

【建設工学研究所論文報告集第 63 号〔報告〕2021 年 11 月】

樹木根系による粘着力増分を考慮した無限長斜面安定解析式の提案

Proposal of Infinite Slope Stability Analysis Considering Effects of Additional Cohesion from Roots

鳥居 宣之 増本 慎次郎 野並 賢
Nobuyuki Torii Shinjiro Masumoto Satoshi Nonami

1. はじめに

わが国は国土の約 70%が山地・丘陵地で構成され、また脆弱な地質が広く分布している。さらに、梅雨期や台風期には、しばしば豪雨に見舞われるなど、斜面災害が発生する危険性が高い環境下に置かれている。その結果、毎年のように斜面災害によって多くの尊い命や財産が奪われてきた。さらに、近年の地球温暖化等の進行の影響により集中豪雨の発生回数が増加しており、斜面災害の危険性がますます高まってきている。わが国の斜面災害としては、地すべり、土石流、がけ崩れの 3 種類に分類され、それらの発生回数の内、がけ崩れが約 70%を占めており、その中の大部分を比較的浅い位置ですべり崩壊が発生する表層崩壊が占めている。このような表層崩壊による被害を軽減させるためには、崩壊する可能性のある場所や時刻を事前に評価・予測することが不可欠であり、そのためには、対象地域の土質・地形条件ならびに降雨特性などの地域の表層崩壊発生の要因を考慮に入れることのできる力学モデルによる表層崩壊発生の危険度評価が重要となる。このような力学モデルとしては、降雨浸透による表土層内の地下水位の変動とそれに伴う表層崩壊発生の危険度の変化を定量的に評価する手法を用いる必要があり、代表例として、沖村・市川の手法¹⁾がある。この手法では、物理モデルである無限長斜面安定解析式を用いて斜面の安定性を評価しており、樹木根系の効果として、根系による鉛直方向の粘着力効果を粘着力増分という形で考慮している。樹木根系の表層崩壊発生の抑止効果の研究として、塚本²⁾や阿部³⁾による樹木根系の現地調査によって、樹木根系の効果を求める手法が数多く考案されてきた。また、北原⁴⁾は根系の粘着力増分において、鉛直・水平両方向の粘着力増分がどちらも重要であると報告しているが、従来の無限長斜面安定解析式を用いている手法では、沖村・市川¹⁾や今井⁵⁾の手法のように鉛直方向の粘着力増分は考慮されているが、水平方向の粘着力増分は考慮されていない。このような背景から、筆者らが所属する研究室⁶⁾では、樹木の上載荷重及び鉛直根・水平根の粘着力増分を考慮した無限長斜面安定解析式を提案し、その有用性を検討してきた。しかし、この手法では水平根の粘着力増分は樹木根系の分布に関わらずすべり面までの深さに比例して大きくなるように設定しており、安定性を過大評価していると考えられる。そこで、本研究では樹木根系の体積分布に着目し、上述した問題点を改良した樹木根系による粘着力増分を考慮した無限長斜面安定解析式を提案することを目的としている。

2. 樹木根系の影響を考慮した無限長斜面安定解析式

2. 1 従来の提案式

筆者らが所属する研究室⁶⁾が提案してきた無限長斜面安定解析式は、(1)式で表される(図-2.1参照)。なお、水平方向の粘着力増分は右辺の第二項で表されている。

$$F_s = \frac{C_s + C_{rv} + A \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{B \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} + \frac{C_{rh}}{B \cdot \sin \theta} \cdot \frac{H_s}{D}$$

$$A = q_0 + \gamma_t \cdot (H - h) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot (h - H_z) \quad (1)$$

$$B = q_0 + \gamma_t \cdot (H - h) + \gamma_{sat} \cdot (h - H_z)$$

ここに、 F_s : 安全率、 θ : 潜在すべり面の傾斜角 ($^\circ$)、 H : 表土層深 (基岩面から地表面までの高さ) (m)、 H_s : 潜在すべり面から地表面までの高さ (m)、 h : 基岩面から地下水面までの高さ (m)、 H_z : 基岩面から潜在すべり面までの高さ (m)、 D : 数値標高モデル (DEM) における単位格子幅 (m)、 C_s : 土の粘着力 (kN/m^2)、 ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)、 γ_t : 土の湿潤単位体積重量 (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)、 C_{rv} : 根系による鉛直方向の粘着力増分 (kN/m^2)、 C_{rH} : 根系による水平方向の粘着力増分 (kN/m^2)、 q_0 : 樹木による上載荷重 (kN/m^2)

