

PII-14 樹木根系を考慮した表層崩壊の安定度について

株式会社北海道技術コンサルタント 神原孝義・大谷健一
北海道立林業試験所 佐藤創・鳥田宏行

1.はじめに

樹木根系には斜面の表層崩壊防止機能があると一般に言われている。しかし、根系の発達には斜面勾配・土質・表土層(土壌)の分布等の地形・地質による素因と樹種・樹齢等の樹木の生育状況により、定量的な評価が難しいのが現状である。本研究では、北海道美唄市・静内町の2地域のフィールドにおいて土層分布・土質強度・根系の引き抜き抵抗力・根量の分布を調査し、樹木根系による表層崩壊防止機能の定量的評価を試みた。

2.調査地及び調査方法

調査は、美唄市の北海道立林業試験場内のトドマツ林(以下 美唄試験林)と静内町の自然斜面(以下 静内自然林)の2箇所で行った。

美唄試験林は37年生のトドマツが群生しており、28年生時に間伐された低密度区(間伐区:600本/ha)と高密度区(無間伐区:2075本/ha)が存在する。基岩は砂岩で表土層の厚さは2.5~3.0m、土壌分布は0.3~0.5mの腐植土層(A層)の下に砂質土(B、C層)が分布している。当調査地において樹木密度による斜面安定度の相違を検証するために、間伐区・無間伐区で各々1本の引き抜き試験と3本ずつの掘り取り根量調査を行った。

静内自然林の主な樹種はイタヤカエデ・ミズナラ・カシワであり、胸高直径は5~80cmと様々である。基岩は砂岩で一部露岩もみられ、表土層の厚さは最深部で1.5m程度である。当調査地ではミズナラを対象とし、1本の引き抜き試験と段丘上及び斜面上部・中部・下部の各々4本の掘り取り根量調査を行った。

3.樹木根系による抵抗力の評価方法

美唄試験林において調査データの解析から樹木根系の効果を検討する。

まず、引き抜き試験を行った樹木(2本)について根の直径と引き抜き抵抗力の関係を整理し、以下の回帰式を得た。(図-1)

$$\text{垂直根} : y = 44.9x^{(1.71)} \quad R^2 = 0.70$$

$$\text{水平根} : y = 105.9x^{(0.89)} \quad R^2 = 0.47$$

y : 引き抜き抵抗力(kgf)

x : 根の直径(cm)

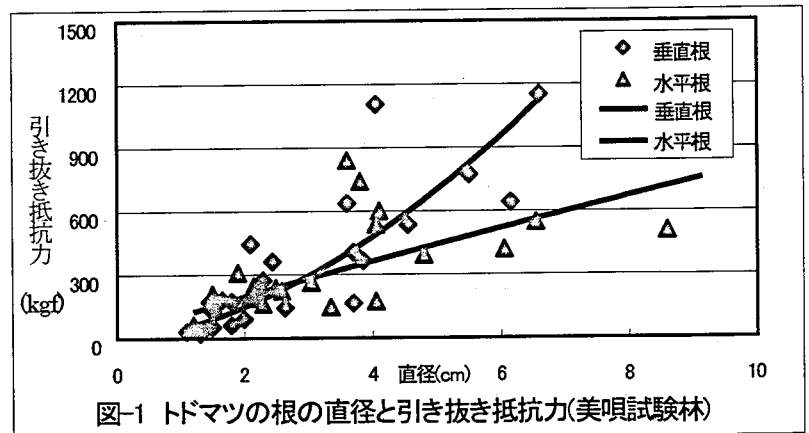


図-1 トドマツの根の直径と引き抜き抵抗力(美唄試験林)

