

2.3 表層崩壊発生メカニズムと樹木根系に関する知見

2.3.1 林野庁資料「流木災害対策に必要な森林を抽出する手法 手引書（案）」について

林野庁が平成 27 年度に作成した手引書で「平成 27 年度流域山地災害等対策調査（流木災害対策手法検討調査）委託事業」の成果品の一つ。以降、手引 2016 とする。受託者はアジア航測株式会社。

流木対応の手引書だが、セクション 4.2 において「森林の土砂崩壊防止機能の評価」手法が一通り構築されている。現状の技術を踏まえ、実務に展開するに際して非常に参考となる内容である。

手引 2016 においては、土砂崩壊防止機能が高い森林を以下の条件で捉え、これら①～③があてはまらない森林を抽出する手順を構築している。

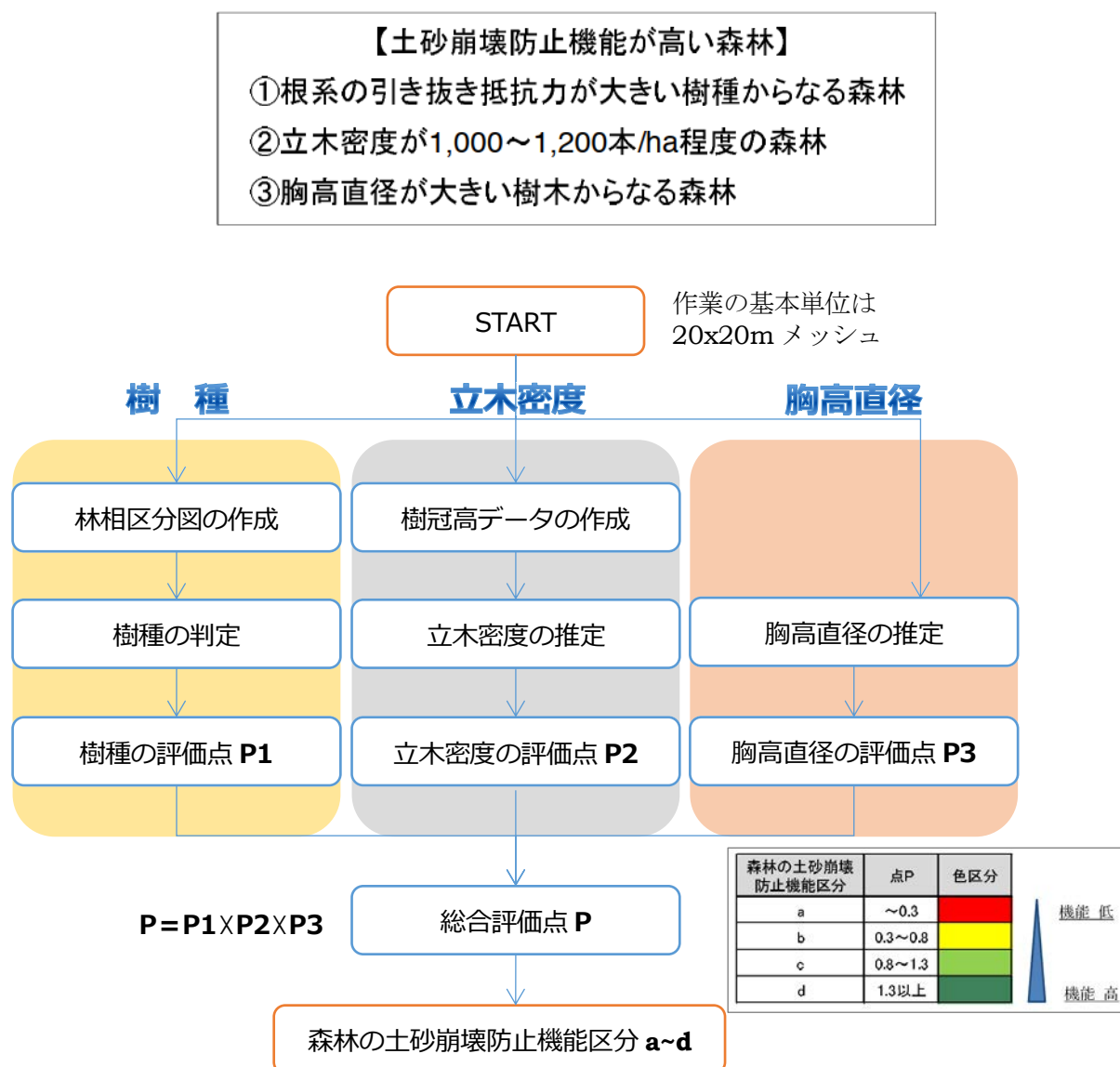


図 2.20 森林の土砂崩壊防止機能区分の判定フロー（林野庁の手引 2016 に基づく）

手引 2016 により設定される「森林の土砂崩壊防止機能区分」は a, b, c, d の 4 段階で、赤い a が低機能、緑の d が高機能となっている。

区分設定に必要となる情報は『樹種』『立木密度』『胸高直径』の 3 つである。情報の取得方法は現地調査でもよいが、20m メッシュ単位で対象範囲全域に必要となることから、航空レーザ測量等の広範囲情報をベースに作業するのが基本となる。樹種、立木密度、胸高直径をそれぞれ評価点 P1、P2、P3 に換算し、それらを掛け合わせて総合評価点 P が算出され、森林の土砂崩壊防止機能区分が決定する。

$$\left. \begin{array}{l} \text{樹種：} \quad \text{評価点 P1} \\ \text{立木密度：} \quad \text{評価点 P2} \\ \text{胸高直径：} \quad \text{評価点 P3} \end{array} \right\} \rightarrow \text{総合評価点 } P = P1 \times P2 \times P3$$

