

樹木荷重が斜面の安定性に及ぼす影響について

北海道土質コンサルタント(株) ○城野 忠幸
森本 崇
平松 良太

1. はじめに

一般に樹木根は、表層土壤中では杭効果や緊縛効果が期待できるため、表層土壌の浸食防止や地すべり防止に効果があるとされている。また環境保全面では、その保水効果は森林保全に、二酸化炭素固定・酸素排出機能は地球温暖化軽減に欠かせない存在となっている。

しかし、樹木の成長につれその重量も増加し、20mを超える大高木ともなると、その重量は地上部で1t、根鉢部では3t(間隙土塊を含む)を超えるため、外力として斜面の安定性に影響を与えることが懸念される。また、優れた保水能力も、豪雨後や融雪期にはそれ故にせん断強度を減じることになり、負の作用として働く。

樹木根の分布範囲は、樹種・高さに関わらず深さ1~2m程度と意外なほど浅く、杭効果や緊縛効果が期待できるのもその深度までである。また、樹木根付近では生物学的・化学的窒素固定(窒素循環)が行われているため、樹木根以浅と以深では、土壌の有する力学的特性も異なることが予想される¹⁾。

このように、斜面を降雨等による浸食から守っている樹木林も正負両面を有しており、本文では負の面である樹木の重量が斜面の安定性にどの程度影響するのかをケーススタディにより検討する。

2. 検討モデル

(1) 斜面モデル

検討斜面は、純粹に樹木の有無がすべり計算結果に反映されるよう、機械ボーリング・標準貫入試験を実施した実斜面の凹凸を排除し簡略化して用いることとした。

樹木が分布する植林斜面は、一般的な植林地を想定し15°とし、土層は樹木根の最大分布深度2mまでを第1層、崖錐堆積物(厚さ2~6m)を第2層とした。

各層の物性値は、表-1に示すとおり、第1~2層を粘性土(単位体積重量16kN/m³)と砂質土(同17kN/m³)の場合に分け、すべり計算の対象としない基盤層は風化部と新鮮部に区分し、地下水面は第2層下面とした。

表-1 各土層の設定物性値

土層	土層番号	N値(回)	単位体積重量(kN/m ³)	粘着力(kPa)	せん断抵抗角(°)
粘性土	1	5	16	31	-
	2	10	18	63	-
砂質土	1	5	17	-	25
	2	10	17	-	29
風化基盤	3	35	20	140	30
新鮮基盤	4	50	23	173	31

検討斜面は、中間植林斜面の樹木荷重を考慮しない場

合とする場合に分け、斜面形状を考慮し複合すべり計算とした。検討に使用した斜面モデルを図-1に示す。

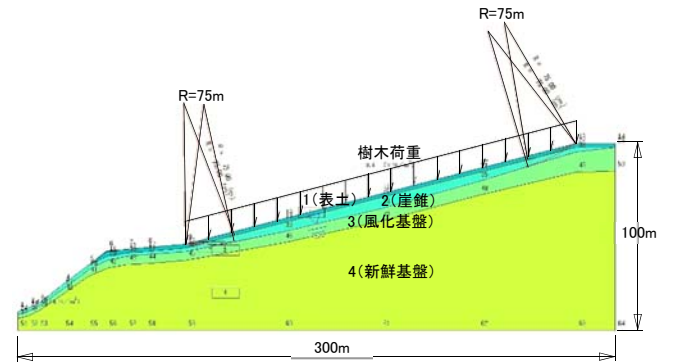


図-1 検討斜面モデル

(2) 樹木分布荷重

樹木及び樹木根の重量は、地上部の重量と根鉢部の重量の和から、根株分の土壌重量を引いたものとして計算し、間伐後密度600本/ha(植林密度:3,000本/haの1/5)を乗じ単位面積当たりの樹木分布荷重を求めた。

