

三次元安定解析を用いた根の斜面安定効果に関する研究

林野庁治山課 ○坂井佑介
林野庁治山課（現：国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所） 木下篤彦
国土防災技術株式会社 大野亮一・田畑三郎

1. はじめに

山地災害を防止し地域の安全・安心を確保するためには、治山事業等により根系の発達を促進させ、森林の土砂崩壊防止機能を増加させる必要がある^{1)~3)}。筆者らは、森林の土砂崩壊防止機能のうち根が発揮する機能を水平根と鉛直根に分けて検討を行ってきた⁴⁾。これまでに水平根の根系分布と抵抗力の積算モデルを開発し、現地調査結果と比較検証を行いよい適合を得ている。今回は鉛直根のモデル化に取り組み、鉛直根の分布と抵抗力を積算するモデルを開発した。そのうえで、実際の山地斜面を対象に水平根および鉛直根それぞれの抵抗力を加味した三次元安定解析を実施し、森林根系の有無による安全率変化を検討したので報告する。

2. 現地調査（林分調査と根の分布量調査）

安定解析を実施する斜面の地形、森林情報を取得するため、図1に示す茨城森林管理署管内、つくば市山口で林分調査を実施した。スギ・ヒノキ人工林内で18~20m四方のプロットを4箇所設定し、立木位置、胸高直径、簡易貫入試験による土層厚分布、一面せん断試験による c 、 ϕ などを調べた(図2)。

石岡市大塚では、根の分布量調査を実施した。根の分布量調査ではスギ2本、ヒノキ2本の計4本(表1参)を対象に根鉢を露出させた上で、縦・横・奥方向を20cm角ブロックで分割し、5mm以上の根の直径と本数をすべて調べた。根径と本数から断面積合計を算定し、立木中心からの距離に応じた情報として整理した。鉛直根の結果を図3に示す(水平根の結果は省略した)。ヒノキに比べスギはより深い深度に根が伸長していることがわかる。荏住⁵⁾はスギを深根型、ヒノキを浅根型に分類しており、同様の傾向である。



図1 調査地位置図

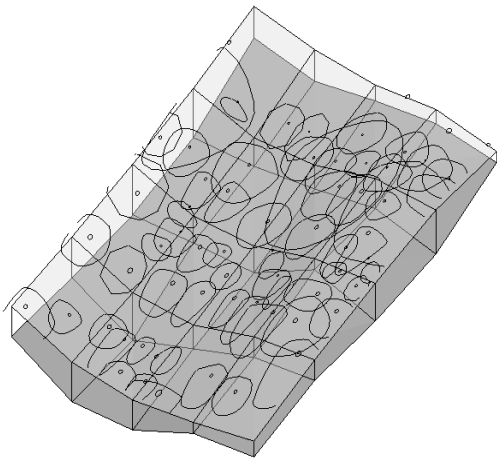


図2 立木位置図（プロット2・ヒノキ林）

3. 鉛直根の根系分布モデルと崩壊抵抗 ΔC の算定

鉛直根の根系分布モデルは、基本的に塚本⁶⁾と同じモデルとした。すなわち、根束の通減式と分岐率の式を併用したモデルである。詳細は割愛する。なお、塚本はスギのモデルパラメータを設定したが、ヒノキについては未調査である。そこで、図3のデータと適合するよう、新たにパラメータを設定した。

表1 根系分布量調査の対象木

	スギ No.1	スギ No.18	ヒノキ No.1	ヒノキ No.7
胸高直径	22cm	16cm	14cm	20cm
樹高	17m	18m	15m	14m

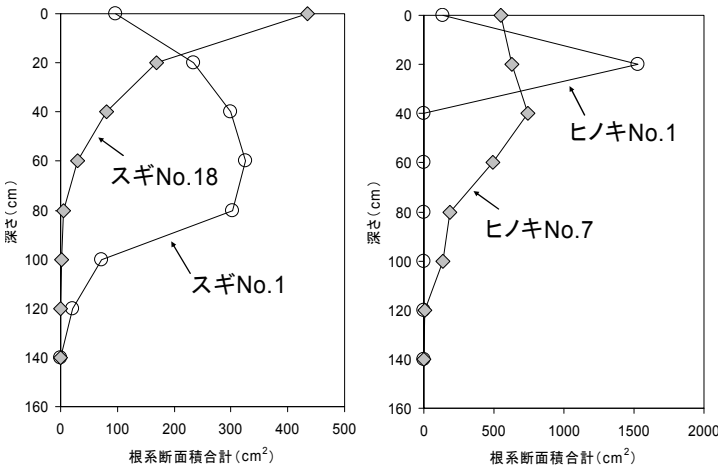


図3 根系断面積合計の深度分布

根束通減式のパラメータ a_0 , b_0 を表 2 に示す。樹種、水平根・鉛直根別に異なる。スギは塚本の設定値のままであるが、今回取得した図 3 の分布と照合し、非常により適合が得られている。

表 2 根束の通減式パラメータの設定値

	スギ		ヒノキ	
	水平根	鉛直根	水平根	鉛直根
a_0	0.6752	0.7506	0.80	3.00
b_0	-0.0799	-0.1027	-0.08	-0.15
	塚本 ⁶⁾ の設定		図 3 を基に設定	

