

速報

腐朽4年のヒノキ根の腐朽の進行と強度低下*¹酒井佳美*²・多田泰之*³・白田寿生*⁴・和多田友宏*⁴・野口享太郎*⁵・小林政広*⁶

酒井佳美・多田泰之・白田寿生・和多田友宏・野口享太郎・小林政広：腐朽4年のヒノキ根の腐朽の進行と強度低下 九州森林研究 74：51－53，2021 近年の森林の伐採面積の増加により伐根の土壌の支持機能評価も求められている。本研究では伐根の土壌支持機能への根の腐朽の影響を解明することを目的に、作業道の法面に露出する根を利用して根の引き抜き抵抗力と根の腐朽程度を比較検討した。伐採後4年経過したヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の根の引き抜き抵抗力の平均値 (±SD) は 26.7 ± 11.9 kg f (min 0.1 - max 79.2 kg f)，根の平均材密度 (±SD) は 0.26 ± 0.15 g cm⁻³ (min 0.03 - max 0.57 g cm⁻³) であり、根の腐朽による重量減少が進行し生木の根に比べて引き抜き抵抗力は低下していた。根の引き抜き抵抗力への影響要因として根の断面観察による腐朽程度 ($p = 0.03$) も選択されたが、直径 ($p < 0.01$) と比較して説明力は小さかった。根の材密度も引き抜き抵抗力の低下への説明力は直径に比べて小さかった。伐採後4年経過の根の引き抜き抵抗力の変化は断面観察や材密度による腐朽程度の指標では十分に説明できなかった。

キーワード：樹木根、腐朽、引き抜き抵抗力

I. はじめに

近年、日本各地で豪雨による山地災害が多く発生している。九州地域では平成29年の九州北部豪雨において十分に根系発達した森林でも山腹崩壊が発生したことで改めて森林の根系発達と山地災害防止機能が注目されることとなった。森林土壌における根の支持力については、森林資源の充実に伴い伐採面積が拡大しており伐根の土壌の支持機能評価も求められている。これまでに防災分野で進められてきた森林における根系の崩壊防止機能の研究に木質有機物の分解過程の知見を加えることで、根の土壌支持機能のさらなる解明が期待される。そこで筆者らは伐根の土壌支持機能への根の腐朽の影響を解明することを目的に、作業道の法面に露出する根を利用して、根の引き抜き抵抗力と根の腐朽状況を比較検討した。

II. 調査地と方法

調査は、岐阜県土岐市鶴里町にある花崗岩を母材とする土壌に成立するヒノキ林の作業道で実施した。調査対象は作業道法面に出現する伐採後4年経過したヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の根である。根は法面の逆方向に侵入した根を使用した (図-1)。法面の土壌表層に露出した根の周辺土壌を掘り進め、表面付近の影響をあまり受けていない部分を露出させた。根の引き抜き試験はこの部分をプライヤーで固定してゆっくりと引張り、フォースゲージを使用し引き抜き抵抗力として最大値 (kg f) を記録した。

引き抜き試験ごとに根と周辺状況として下記を記録した：根の抜け方、根の位置、土壌の種類、土性 (指で練って棒状に伸ばし

たときのまとまり方)、土壌硬度 (親指の貫入程度)、土壌水分 (小土塊を手で握った時の様子) (表-1)。

観察用の根は引き抜き試験に使用した根を27本使用した。根の直径は0.2-4.0 cmの範囲であった。根の断面観察用に円盤を採取した。根のプライヤーで固定した位置付近で根が破損した部分を選び、根の横断面の腐朽の様子を観察できる部分を選んだ。円盤の両切断面と側面を撮影し、ImageJ 1.53c (Schneider *et al.*, 2012) を使用して写真から切断面の面積と側面の長さを測定した。円盤の容積は、これらの数値を用いて計算した。円盤の乾燥重量を測定し材密度 (g cm⁻³) を計算した。根の腐朽程度は、撮影した写真をモニターで拡大して目視による観察を行い、4段階に分類した。腐朽程度1：腐朽は見られない、2：断面積の半分以上は腐朽跡が認められない、3：断面積の半分以上に腐朽跡が認められる、腐朽による明瞭な空洞がある、4：大部分が腐朽