このうち、評価点 P2 と P3 の判定方法について、別の見方もあることから、次節に詳しくその点を述べる。

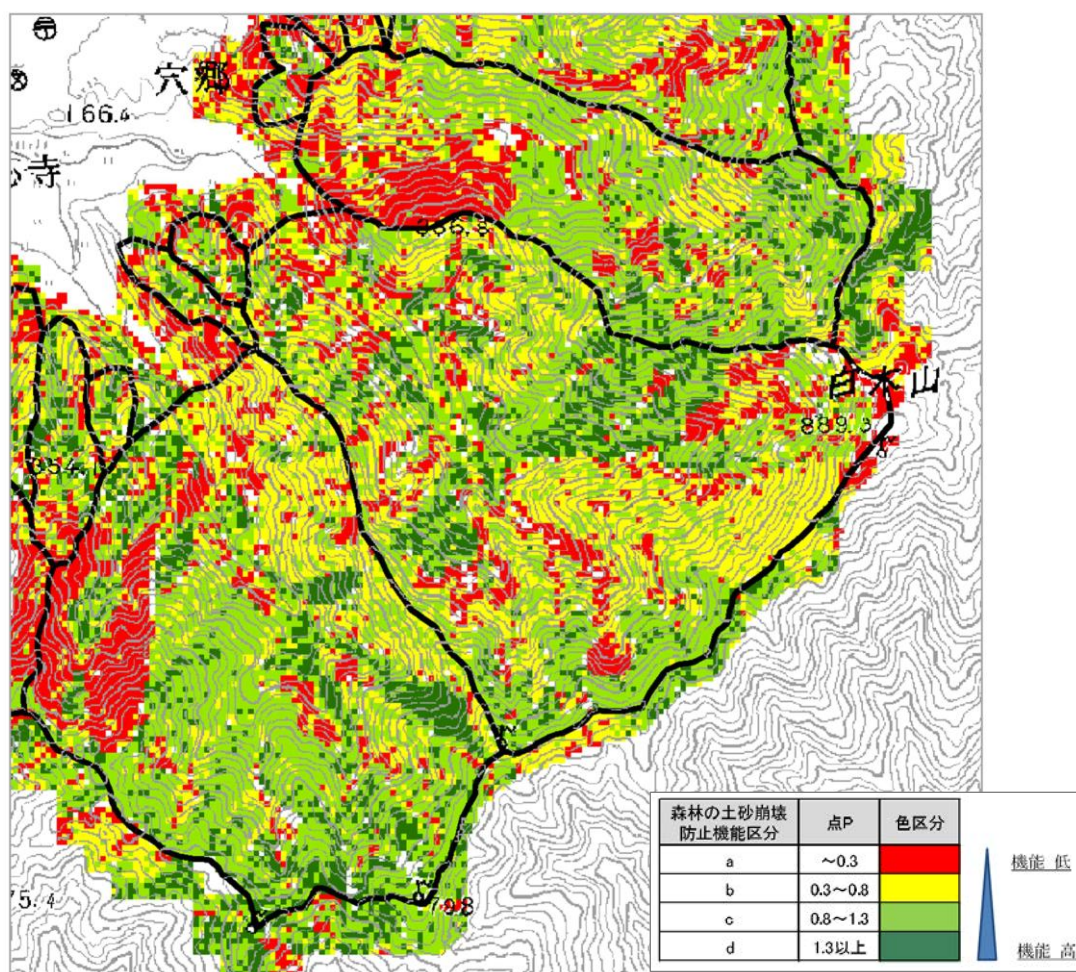


図 2.21 森林の土砂崩壊防止機能区分図（林野庁の手引 2016）

2.3.2 これまでの研究で明らかとなった課題

(1) 断面抵抗力 ΔC の課題

「林野庁の手引 2016」では、評価点 P2 と P3 が ΔC に基づいた評価となっている。

P2：立木密度の評価点 → 断面抵抗力 ΔC と密度の関係図（p.2-24 の図 2.17）に基づいて評価

P3：胸高直径の評価点 → 断面抵抗力 ΔC の簡易評価式(3), (4)式に基づいて評価

しかし、北原が提唱した立木間中央における断面抵抗力 ΔC について、何点か矛盾が指摘されている。

■ ΔC の矛盾その1：最大値の積算。 ΔC は実際よりも過大。

ΔC は p.2-24 の(1)～(2)式で算定される。これは、Wu, 1979²が提示した概念で断面に存在する 1 本 1 本の根が発揮する引抜き抵抗力を積算したもので、一見妥当に思えるが今では実際の土のせん断過程をうまく再現できないことがわかっている。土がせん断される過程で根は抵抗力を発揮するが、すべての根が一斉同時に抵抗力を発揮するわけではなく、せん断が進みながら個別の根が異なるタイミングで抵抗する。p.2-24 の(2)式はせん断時に根が発揮する抵抗力をすべて足し合わせているので、適切な表現ではない。