4. 根系効果を含む三次元斜面安定解析

根系分布モデルで根の三次元分布を求めた後、すべり面位置に存在する根 1 本ごとに引き抜き抵抗 P を算出する。 P の算出方法は、昨年現地で実施した根の引き抜き抵抗試験⁴⁾に基づく累乗式 $P = a \times D^b$ (D : 根径 mm) を使った。 a , b は樹種別係数で昨年の設定値⁴⁾を用いている(注: 表 2 とは異なる)。すべり面に存在する根すべての P [kN/本] を足し合わせ、根系による崩壊抵抗 ΔC [kN] が算出される。これを水平根、鉛直根それぞれについて行う。

三次元安定解析式は簡易ヤンプ式を用いた。根系(水平根・鉛直根)による抵抗は、そのまま分子の抵抗項に加算した。具体的には次式のようになる。

$$F = \frac{R + \Delta C_H + \Delta C_V}{D}$$

F : 三次元斜面安全率、 R : すべり抵抗 [kN]、 D : 滑動力 [kN]
 ΔC_H : 水平根による抵抗 [kN]、 ΔC_V : 鉛直根による抵抗 [kN]

5. 森林の有無による安全率の変化

森林が存在しない場合に、プロット 2 (図 2) において斜面安全率が 1 を下回り、かつ大規模となるすべりを図 4 に示す。このすべりに対し、森林根系が発揮する抵抗 ΔC を算定したところ 2,289kN に達した。これは c 、 ϕ が発揮するすべり抵抗 2,493 kN とほぼ同等の力である。安全率も 0.916 から 2 倍近い 1.757 まで増加した。なお、水平根の抵抗は図 5 の崩壊側縁に沿って積算し求めている。

提示手法により水平根および鉛直根が発揮する抵抗が算定可能である。これにより、土層厚など斜面情報を与えれば、任意斜面における森林根系が発揮する土砂崩壊防止機能を定量評価することができる。

表 3 三次元斜面安全率の比較

	抵抗力 R	滑動力 D	根系による抵抗力 ΔC	安全率 F_s
森林なし	2,493 kN	2,722 kN	0 kN	0.916
森林あり			2,289 kN	1.757

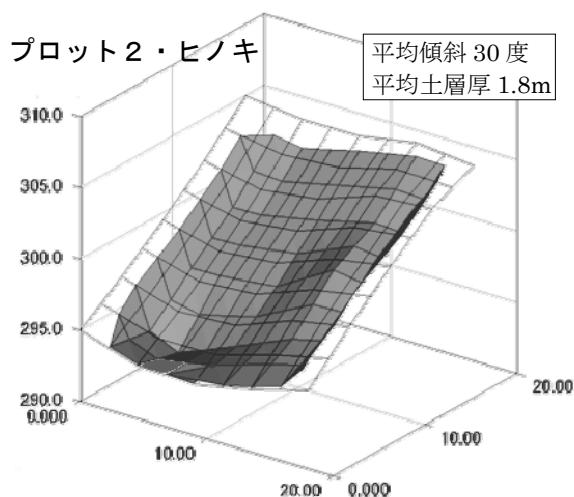


図 4 森林がない場合の大規模すべり面

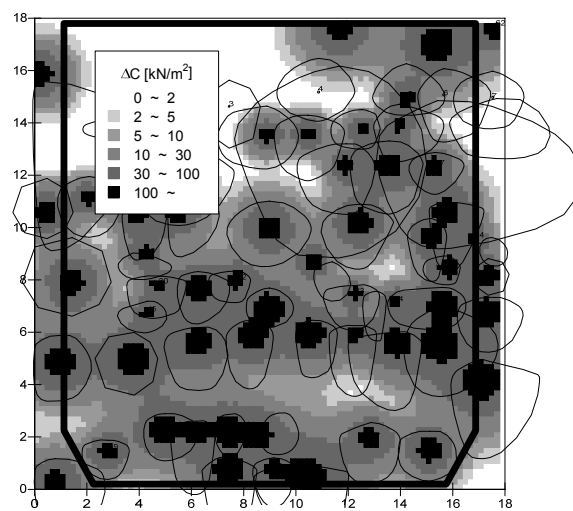


図 5 根の抵抗力平面分布と崩壊側縁

- 1) 農林水産省: 平成 21 年度森林及び林業の動向、p.42、p.54、p.114~116、2010
- 2) 農林水産省: 森林整備保全事業計画、p.3、2009
- 3) 農林水産省: 全国森林計画、p.5、2008
- 4) 木下篤彦・大野亮一・川島正照・田畑三郎・田中賢治・山崎孝成: 水平根の引き抜き抵抗を指標とした森林の土砂崩壊防止機能の評価に関する研究、平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集、p.238-239、2010
- 5) 荏住昇: 樹木根系図説、昭和 54 年 6 月、誠文堂新光社、pp.1121.
- 6) 塚本良則: 樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究、東京農工大学演習林報告、第 23 号、p.65-124、1987