掘り取り根量調査を行った樹木(6本)について、全ての根に引き抜き抵抗の回帰式をあてはめ、深さと抵抗力の関係を整理し、高密度区・低密度区でそれぞれ平均した。

高密度区における深さ及び根株の中心からの水平距離と抵抗力の関係を図-2.1~2.2に示す。

(高密度区)

$$\text{垂直根} : y = 42213 \times \exp(-6.61x) \quad R^2 = 0.98 \quad (1)$$

$$\text{水平根} : y = 8122 \times \exp(-1.39x) \quad R^2 = 0.96 \quad (2)$$

(低密度区)

$$\text{垂直根} : y = -9797 \times \log(x) + 3949 \quad R^2 = 0.99 \quad (3)$$

$$\text{水平根} : y = 51696 \times \exp(-1.61x) \quad R^2 = 0.98 \quad (4)$$

y : 引き抜き抵抗力(kgf)

x : 深さ・距離(m)

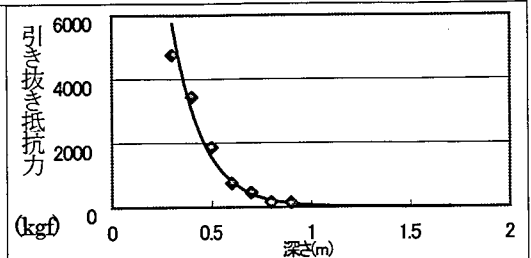


図-2.1 垂直根の深さと抵抗力(美唄高密度区)

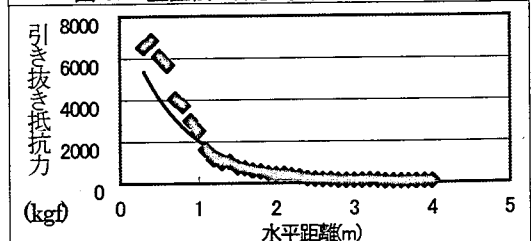


図-2.2 水平根の水平距離と抵抗力(美唄高密度区)

垂直根による抵抗力は、斜面全体に深さ方向に均一な抵抗力が存在すると仮定し、回帰式を立木密度で換算して求められる。

高密度区 垂直根 : $y=8579 \times \exp(-6.64x)$ (5)

低密度区 垂直根 : $y=587.8 \log(x)+236.9$ (6)

水平根による抵抗力は、樹木が斜面内に均等に生育していると仮定した場合、表層崩壊は樹木と樹木の間(図-3.1の太線部)で発生すると仮定した。まず、隣り合った2本の樹木の崩壊ラインにおける抵抗力を求める。図-3.2より樹木中心から崩壊線までの距離 x は $x=d/\cos \theta$ と表す事が出来る。また、(2)(4)式は樹木中心から距離 x における円周の抵抗力を表すので、ある点における抵抗力は円周長で除して以下ようになる。

高密度区 水平根 : $y=8122 \times \exp(-1.39 \times (d/\cos \theta)) / (2\pi \times d/\cos \theta)$ (7)

低密度区 水平根 : $y=51696 \times \exp(-1.61 \times (d/\cos \theta)) / (2\pi \times d/\cos \theta)$ (8)

(7)(8)式を $\theta=0$ から最大値まで積分すれば、高密度区・低密度区それぞれの2樹木間における崩壊ライン上の水平根抵抗値の1/4になる。dの値は樹木間距離の1/2で無間伐1.10m、間伐2.04mである。xの最大値を実測から求めた水平方向の根系の最大到達距離とすると、高密度区で $\theta_{max}=1.293(\text{rad})$ 、低密度区で $\theta_{max}=1.141(\text{rad})$ である。従って高密度区・低密度区における単位長さ辺りの水平根による抵抗力は以下ようになる。

高密度区 $\int_0^{1.293} y d\theta \times 4 / (2d \tan \theta) = 90.2 \text{ (kgf/m)}$

低密度区 $\int_0^{1.141} y d\theta \times 4 / (2d \tan \theta) = 37.2 \text{ (kgf/m)}$