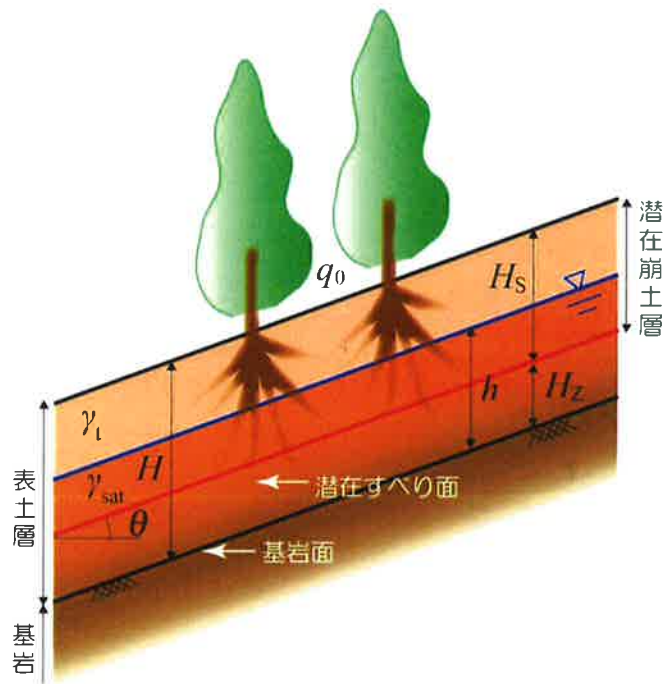


図-2. 1 樹木根系による粘着力増分を考慮した無限長斜面安定解析式概念図

2. 2 本研究における提案式

(1)式において、水平根の粘着力増分を $C_{rH} \times H_s$ という式で考慮しており、表土層 H_s が深くなるにつれて値も大きくなるようになっている。しかし、樹木根系は図-2. 2³⁾のように深度方向には一様には分布しておらず、水平根の粘着力増分も同様に分布すると考えられるため、(1)式では水平根の粘着力増分を過大評価していることがわかる。そこで、本研究では水平根の粘着力増分が以下の(2)式で表せると考え、 f という関数を推定していくこととする。

$$f \times C_{rH} \quad (2)$$

ここに、 C_{rH} : 根系による水平方向の粘着力増分 (kN/m^2)、 f : 水平根の分布状態を考えたときの関数

2. 2. 1 樹木根系の体積分布の考慮

樹木根系の崩壊防止力を評価する場合、樹木の根の分布状態を知る必要がある。しかし、一般的に地面を掘り返して調べることは困難であるため、樹高や胸高直径などの地上部の測定可能な情報だけで推定できる方法を開発する必要がある。そこで、阿部³⁾はスギ根系を対象として、深さ方向の体積分布を推定するため、ワイブル分布を用いて10cm厚土層ごとの体積の分布を(3)、(4)式で表現している。

$$V(z) = \left\{ \int_z^{z-1} f(z) dz \right\} V_r \quad (3)$$

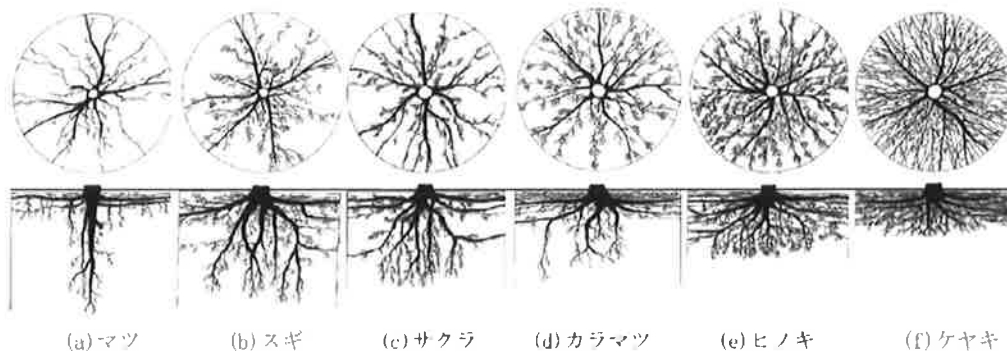


図-2. 2 樹種ごとの樹木根系の分布⁵⁾

$$f(z) = \frac{m(z-\gamma)^{m-1}}{\alpha_0} \cdot e^{-(z-\gamma)^m/\alpha_0} \quad (4)$$

ここに、 $V(z)$: 10cm 厚土層内の根の体積 (cm^3)、 V_r : 根系全体の体積 (cm^3)、 z : 根の最大伸長深さの階級 ($z = 1, 2, 3, 4, \dots$ $z = 1$ のとき深さ $0 \sim 10\text{cm}$ を、 $z = 2$ のとき深さ $10 \sim 20\text{cm}$ を表す)、 Z_{max} : 根の最大伸長深さ (cm)、 $f(z)$: ワイブル確率関数

(3) 式のワイブル確率関数は、 γ 、 m 、 α_0 の 3 つのパラメータによって決まる。 γ は、位置のパラメータといわれ、ワイブル関数の始点を決める。根の分布の場合、地表面 ($z = 0$) での根の体積はゼロであるため、 γ は 0 となる。 m は形のパラメータで、ワイブル曲線の線形を決める役割を持つ。 α_0 はスケールパラメータといわれ、ワイブル曲線の広がりを表す。 m 、 α_0 は以下の (5)、(6) 式でそれぞれ表せる。

$$m = 2.0 / \{\log Z_{max} - \log(0.3522Z_{max} - 10.7990)\} \quad (5)$$

$$\alpha_0 = (0.3522Z_{max} - 10.7990)^m \quad (6)$$

ここに、 Z_{max} : 根の最大伸長深さ (cm)

2. 2. 2 樹木根系の体積分布の推定

スギ根系の体積分布を阿部³⁾の示した(3)式と、日本リサイクル緑化協会⁷⁾が提示した以下の(7)式を用いて推定する。推定した樹木根系の体積分布を図-2. 3に示す。

$$V_r = -6.0974d^3 + 4.4263d^2 + 0.0012d \quad (7)$$

ここに、 V_r : 根系全体の体積 (m^3)、 d : 胸高直径 (m)