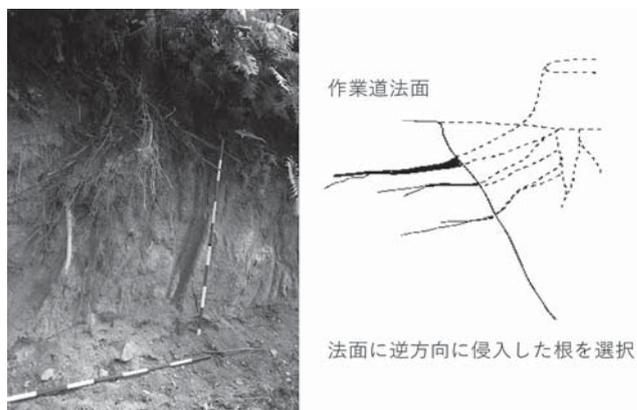


図-1. 作業道の根の様子と引き抜き抵抗力測定対象の根について写真は福岡県朝倉市での例

*¹ Sakai, Y., Tada, Y., Usuda, H., Watada, T., Noguchi, K. and Kobayashi, M.: Decomposition and strength of Japanese cypress root four years after logging.

*² 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan

*³ 森林総合研究所関西支所 Kansai Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kyoto, 612-0855, Japan

*⁴ 岐阜県森林研究所 Gifu Prefectural Research Institute for Forests, Gifu, 501-3714, Japan

*⁵ 森林総合研究所東北支所 Tohoku Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Iwate, 020-0123, Japan

*⁶ 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, 305-8687, Japan

し完全に貫通する空洞ができています。

根の材密度、および引き抜き抵抗力への影響要因は一般化線型モデルを用いて検討した (R version 3.6.3)。説明変数として直径 (cm)、腐朽程度 (4段階)、材密度 ($g\ cm^{-3}$)、根の位置 (カテゴリ変数)、土壌の種類、土性、土壌硬度、土壌水分を用いた (表1)。土性、土壌硬度と土壌水分はそれぞれ6段階に分類した。

Ⅲ. 結果と考察

引き抜き抵抗力

伐採後4年経過したヒノキの根の引き抜き抵抗力の平均値 (\pm SD) は $26.7 \pm 11.9\ kg\ f$ であった。最小値と最大値はそれぞれ $0.1\ kg\ f$ 、 $79.2\ kg\ f$ とレンジは広いが、 $10\ kg\ f$ 以下のサンプル数が全27個体のうち19個体であり、その大部分の直径は $1.0\ cm$ よりも細い個体であった。直径が $1.0\ cm$ より大きい個体の引き抜き抵抗力は $7-79.2\ kg\ f$ の範囲にあった (図-2)。スギで伐採後4年経過した直径 $2\ cm$ の根の引き抜き抵抗力は $78\ kg\ f$ 、生木の根の引き抜き抵抗力の23%相当と算出されている (阿部, 2006)。本試験では直径 $2.0\ cm$ 前後の個体で $20\ kg\ f$ 程度にまで低下したのもあった (図-2)。伐採後4年経過した生木の根に比べて引き抜き抵抗力は非常に小さくなっていると推察された。

腐朽程度と材密度

根の平均材密度 (\pm SD) は $0.26 \pm 0.15\ g\ cm^{-3}$ であり、最小値と最大値はそれぞれ 0.03 、 $0.57\ g\ cm^{-3}$ であった (図-3)。ヒノキの根の材密度の報告はほとんどなく、幹の材部分の材密度は $0.34\ g\ cm^{-3}$ である (森林総合研究所, 2004)。本試験での平均材密度はそれよりも低くなっており、腐朽による材密度低下が進んでいると考えられた。また、材密度のばらつきから個体間で分解の進行にばらつきがあることも示された。根の断面観察による腐朽段階判定では、27個体のうち、腐朽段階2の個体数が最も多く16個体、次いで3の6個体、4の3個体、1の2個体であった。腐朽程度ごとの平均材密度 (\pm SD) は1から順に、 0.24 ± 0.10 、 0.30 ± 0.16 、 0.21 ± 0.14 、 $0.16 \pm 0.04\ g\ cm^{-3}$ であった。枯死木の腐朽の指標として使用される分解度では、分解度が大きくなるにつれ材密度は減少することが知られている (Aakala, 2010, Paletto and Tosi, 2010 など)。本試験での腐朽程度では2において材密度が最も高くなった。腐朽程度1の個体数は少なく、腐朽程度ごとの個体数の偏りが原因の一つと考えられ、さらにデータを蓄積する必要がある。

