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

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

多摩丘陵内の急傾斜地にはローム層が広範囲に堆積していることから、樹木根系の発達により斜面表層崩壊の抑止効果を発揮することが想定される。丘陵地には住宅地が広範囲に隣接し、都心部に近いことから二酸化炭素の吸収・固定、生物多様性の確保、周囲との景観の調和に配慮して、既存樹木を残した斜面空間をより多く保全することが求められている。さらに、斜面防災機能の観点から樹木根系の土壌保持力や支持力による表層の維持固定、洗掘防止、基盤の風化抑制のため、継続的に急傾斜地表層の安定を維持することが重要となっている。そこで、著者らはローム層から構成される斜面表層において、樹木根系の力学作用により土の粘着力の成分が増加するものと設定し、根系の力学的な有効性や表層の安定性を現場試験、数値計算を適用した検証を行い、斜面表層の崩壊抑止効果を定量化し把握するものとした。

２．斜面表層の樹木根系範囲の分布について

深度方向の根系体積分布はWeibull確率関数により定義[1]されている。図-1[2]に示すような樹木(欅)に関する根系の斜面表層崩壊抑止効果を把握するものとして、はじめに深度方向の体積の分布を数値化するため、以下の関数により検証するものとした。

Weibullの累積分布関数F(z)はzを斜面表層の深度関数とすると式-1が得られ、形状係数βは式-1より式-2が導かれる。

$$F(z)=1-\exp\left\{-\left(\frac{z-a}{\alpha}\right)^{\beta}\right\}$$ ・・式-1、　$$\beta=\frac{log_{10}\{-ln(1-F(z))\}}{log_{10}\left(\frac{z-a}{\alpha}\right)}$$ ・・式-2

さらに確率密度関数f(z)は累積分布関数を深度関数zで微分すると式-3が得られる。

$$\frac{\partial F(z)}{\partial z}=\frac{\beta}{\alpha^{\beta}}(z-a)^{\beta-1}\exp\left\{-\left(\frac{z-a}{\alpha}\right)^{\beta}\right\}$$ ・・・式-3

また、根系の深度最大範囲は2mとして検討するものとした。

ここに、ｚ：深度（m）、α：尺度係数、β：形状係数、ａ：位置係数とする。

6ｹｰｽの形状係数βにより確立密度関数ｆ（ｚ）を計算値と実測値[2]および形状係数を重ね合わせた結果を図-2に示す。実測値は深度50cmを境とした密度分布を示し、大半の根系密度は深度70cm未満に集中していることから、線形としてみると計算値と差異が生じていることが認められる。さらに深度ごとに算出した係数βは根系が密に分布している深度70ｃｍ未満について、0から1の範囲に集中していることが認識できる。そこでβ＝0.1、0.5、1として、斜面安定力学計算の密度分布として採用するものとした。累積密度分布を図-3に示す。実測値(深度1mまで)はβが0.1～1の計算値の範囲内にあることを把握できる。

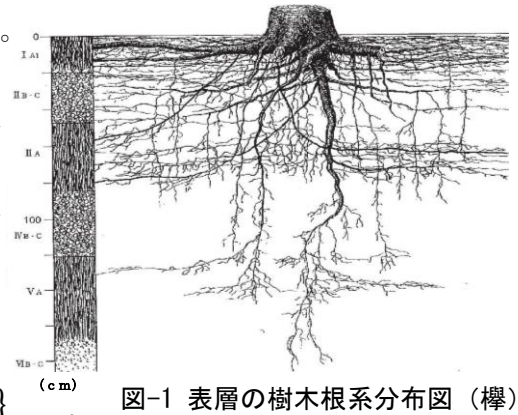

図-1 表層の樹木根系分布図（欅）

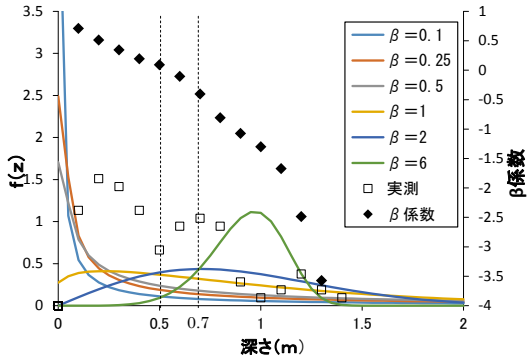

図-2　Weibull確率密度関数ｆ(ｚ)の推移

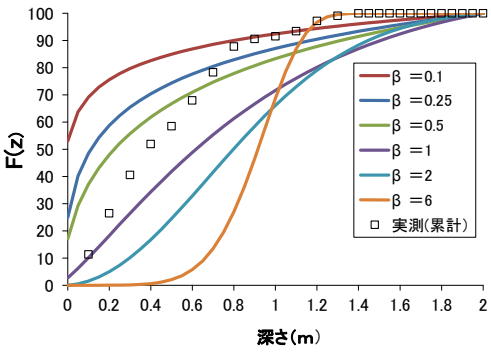

図-3　Weibull累積分布関数F(z)の推移

キーワード　斜面表層崩壊、樹木根系、Weibull確率関数、多変量解析、根系引張試験、斜面安定計算
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　℡044-932-7211