図-2. 3より、最大伸長深さの半分ほどの深さの時点で、樹木根系の体積は全体の9割を占めることがわかる。このことより、地下部の樹木根系の及ぼす影響は深さ方向に一定ではなく、地表面に近い場所で大きくなると考えられる。したがって、従来式における水平根の粘着力増分が等分布しているという考え方では不十分であるといえる。また、樹木根系の体積分布は樹種毎の根の最大伸長深さ Z_{max} から求められるが、 Z_{max} の測定は困難であるため、本研究では胸高直径より推定する方法を用いる。今井⁵⁾が示した根の深さ(最大伸長深さ)と胸高断面積の関係から、スギとヒノキそれぞれの根の最大伸長深さと胸高断面積の関係式を導き出し、その式を以下に示す。

$$\text{(スギ)} \quad \log Z_{max} = 0.505 \log A + 1.007 \quad (8)$$

$$\text{(ヒノキ)} \quad \log Z_{max} = 0.406 \log A + 0.716 \quad (9)$$

ここに、 Z_{max} : 根の最大伸長深さ (m)、 A : 胸高断面積 (m^2)

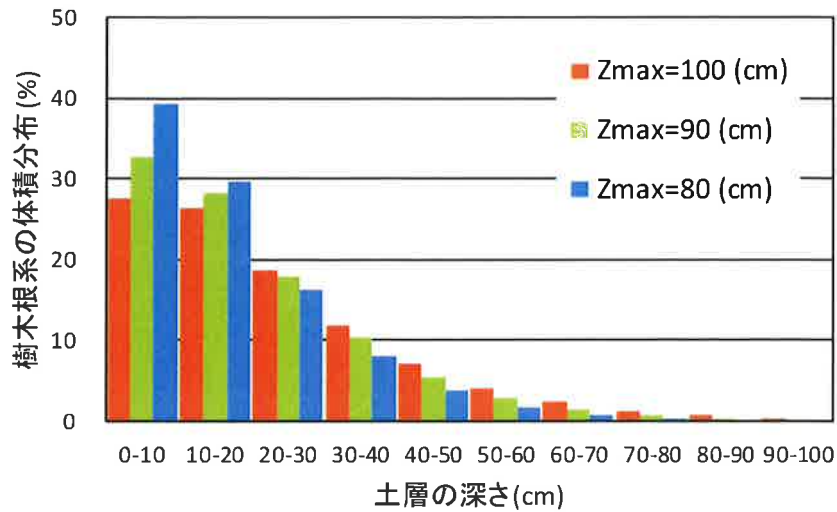


図-2. 3 最大伸長深さ $Z_{max}=100$ (cm)、 $Z_{max}=90$ (cm)、 $Z_{max}=80$ (cm) のときの樹木根系の 10cm 厚土層毎の体積分布

2. 2. 3 水平根の粘着力増分の推定

上述した根の深さと根の体積分布を考慮し、以下の提案式で水平根の粘着力を胸高直径 DBH 毎に推定する。水平根の分布状態を考えた場合の水平根の粘着力増分の結果を以下の図-2. 4、5 に示す。

$$f = H_{max} \times \alpha \tag{10}$$

$$\alpha = \frac{V_s}{V_r} \tag{11}$$

ここに、 f : 水平根の分布状態を考えたときの関数、 H_{max} : 水平方向の粘着力を生じる根の最大深さ (m) (図-2. 6 に示すように、樹種による最大伸長深さ Z_{max} とすべり面深さ H_s を比較し小さい方を H_{max} とする)、 V_s : すべり面までに存在する根の体積 (m^3)、 V_r : 根の総体積 (m^3)