この矛盾に対し Schwartz, 2010（文献番号 3003）はせん断変位の進行と根の抜け出しなどを考慮した物理的に妥当な抵抗力モデル Root Bundle Model (RBM) を提唱した。2010 年に発表されたモデルで、現在はこれが根系抵抗力を評価する妥当なモデルに位置づけられている。

ΔC が最大値の積算となっていることから、その値は過大であることが推測される。実際、図 2.22 は ΔC の値が 30 [kN/m²]以上となる点が 4 プロット存在するが、他の研究者による現地調査や安定解析による逆算では、林分で発揮される ΔC は 10 [kN/m²]未満であることが多く、北原の ΔC は3 倍程度の大きさとなっている。

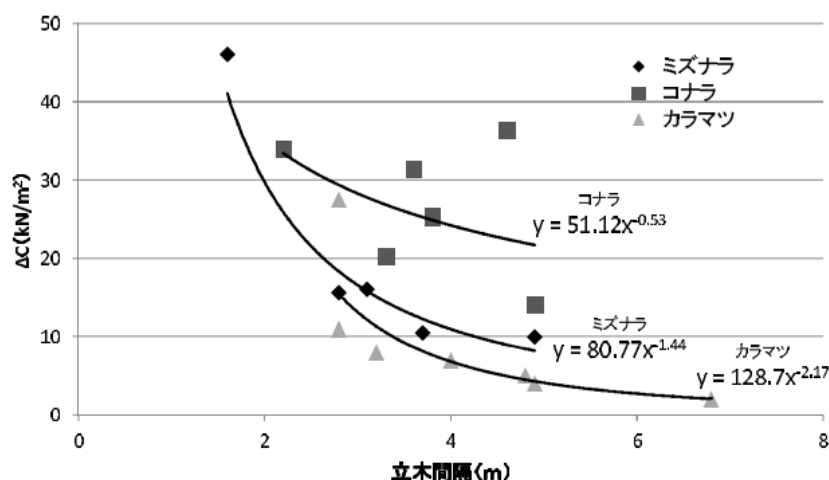


図 2.22 立木間隔と崩壊防止力 ΔC の関係（矢下・北原ら 2011、文献番号 153）

² Wu TH, McKinnell WP, Swanston DN. (1979) : Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska Canadian Geotechnolgy Journal 16: 19-33.