根の引き抜き抵抗力への影響要因

根の引き抜き抵抗力は直径との相関が示されており (阿部 1997, 北原 2010 など)、本試験でも直径は有意な影響要因として選択された ($p < 0.01$) (図-2, 表-2)。根の断面観察による腐朽程度も有意な影響要因として選択されたが、直径に比べてその影響は小さかった ($p = 0.03$) (表-2)。根の強度を断面の細胞壁の占める割合で示す試みで岡田ほか (2012) は生木の根の細胞壁率 (%) の引き抜き抵抗力への影響について、相関はあるものの決定要因と断定はできないと結論付けた。木材の強度的数値は伸長成長方向である繊維方向で最も高く (木材保存協会 2012)、これは根も同じと考えられる。根の断面に加えて繊維方

表-1. 一般化線型モデルに使用した説明変数、および目的変数

使用した変数	
根の位置	土層, 岩盤
土壌種類	崩積土, 葡行土, 残積土, 岩盤亀裂内, 風化・破砕層
土性	1: 砂, 2: まとまらない, 3: 鉛筆, 4: マッチ棒, 5: こより, 6: 糸
土壌硬度	1: 親指が抵抗なく貫入, 2: 抵抗あるが貫入, 3: 第一関節まで貫入, 4: 指跡が付く, 5: 指跡付かない, 6: 指が入らない
土壌水分	1: 湿り気が付く, 2: 水が付く, 3: 水士が付く, 4: 絞ると滲む, 5: 絞ると滴る, 6: 水が滴る
引き抜き抵抗力	kg f
根の直径 (円盤)	cm
根の材密度	$g\ cm^{-3}$
根の腐朽程度	4段階

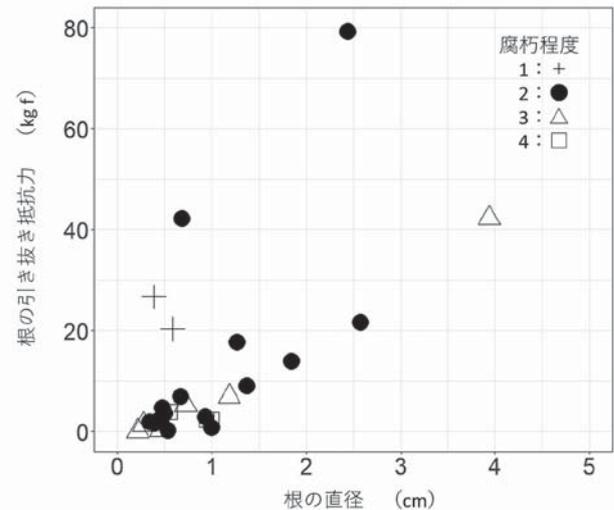


図-2. 根の直径と引き抜き抵抗力との関係

表-2. 根の引き抜き抵抗力への直径を含む影響要因

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
直径	4053.5	1	23.76	0.00
腐朽程度	1854.2	3	3.62	0.03
Residuals	3753.7	22		

glm(formula = pw ~ diam + decay, family = gaussian(log))
 pw: 引張抵抗力, decay: 腐朽程度 (カテゴリ),
 diam: 直径, AIC: 221.86

表-3. 根の引き抜き抵抗力への材密度の影響

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
材密度	1207.3	1	4.21	0.05
Residuals	7176.6	25		

glm(formula = pw ~ dens, family = gaussian(identity))
 pw: 引張抵抗力, dens: 材密度, AIC: 233.36

向の観察も必要であると考えられた。

根の材密度は引き抜き抵抗力に対して有意な影響要因となるが(表-3)、上記の直径と腐朽程度によるモデル(表-2)に比べると説明力は小さかった。材密度は根の腐朽による重量減少を反映した数値であり、重量減少により材の強度は低下する。しかし、褐色腐朽菌などによって腐朽した木材では、重量減少率が低い場合でも強度が大きく低下することが知られている(木材保存協会2012)。材密度に加えて、重量減少を生じさせた主たる木材腐朽菌種も考慮する必要があると考えられた。