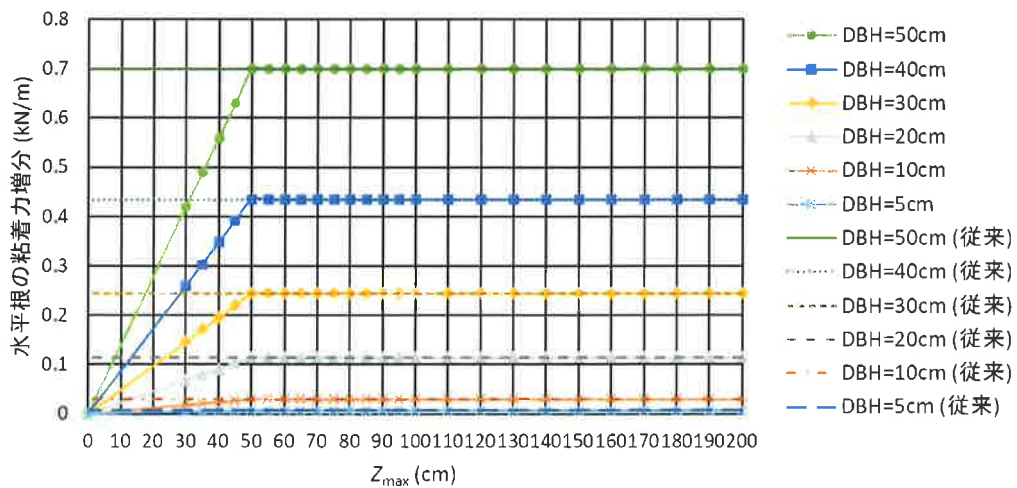


図-2. 4 すべり面深さ $H_s=50$ cm、基岩面深さ $H=50$ cm の場合の水平根の粘着力増分

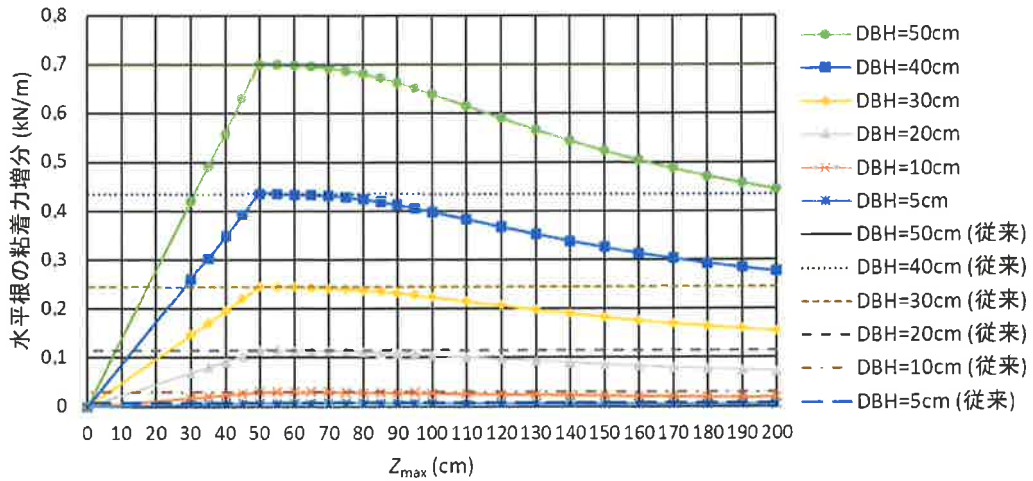


図-2. 5 すべり面深さ $H_s=50\text{cm}$ 、基岩面深さ $H=100\text{cm}$ の場合の水平根の粘着力増分

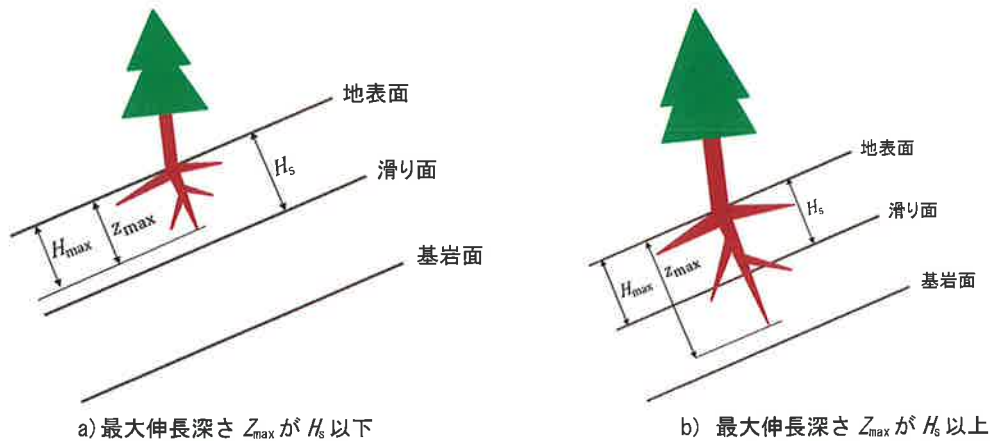


図-2. 6 H_{max} と Z_{max} 、 H_s との関係の概念図

図-2. 4 に示すように、基岩面深さ H とすべり面深さ H_s が等しい場合、a) 根の樹種による最大伸長深さ Z_{max} が H_s 以下である限り提案式の水平方向の粘着力は従来式を下回るが、b) 根の樹種による最大伸長深さ Z_{max} が H 、 H_s 以上である場合、提案式の水平方向の粘着力は従来式と等しいこととなる。その理由として、a) の場合、従来式では根がすべり面深さまで等分布しているという考えに基づいているため、そこまで根が達していない状態であれば水平方向の粘着力を余分に算出している。一方、提案式ではそれを是正しているため、値が小さくなっている。また、b) の場合、この条件では常に根がすべり面に到達しているため、従来式と提案式で値は変わらないこととなる。

図-2. 5 に示すように、基岩面深さ $H >$ すべり面深さ H_s の場合、根の樹種による最大伸長深さ Z_{max} が H_s と等しい場合を除き、提案式の水平方向の粘着力は従来式を下回る。 $Z_{max} \leq H_s$ の条件の場合は図-2. 4 と同様であり、一方、 $Z_{max} > H_s$ の条件の場合は、従来式では根がすべり面深さまで等分布しており、すべり面までで根が持つ最大の力が発揮されるという考えであるため、すべり面以深に根が存在する条件の場合に粘着力を過大に評価していたことになる。

