抵抗係数、 $\phi$ : 土石等の内部摩擦角(°)

キーワード 樹木根系、Weibull 確率関数、斜面安定解析、FEM、崩壊深度、移動による力、崩壊影響範囲

連絡先 〒214-0038 神奈川県川崎市多摩区生田 4-25-1 神奈川県 横浜川崎治水事務所 川崎治水センター TEL044-932-7211

ケースから局所安全率=1の時の想定深度を定数とし、斜面表層の樹木根系の力学的負荷低減効果を発現させるため、内部摩擦角 $\phi$ に根系強度を加えた値も定数として演算することにした。また、斜面の高さの最小値5m、最大値10mおよび勾配30°、35°、40°の各ケースを組み合わせ、斜面下端からの到達距離に応じた $F_{sm}$ (斜面勾配30°)と各ケースに対する根系の有無を力学的に考慮した「 $F_{sm}$ の差分」について、算出した結果を図-2に示す。 $F_{sm}$ (根系無)は斜面高5、10m共に、図-3の無限長FEMメッシュ図の範囲で解析した結果が簡易計算値を上回る結果となっている。これは局所安全率=1の深度に差異があることから生じている。

根系の力学的負荷低減効果として、力の差分から斜面高5mで10kN/m<sup>2</sup>程度、斜面高10mで11kN/m<sup>2</sup>程度が発現していることから、適正な維持管理を実施している樹木を残した斜面は根系の影響により、 $F_{sm}$ を緩和させる有効な結果が得られた。また、樹木根系の有無による内部摩擦角の差異と斜面勾配の関係から、斜面高5、10m共に $F_{sm}$ の低減効果も確認ができる。

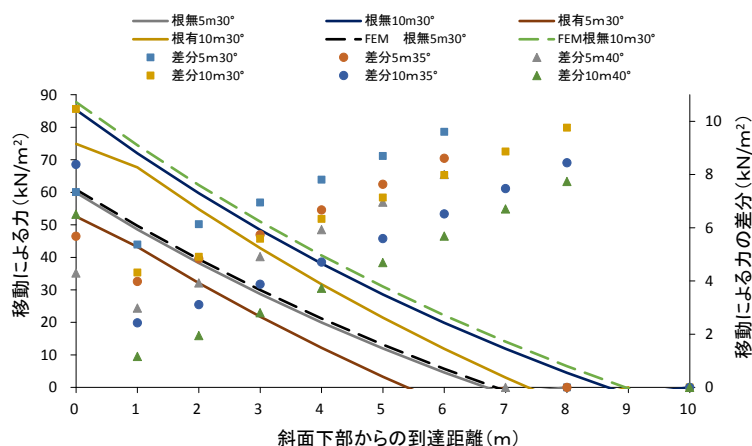


図-2  $F_{sm}$ と差分(根系有無)の推移

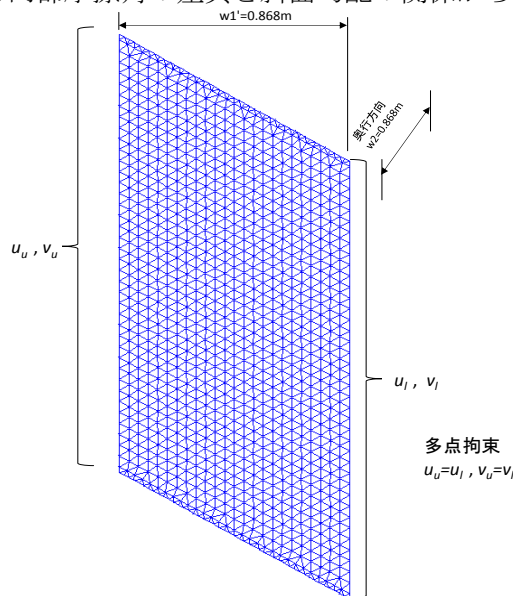


図-3 無限長FEMメッシュ図(根系無)

### 3. 2 急傾斜地表層の根系を考慮した崩壊影響範囲の変動

影響力とそれに対する建築物の耐力の関係から、急傾斜地下部の崩壊影響範囲を検討するため、樹木の根系低減効果の有無に関する $F_s$ と式-2で表した急傾斜地下端に存在する「建築物の構造耐力 $P_1$ 」<sup>2)</sup>を比較検討した結果から崩壊影響範囲の変動を推定するものとした。

$$P_1 = \frac{35.3}{H_1(5.6 - H_1)} \quad \dots \text{式-2}$$

ここに、 $H_1$ :崩壊等に伴う土石等の移動の高さ(m)

土砂災害崩壊影響範囲の基礎となる到達距離の推移を図-4に示す。到達距離は根系の有無の各ケースで安定計算とFEM解析結果を用いて、式-1、式-2から線形方程式を導くものとした。根系による力学的負荷低減効果の発現として高さ10m、角度30°で、無限長FEM解析結果の到達距離は1.8mの差異が生じることが認められる。

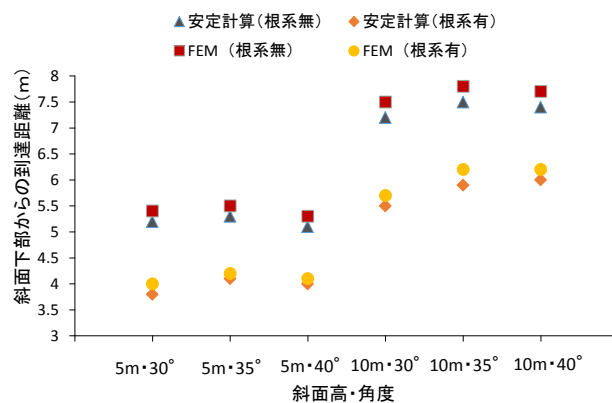


図-4 斜面規模に対する到達距離の推移

### 4. おわりに

急傾斜地表層崩壊空間の「作用力と影響範囲」に関する低減効果を数値化して推察したが、現地樹木等の生育環境により、根系低減効果の発現結果が離散することも想定される。今後は災害履歴データによる崩壊空間の把握と整理、樹木根系の密度や力学特性をFEM解析と実験を重ねて精度の確認と向上を図っていききたい。

#### 【参考文献】

- 1) 遠藤清亮、田口雅丈：多摩丘陵内急傾斜地の樹木による斜面表層崩壊抑止効果の定量化 土木学会全国大会第73回年次学術講演会 講演原稿 2018
- 2) 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令 2001