樹木根系による表層崩壊抑止を検証するために、高密度区・低密度区それぞれで表層崩壊を円弧滑りによりシミュレートした。ケースは崩壊幅約 $5 \times 5\text{m}$ ・ $10 \times 10\text{m}$ 、崩壊深さ約 1.0m ・ 1.5m の全8ケースを行った。なお、安全率の算出には以下の式を用い、水位線は豪雨時を想定して地表面までとした。

$$F = \frac{\sum \{(Tw + W) \cos \theta - U\} \tan \phi + Cl + Rv + Rh}{\sum \{(Tw + W) \sin \theta\}}$$

F:安全率 θ :滑り面勾配 C:粘着力 ϕ :内部摩擦角
 l:スライスの滑り面長さ U:間隙水圧 Tw:樹木荷重
 W:土塊重量 Rv:垂直根抵抗力 Rh:水平根抵抗力

表2に樹木を考慮した安定計算の結果を示す。根系の崩壊防止効果は、概ね水平根より垂直根の効果が大きな効果をもたらし、滑り面が浅いほど高い。また、垂直根の抵抗力は低密度区の方が大きく作用しており、樹木が密度濃く分布するよりも垂直根が深く分布することが表層崩壊防止効果を高める事が解る。

表2 樹木を考慮した安定計算結果

		安全率		抵抗力中の割合(%)	
		現況	樹木考慮	垂直根	水平根
高密度区 (無間伐)	崩壊浅 $5 \times 5\text{m}$	0.78	1.15	16.5	13.0
	崩壊深 $5 \times 5\text{m}$	0.80	0.99	6.4	10.4
	崩壊浅 $10 \times 10\text{m}$	0.73	1.10	24.1	6.7
	崩壊深 $10 \times 10\text{m}$	0.71	0.84	8.4	4.9
低密度区 (間伐)	崩壊浅 $5 \times 5\text{m}$	0.78	1.59	46.1	3.9
	崩壊深 $5 \times 5\text{m}$	0.80	1.09	21.8	3.9
	崩壊浅 $10 \times 10\text{m}$	0.73	1.58	50.7	2.0
	崩壊深 $10 \times 10\text{m}$	0.71	0.96	23.1	1.8

4.今後の課題

今後の課題点を以下に整理する。

- ①引き抜き抵抗力とせん断抵抗力の関係 (本報告では等しいと仮定)
- ②垂直根による抵抗力評価方法の再検討 (垂直根の効果を平面的に斜面内で均一とした為、抵抗力が過大に評価されている)
- ③樹種・樹径・地形・地質条件と根系の発達のモデル化
- ④立木密度が低く、樹木間の相互作用が無い場合を想定したモデルの検討

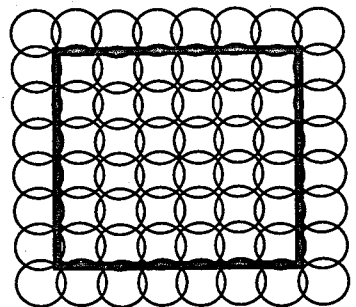


図-3.1 想定崩壊ライン模式図

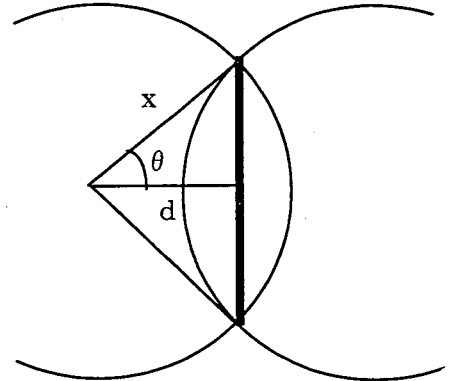


図-3.2 崩壊ライン詳細模式図

表1 根の最大延長

	最大到達距離(m)	
	垂直根	水平根
美唄高密度区(無間伐)	0.9	4.0
美唄低密度区(間伐)	1.7	4.9
静内自然斜面(斜面平均)	0.9	3.0