2. 2. 4 樹木根系の重量の考慮

従来式では、表土層の重量を考慮する場合、表土層内の樹木根系の存在は無視されている。樹木根系の単位体積重量は土の単位体積重量と比較すると非常に小さく、従来式では表土層の重量を過大に算定していると考えられる。そこで、図-2. 7 に示すように地下部の樹木根系の体積を地下水面を二分し、地下水面以浅の樹木根系の体積を $V_{sr}(z)$ 、地下水面以深の樹木根系の体積を $V_{wr}(z)$ とする。さらに、樹木根系が地下部に占める重量とそれに伴って減少する土の

重量をまとめて樹木 1 本あたりの重量変化量 $R_i(z)$ (kN) とし、以下の式で表す。

$$R_i(z) = \gamma_r \cdot V(z) - \gamma_t \cdot V_{sr}(z) - \gamma_{sat} \cdot V_{wr}(z) \quad (12)$$

ただし、

$$h > H_z \text{ の場合 } V_{sr}(z) = \left\{ \int_0^{z_s} f(z) dz \right\} V_r, \quad V_{wr}(z) = \left\{ \int_{z_s}^{(z_s+z_w)} f(z) dz \right\} V_r$$

$$h \leq H_z \text{ の場合 } V_{sr}(z) = \left\{ \int_0^{z_{max}} f(z) dz \right\} V_r, \quad V_{wr}(z) = 0$$

ここに、 $R_i(z)$: 樹木 1 本あたりの重量変化量 (kN)、 γ_r : 樹木根系の単位体積重量 (kN/m³)、 $V_{sr}(z)$: 地下水面以浅の樹木根系の体積 (m³)、 $V_{wr}(z)$: 基岩面から地下水面までの樹木根系の体積 (m³)、 V_r : 樹木根系の総体積 (m³)、 z_s : 地下水面以浅の根の高さ (m)、 z_w : すべり面 - 地下水面間の根の高さ (m)、 z_{max} : すべり面 - 地表面間の根の高さ (m)

$R_i(z)$ を 1 つの格子内の樹木の分だけ用意し、それらを格子の面積で除することで単位面積当たりの重量に換算して (10) 式とともに (1) 式にあてはめると、以下のように表せる。

$$F_s = \frac{C_s + C_{rv} + A(z) \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{B(z) \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} + \frac{C_{rH}}{B(z) \cdot \sin \beta} \cdot \frac{\alpha \cdot H_{max}}{D} \quad (13)$$

ただし、

$$h > H_z \text{ の場合 } A(z) = q_0 + \gamma_t \cdot (H - h) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot (h - H_z) + \frac{1}{D^2} \sum_{i=1}^n R_i(z),$$

$$B(z) = q_0 + \gamma_t \cdot (H - h) + \gamma_{sat} \cdot (h - H_z) + \frac{1}{D^2} \sum_{i=1}^n R_i(z)$$

$$h \leq H_z \text{ の場合 } A(z) = q_0 + \gamma_t \cdot H_s + \frac{1}{D^2} \sum_{i=1}^n R_i(z), \quad B(z) = q_0 + \gamma_t \cdot H_s + \frac{1}{D^2} \sum_{i=1}^n R_i(z)$$

3. 樹木根系が安全率に与える検討結果

3. 1 解析条件

胸高直径 DBH やすべり面から地表面までの高さ H_s 、地下水位 h を変化させて安全率の変化を確認する。設定したデータを表-3. 1~3 に示す。鉛直根の粘着力増分 C_{rv} は、木之下ら⁶⁾が示した近似式で算出し、根の最大伸長深さ Z_{max} がすべり面深さ H_s を下回る場合は $C_{rv} = 0$ とした。

表-3. 1 解析に使用したデータ

データ名	値
土の湿潤単位体積重量	14.5(kN/m ³)
土の飽和単位体積重量	17.5(kN/m ³)
根の湿潤単位体積重量	9.71(kN/m ³)
土の内部摩擦角	40(°)
斜面勾配	20, 30, 40(°)
土の粘着力(湿潤)	3.5(kN/m ²)
土の粘着力(飽和)	0(kN/m ²)
基岩面からの地下水位	0.0, 0.5, 1.0, 1.5(m)
樹幹形状係数	0.5
樹高	8.0(m)
枝葉の多少による割合	0.3
1つの格子内の樹木の本数	20(本)
単位格子幅	10(m)
根系比重	0.99

表-3. 2 鉛直根の粘着力増分 C_{rV} の算出に使用する C_1 、 C_2 の値

DBH (cm)	5	10	15	20	30	40
C_1	0.08	0.16	0.57	1.01	1.40	1.69
C_2	-1.45	-1.45	-1.41	-1.41	-1.30	-1.27

表-3. 3 胸高直径ごとの水平根の粘着力増分 C_{rH}

胸高直径 DBH(cm)	針葉樹の水平根の粘着力増分 $C_{rH}(kN/m^2)$
5	0.015
10	0.061
15	0.139
20	0.226
30	0.494
40	0.870
50	1.412

3. 2 検討結果

3. 2. 1 表土層深 (1.5m) に対して根の最大伸長深さが十分小さい場合 ($DBH=0.05m$ とする)