３．根系の現場引張試験による検証

急傾斜地表層の根系の力学特性を把捉するため、樹木、根系の寸法計測と引込試験を実施した。試験方法は図-4 に示すとおり、欅の根系の口元から各種試験機器を配置し、引込力と変位量の挙動を計測するものとした。また、地盤と根系の摩擦抵抗および形状抵抗は一体として捉えて把握するものとした。欅の根本口直径と引張抵抗力の関係を図-5 に示す。直径と引込抵抗力について正の相関が得られることから、傾斜地表層部の粘着力増加分として深度方向の密度変化とともに斜面安定解析に反映させることにした。さらに、引込 13 試験で得た引込抵抗力と根系の寸法計測で得た各値(根の直径、長さ、長径、樹木高)を要因とした、主成分分析を実施した結果を図-6 に示す。主成分 1 は＋が根の直径、－が根の長径を示す合成強度を表し、根の直径と根の長さは主成分負荷量が同符号であり、相似した傾向を持った変数であることが認識できる。

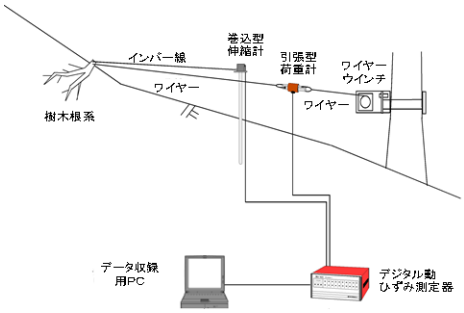

図-4　現場根系引込試験の模式図

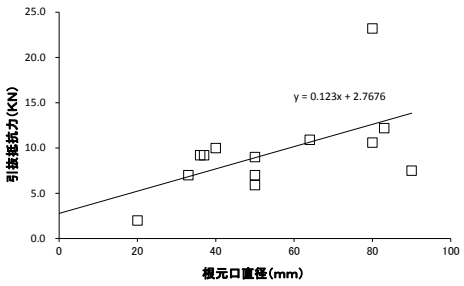

図-5　直径と引込抵抗力の関係（欅）

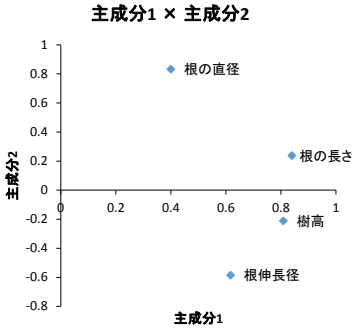

図-6　試験因子の主成分分析結果

４．根系を取り入れた無限長斜面の安定計算による評価

多摩丘陵内の急傾斜地表層の根系による抑止効果を定量的に評価するため、根系の Weibull による密度分布、引込試験、土質調査結果等を用いた、根系の力学作用を取り入れた無限長斜面における抑止力と安定度の深度方向に対する推移を式-4 により算出し、力学的な特性を検討するものとした。

$$S_r = \frac{C + \left\{\gamma_t (H-h) + \gamma_{sat} \cdot h + P/\left[(WD\cos\theta)\cos\theta\right] - \gamma_w \cdot h\right\}\tan\phi + \Delta C}{\left\{\gamma_t (H-h) + \gamma_{sat} \cdot h + P/(WD\cos\theta)\right\}\cos\theta\sin\theta} \quad \cdots \text{式-4}$$

ここに、C：粘着力(kN/m^2)、γ_t：土の単位体積重量(kN/m^3)、γ_{sat}：土の飽和単位体積重量(kN/m^3)、γ_w：水の単位体積重量(kN/m^3)、H：斜面ﾌﾞﾛｯｸ高(m)、W：斜面ﾌﾞﾛｯｸ幅(m)、D：斜面ﾌﾞﾛｯｸ長(m)、h：地下水位(m)、P：樹木重量(kN)、θ：崩壊角(°)、ϕ：土のせん断抵抗角(°)、ΔC：根系による増分粘着力(kN/m^2)とする。

多摩丘陵地の急傾斜地における土質等各種ﾊﾟﾗﾒｰﾀにより、3 ｹｰｽの形状係数と根系無の状況で安全率等を算出した結果を図-7 に示す。すべり抵抗力について、浅層は根系量が多いことから根系補強効果が大きく、深層は根系量が減少するに従い根系補強効果が低減している。さらに、斜面滑動安全率が 1.0 の深度は根系有で 0.8m程度、根系無で 0.5m程度の結果が認められ、根系の有無による斜面表層崩壊抑止効果の差異が把握できる。

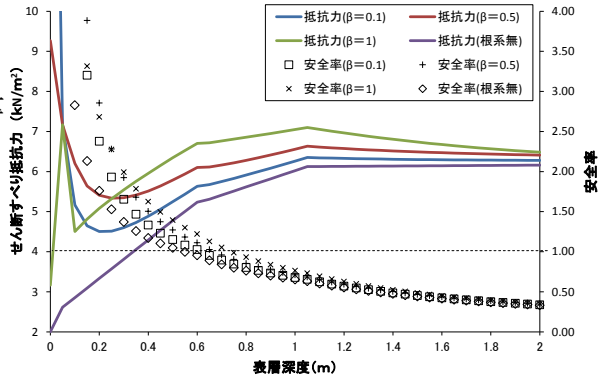

図-7　根系を考慮した斜面安定計算結果

５．おわりに

多摩丘陵地内の急傾斜地の表層崩壊に対する樹木根系の抑止効果を試験、無限長斜面安定計算等により定量化を実施し、抑止効果を把握することができた。今後は根系抑止効果を導入した有限長斜面安定計算やFEM解析を用いて、斜面表層崩壊の抑止に対する現象把握の精度をさらに向上させていく予定である。

【参考文献】

１）阿部和時：樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究　森林総研研報No373　1997年
２）刈住昇：最新樹木根系図説各論　誠文堂新光社　2010年