地上部の重量 W_u は式-1²⁾に示すとおりであり、目通り(高さ1.2m)直径 d を0.2~0.3mまで2cmずつ変化させ、それに応じて樹高 H も10~35mまで5m刻みに設定した。また、樹幹の単位体積重量 w_w は15kN/m³、枝葉の多少による割合 p は0.3とした。

$$W_u = k\pi(d/2)^2 H w_w (1 + p) \dots \dots \dots \text{式-1}$$

ここで、 H : 樹高 (m)

k : 樹幹形状係数(概算の場合0.5)

d : 目通り直径 (m)

w_w : 樹幹の単位体積重量 (11~15kN/m³)

p : 枝葉の多少による割合 (0.2~0.3)

地下部の重量 W_l は式-2²⁾に示すとおりであり、鉢の形状係数 k は0.17、根元直径 D は1.5 d 、根鉢直径 A は4 D +0.12とした。

$$W_l = k\pi A^3 w_s \dots \dots \dots \text{式-2}$$

ここで、 k : 鉢の形状係数 (0.15~0.17)

A : 根鉢直径 = 4 D +0.12 (m)

D : 根元直径 = $d > 0.2\text{m}$ のとき1.5 d (m)

w_s : 土壌の単位体積重量 (kN/m³)

なお、地下部の根株だけの重量は、樹種がマツの場合を仮定し、式-3³⁾により根系のかさ容積 V_r を算出した。

$$V_r = -26.7D^3 + 21.6D^2 - 1.5D \dots \dots \dots \text{式-3}$$

最終的に根株を含む樹木自体の重量 W は、 V_r 分の土壌重量を差し引き式-4によって表わすこととした。

$$W = W_u + W_l - V_r \cdot w_s \dots \dots \dots \text{式-4}$$

第1~2層に粘性土を仮定した場合の樹木分布荷重を表

-2に、砂質土を仮定した場合を表-3にそれぞれ示す。

表-2 粘性土を仮定した場合の樹木分布荷重

目通り直径 (m)	樹高 (m)	根鉢を含む全体荷重 (kPa)	根株分土壌荷重 (kPa)	樹木分布荷重 (kPa)
0.20	10	1.38	0.74	0.64
0.22	15	1.92	0.86	1.06
0.24	20	2.46	0.97	1.49
0.26	25	3.24	1.07	2.17
0.28	30	4.08	1.15	2.93
0.30	35	5.04	1.21	3.83

表-3 砂質土を仮定した場合の樹木分布荷重

目通り直径 (m)	樹高 (m)	根鉢を含む全体荷重 (kPa)	根株分土壌荷重 (kPa)	樹木分布荷重 (kPa)
0.20	10	1.44	0.79	0.65
0.22	15	1.98	0.91	1.07
0.24	20	2.58	1.03	1.55
0.26	25	3.36	1.14	2.22
0.28	30	4.26	1.22	3.04
0.30	35	5.28	1.29	3.99

(3) 設計水平震度

常時と地震時(レベル1)を比較するために、地盤種別I種(地盤の基本固有周期 $T_G < 0.2s$)、地域別補正係数(地域区分:B2) $c_2 = 0.85$ 、設計水平震度の標準値 $k_{h0} = 0.20$ とし、設計水平震度 $k_h = 0.17$ を全層に作用させた。

3. 検討結果

第1~第2層が粘性土及び砂質土の場合の複合すべり面の安全率 F_s と樹木荷重 W の関係は、それぞれ図-2及び図-3に示すとおりであり、いずれの場合も線形関係を示す。