斜面勾配 θ を 20、30、40° で変化させ、20° で地下水位 h を 0.0m、0.5m、1.0m、1.5m の場合をパターン 1、30° の場合をパターン 2、40° の場合をパターン 3 とする。検討結果の一例として、斜面勾配 θ を 30° とした場合 (パターン 2) の結果を図-3. 1 に示す。また、従来式で算出された安全率 F_s と提案式で算出された安全率 F'_s の差 ΔF_s を以下の (14) 式で算出し、その最小値 $\Delta F_{s\text{Min}}$ と最大値 $\Delta F_{s\text{Max}}$ をまとめたものを表-3. 4 に示す。

$$\Delta F_s = F'_s - F_s \tag{14}$$

ここに、 F'_s : 提案式で算出された安全率、 F_s : 従来式で算出された安全率

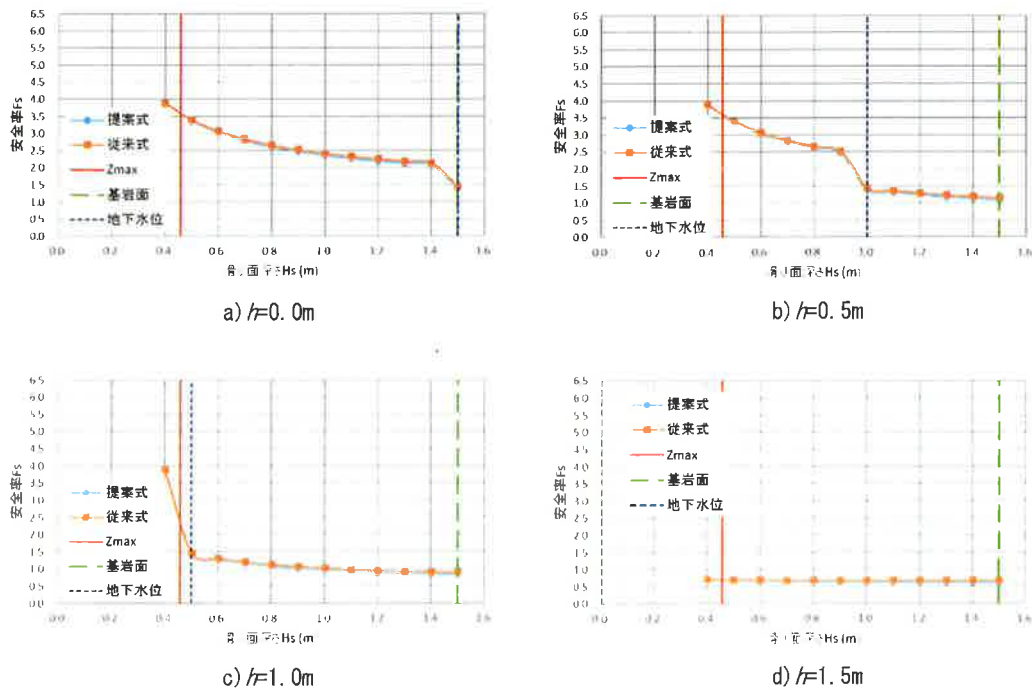


図-3. 1 すべり面深さ H_s と安全率 F_s の関係 (パターン 2)

表-3.4 パターン1~3における H_s と ΔF_s Min、 ΔF_s Maxの関係

	h (m)	H_s (m)	ΔF_s Min	H_s (m)	ΔF_s Max
パターン1	0.0	0.4	0.0058	1.5	-0.085
	0.5	0.4	0.0058	1.5	-0.080
	1.0	0.4	0.0058	1.5	-0.075
	1.5	0.4	0.0033	1.5	-0.070
パターン2	0.0	0.4	0.0039	1.5	-0.057
	0.5	0.4	0.0039	1.5	-0.054
	1.0	0.4	0.0039	1.5	-0.050
	1.5	0.4	0.0022	1.5	-0.047
パターン3	0.0	0.4	0.0031	1.5	-0.043
	0.5	0.4	0.0031	1.5	-0.041
	1.0	0.4	0.0031	1.5	-0.038
	1.5	0.4	0.0016	1.5	-0.035

検討結果より、パターン毎にはグラフの形状に大きな変化は見られず、斜面勾配が大きくなるほど、提案式と従来式で同様に安全率が低下する傾向が見られる。図-3.1より、共通して根の最大伸長深さ Z_{max} をすべり面深さ H_s が上回った所から、提案式と従来式の安全率に差が生じ始めていることがわかる。これは、樹木根系が存在しなくなる深さでは、樹木根系の崩壊抑止力がなくなるためだと考えられる。また、グラフの急落は、地下水位がすべり面にまで達することで土の粘着力 C_s が0になったことによるものである。各パターン内で、地下水面の位置にすべり面が発生した場合にほぼ等しい値を取っており、そこから徐々に安全率は低下していくため、地下水位が高いほど、地下水面における安全率は低く算出されることがわかる。また、地下水位が高くなるほど ΔF_s Maxの絶対値は小さくなっているが、これは土の飽和単位体積重量 γ_{sat} が増加することで $R_f(z)$ の値が小さくなったことが原因であると考えられる。

3.2.2 表土層深 (1.5m) に対して根の最大伸長深さが十分大きい場合 ($DBH=0.30m$ とする)

斜面勾配 θ を20、30、40°で変化させ、20°で地下水位 h を0.0m、0.5m、1.0m、1.5mの場合をパターン4、30°の場合をパターン5、40°の場合をパターン6とする。検討結果の一例として、斜面勾配 θ を30°とした場合(パターン5)の結果を図-3.2に示す。また、最小値 ΔF_s Minと最大値 ΔF_s Maxをまとめたものを表-3.5に示す。