根の材密度への影響要因として直径($p < 0.01$)と共に土性($p = 0.01$)と根の位置($p = 0.02$)が選択された(表-4)。枯死木の腐朽の進行への直径影響はこれまでも多く報告されている(Harmon *et al.*, 1986; Zhuang *et al.*, 2018 など)。一方、土性と根の位置が選択されたことは、根の分解の場である周辺土壌環境が材密度変化、つまり、腐朽の進行に影響したことを示していると考えられる。本試験でも根の腐朽進行に個体間差があったが、その原因が個体由来のものと周辺環境由来のもの両方の影響による可能性を示すものと考えられた。

一方、根の引き抜き抵抗力への影響要因としては、周辺土壌環境を示す説明変数は選択されなかった。

まとめ

作業道に出現する伐採後4年経過したヒノキの根を用いて根の引き抜き抵抗力への腐朽の影響を調べた。目視によって判定した根断面の腐朽程度、あるいは材密度は、根の引き抜き抵抗力との相関が得られるものの、説明力としては直径と比べて小さかった。引き抜き抵抗力への腐朽の影響を解明するには、さらに検討が必要であると考えられた。一方、根の直径に加えて周辺土壌環境を示す根の位置や土性が根の材密度への影響要因として示された。根の腐朽の進行は個体間差があり、その原因が個体由来のものと周辺環境由来のもの両方の影響による可能性が示された。

IV. 謝辞

本課題は森林総合研究所交付金プロジェクト「樹木根系の分布特性の多様性を考慮した防災林配置技術の開発」により実施している。採取した根の試料調整などは阪本由美子氏と作森あゆみ氏に協力いただいた。

引用文献

Aakala, T. (2010) For. Ecol. Manage. 260 (5) : 770 - 779
 阿部和時 (1997) 森林総合研究所研究報告 373 : 105 - 181
 阿部和時 (2006) 日本緑化工学会誌 31 (3) : 330 - 337
 Harmon, M. E. *et al.* (1986) Advances in Ecological Research

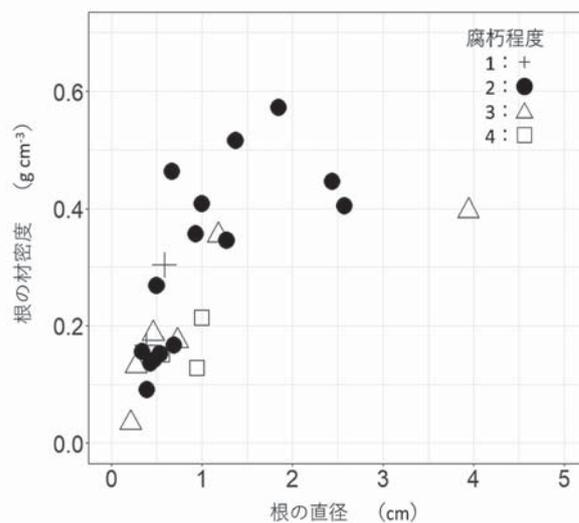


図-3. 根の直径と材密度との関係

表-4. 根の材密度への影響要因

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
直径	0.154	1	16.88	0.00
根の位置	0.060	1	6.56	0.02
土性	0.073	1	7.99	0.01
Residuals	0.210	23		

glm(formula = dens ~ diam + soil + place, family = gaussian(log))
 dens : 材密度, diam : 直径, soil : 土性,
 place : 根の位置 (カテゴリ), AIC : -44.566

15 : 133 - 302

北原 曜 (2010) 水利科学 311 : 12 - 37

木材保存協会 (2012) 木材保存学入門改訂3版, 283 pp, 木材保存協会, 東京

岡田 萌ほか (2012) 中部森林研究 109 : 125 - 128

Paletto, A. and Tosi, V. (2010) Scand J Forest Res. 25 : 164 - 173

R Development Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing

URL: <https://www.r-project.org/>

Schneider, C. A. *et al.* (2012) Nature methods 9 (7) : 671 - 675

森林総合研究所 監修 (2004) 木材工業ハンドブック, 1236 pp, 丸善, 東京

Zhuang, L. *et al.* (2018) Geoderma 311 : 1 - 8

(2020年11月9日受付; 2020年12月7日受理)