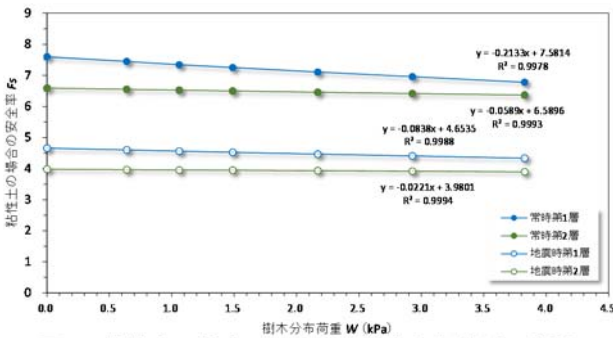


図-2 粘性土の場合の安全率と樹木分布荷重の関係

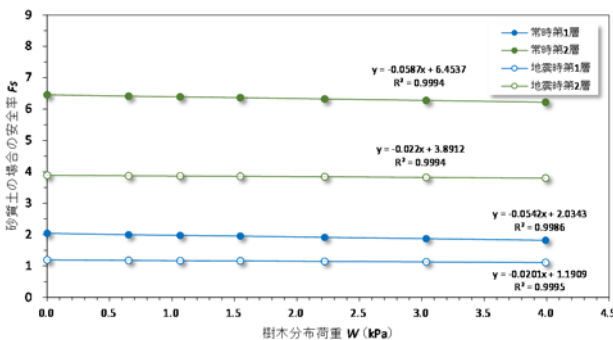


図-3 砂質土の場合の安全率と樹木分布荷重の関係

特徴的なのは、粘性土の場合、常時・地震時ともに第1層の方が第2層より安全率が高かったことである。このことは、式-5に示す安定計算の基本式におけるすべり面傾斜角 α が、第1層より第2層の方が大きいことによるもの

のであると考えられる。

一方、砂質土の場合は、すべり面傾斜角 α がすべり抵抗力(分子)と滑動力(分母)双方に関係することにより、第1層と第2層の安全率の違いが、せん断抵抗角 ϕ の大きさに支配されることによるものとする。

$$F_s = \frac{\sum(\tan\phi \cdot W \cos\alpha) + \sum c \cdot L}{\sum W \cdot \sin\alpha} \dots \text{式-5}$$

ここで、 ϕ : せん断抵抗角 (°)

W : スライスの全重量 (kN/m)

α : すべり面傾斜角 (°)

c : 粘着力 (kPa)

L : すべり面長 (m)

第1層での計算結果を詳細に見てみると、表-4に示すとおり、常時の場合、粘性土では樹木荷重の有無による安全率の最大差は0.82、砂質土では0.22であった。また、地震時にはそれぞれ0.32、0.08と、いずれも安全率自体は砂質土の方が著しく低い一方、樹木荷重の増加による安全率の減少は粘性土でより顕著であった。

表-4 第1層における土質ごとの安全率の変化

樹木分布荷重 (kPa)	粘性土の場合の F_s		砂質土の場合の F_s	
	常時	地震時	常時	地震時
0.0	7.60	4.66	2.04	1.19
0.6~0.7	7.45	4.60	2.00	1.18
1.1	7.34	4.56	1.97	1.17
1.5	7.25	4.53	1.95	1.16
2.2	7.10	4.47	1.91	1.15
2.9~3.0	6.96	4.41	1.87	1.13
3.8~4.0	6.78	4.34	1.82	1.11

4. まとめ

従来、斜面の安定計算に考慮されることの少なかった樹木荷重ではあるが、植林地の土質及び樹木荷重の大きさによっては、最大0.8程度まで安全率が減少する可能性があることが分かった。

実際にも、地震時の斜面崩壊が植林地でより多く発生しているとの研究⁴⁾もあり、植林地の斜面安定計算で所定の安全率を確保できている場合など、クリティカルな状況下においては、樹木荷重を考慮した検討が望ましいと考える。

今後は、地震時の樹木の動的な挙動、例えば地震動と樹木の共振や樹木のモーメントの影響を検討することで斜面防災の一助としたいと考える。

《引用・参考文献》

- 1) Ekanayake, J.C. & Phillips, C.J.: Slope stability thresholds for vegetated hillslopes: a composite model, Canadian Geotechnical Journal Vol. 39, pp.849~862, 2002.
- 2) 興水肇: 建築空間の緑化手法, 彰国社, 1985. 9.
- 3) 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 報告書, 1998. 6.
- 4) 本田尚正・堀切愛: 斜面崩壊と地質・地形・植生との関係, 第60回 平成23年度 砂防学会研究発表会概要集 P-048, 2011. 5.