表-3.5 パターン4~6における H_s と ΔF_s Min、 ΔF_s Maxの関係

	h (m)	H_s (m)	ΔF_s Min	H_s (m)	ΔF_s Max
パターン4	0.0	1.5	-0.43	0.4	-2.38
	0.5	1.5	-0.40	0.4	-2.38
	1.0	1.5	-0.37	0.4	-2.38
	1.5	1.5	-0.34	0.4	-2.01
パターン5	0.0	1.5	-0.29	0.4	-1.60
	0.5	1.5	-0.27	0.4	-1.60
	1.0	1.5	-0.25	0.4	-1.60
	1.5	1.5	-0.23	0.4	-1.35
パターン6	0.0	1.5	-0.22	0.4	-1.21
	0.5	1.5	-0.20	0.4	-1.21
	1.0	1.5	-0.19	0.4	-1.21
	1.5	1.5	-0.17	0.4	-1.02

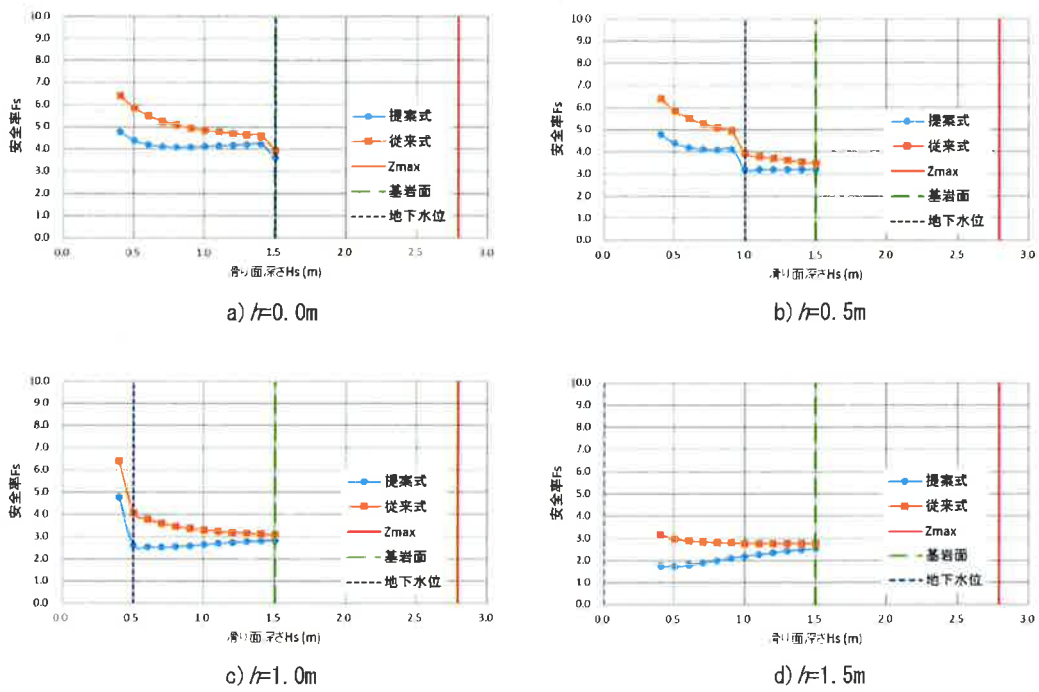


図-3.2 すべり面深さ H_s と安全率 F_s の関係 (パターン5)

検討結果より、3.2.1項と同様に、パターン毎にはグラフの形状に大きな変化は見られず、斜面勾配が大きくなるほど、提案式と従来式で同様に安全率が低下する傾向が見られる。また、グラフの急落なども3.2.1項と同様のことがいえる。しかし、3.2.1項とは異なり、全ての条件で共通してすべり面深さ H_s が小さくなった場合に提案式と従来式との差が大きくなる傾向のあることがわかる。これは、従来式では水平根の粘着力は常にすべての水平根が粘着力を発揮するとしているが、提案式では樹木根系の分布量を推定してすべり面以浅の水平根の粘着力増分を算出しているため、すべり面深さ H_s が浅くなるにつれて提案式における水平根の粘着力増分も小さくなることを反映しているからである。

3.2.3 表土層深 (1.0m) と根の最大伸長深さがほぼ等しい場合 ($DBH=0.10m$ とする)

斜面勾配 θ を 20、30、40° で変化させ、20° で地下水位 h を 0.0m、0.5m、1.0m の場合をパターン4、30° の場合をパターン5、40° の場合をパターン6とする。検討結果の一例として、斜面勾配 θ を 30° とした場合 (パターン5) の結果を図-3.3に示す。また、最小値 $\Delta F_s \text{ Min}$ と最大値 $\Delta F_s \text{ Max}$ をまとめたものを表-3.6に示す。

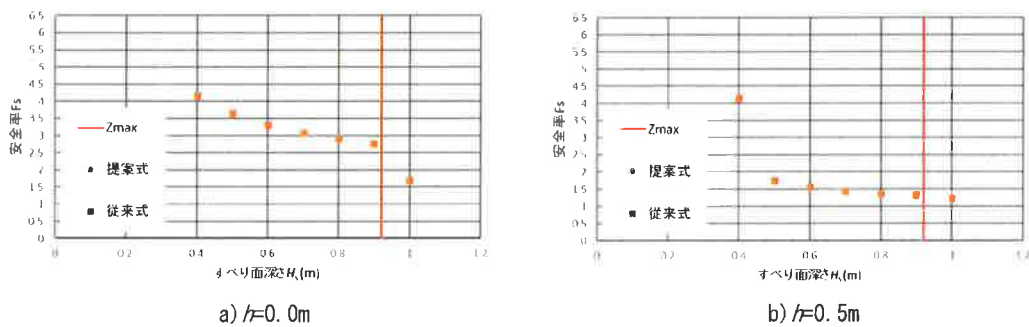
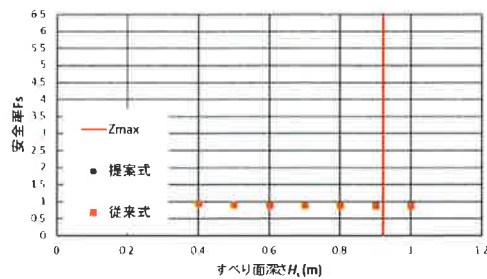


図-3.3 すべり面深さ H_s と安全率 F_s の関係 (パターン8)

c) $h=1.0\text{m}$ 図-3.3 すべり面深さ H_s と安全率 F_s の関係 (パターン8) (つづき)表-3.6 パターン7~9における H_s と $\Delta F_{s\text{ Min}}$ 、 $\Delta F_{s\text{ Max}}$ の関係

	h (m)	H_s (m)	$\Delta F_{s\text{ Min}}$	H_s (m)	$\Delta F_{s\text{ Max}}$
パターン7	0.0	0.6	-0.0019	1.0	-0.050
	0.5	0.9	0.00014	1.0	-0.047
	1.0	0.6	-0.00087	1.0	-0.037
パターン8	0.0	0.6	-0.0015	1.0	-0.034
	0.5	0.9	0.00010	1.0	-0.031
	1.0	0.6	-0.00068	1.0	-0.025
パターン9	0.0	0.6	-0.00074	1.0	-0.026
	0.5	0.9	0	1.0	-0.024
	1.0	0.6	-0.00062	1.0	-0.019

検討結果より、他の検討と同様に、パターン毎にはグラフの形状に大きな変化は見られず、斜面勾配が大きくなるほど、提案式と従来式で同様に安全率が低下する傾向が見られる。また、すべり面が根の最大伸長深さを下回っている場合以外は、提案式と従来の式との間に安全率の差はほとんど現れなかった。

4. まとめ

本研究では、従来提案した樹木根系の影響を考慮した無限長斜面安定解析式に、樹木根系の体積分布の深度方向の影響を新たに考慮することで式の改良を試みた。樹木根系の体積分布の影響を考慮して水平方向の粘着力増分を改良したところ、安全率が従来のモデルより低下するという結果を得た。安全率が低下する主な条件は、表土層深に対して根の最大伸長深さが十分小さい場合の条件では、樹木根系が存在しない場所にすべり面が発生する場合であり、表土層深に対して根の最大伸長深さが十分大きい場合では、水平根の粘着力増分が低下する場合であった。これらのことより、表層崩壊は樹木根系が存在しない箇所が発生しやすいことがわかる。また、樹木根系が基岩面付近にまで達している場合には、表土層の比較的浅い箇所が発生するという結果を得た。これは、樹木根系が持つ崩壊抑止力は樹木根系が存在している場所でのみ発揮されると考えて安定解析式を改良したため、従来式で過大評価していた崩壊抑止力を是正したためと考えられる。したがって、樹木根系の分布を考慮した本研究での提案式を用いることにより、より適切に樹木根系の粘着力増分を評価できたとはいえる。

しかし、図-2.2からも読み取れるように、樹木根系は地表面に近いほど太い根を持つため、地表付近の崩壊抑止力は大きくなると考えられ、本研究では樹木根系の体積の分布のみを考慮しており、根の太さの分布は無視しているため、今後、これらの点を考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 沖村孝, 市川龍平: 数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法, 土木学会論文集, III-3, pp. 69-75, 1985.
- 2) 塚本良則: 樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究, 東京農工大学農学部演習林報告, 23, pp. 65-123, 1987.
- 3) 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, 373, pp. 105-181, 1997.
- 4) 北原曜: 森林根系の崩壊防止機能, 水利科学, No. 311, pp. 11-37, 2010.
- 5) 今井久: 樹木根系の斜面崩壊抑止効果に関する調査研究, ハザマ研究年報, pp. 34-52, 2008.
- 6) 木之下弦, 松尾遼, 辻勲平, 上月崇史, 鳥居宣之: 豪雨を起因とする表層崩壊危険度評価手法の予測精度向上の検討～樹木根系の効果を考慮して～, 第23回高専シンポジウム in Kobe 講演要旨集, D-026, 2018.
- 7) 日本リサイクル緑化協会技術開発部: 根株の容積及び重量の推定について, pp. 1-25, 1998.

著 者

鳥居 宣之 所員 (非常勤)、神戸市立工業高等専門学校、博士 (工学)、斜面防災工学
増本 慎次郎 小野市役所 (元神戸市立工業高等専門学校学生)
野並 賢 所員 (非常勤)、神戸市立工業高等専門学校、博士 (工学)、地盤工学