■ ΔC の矛盾その 2：密度と抵抗力の増減関係が逆になる

図 2.18 は単調減少傾向であり、立木密度が疎になると ΔC が減少することを示す。同様の傾向は図 2.17 の疎な範囲 1000 本/ha 未満でもみられる。この傾向（疎密度で ΔC が減少）は従来いわれている林齢と崩壊面積率の関係（単調減少傾向となる。図 2.23 参照）と合致しない。

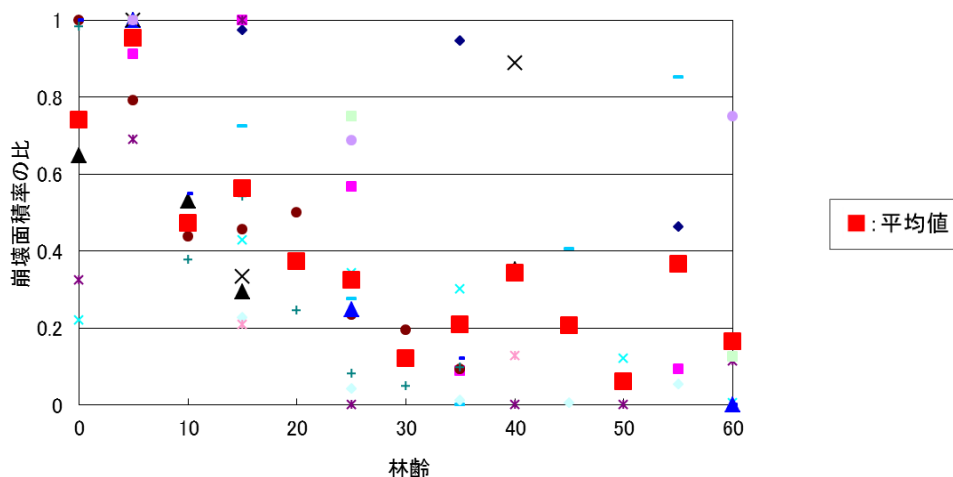


図 2.23 林齢と崩壊面積率の関係（阿部、2019、文献番号 1）

■ ΔC の矛盾その 3：増減傾向が図によって異なる

北原が示す p.2-24 の図 2.17 と図 2.18 は横軸が立木密度と立木間隔であり、逆数関係ではあるが両者は基本的に同様の傾向を有する軸である。しかしながら、図 2.17 が上に凸傾向を示し、密度の最適値（ピーク）が存在するのに対し、図 2.18 は単調減少でピークは存在しない。本来 2 つの図は同じ傾向を示すべきである。 ΔC の図は現地調査データをプロットして作成しているため、異なるデータから作られた図は異なる増減傾向が得られてしまう。

このように、 ΔC が抱えるいくつかの矛盾について精査した上で、「林野庁手引 2016」の評価点 P2 と P3 を適切な評価法に改める必要がある。

(2) 間伐と根系補強力を論じる上での課題

間伐施業が森林の崩壊防止力に及ぼす影響については、これまでの研究で、間伐による効果があるとする研究と効果がみられなかったとする研究の両方がある。これは、間伐により変化する部分をどこでみていたかによるものと思われる。

■立木間断面と間伐効果

立木間の断面のみに着目すると、間伐の効果はみえづらい。

図 2.24 と図 2.25 は、長野県が作成した「災害に強い森林づくり指針」の中で間伐による根の補強強度の変化を示した図である。間伐により伐採された樹木位置で根株は不朽し、数年～5 年後には該当箇所での根系補強力はほとんど期待できなくなる。長野県の図では、間伐後 15 年経てば隣接木の根が侵入し、補強強度は高まるとの説明がなされている。しかしながら、立木間中央に着目したこの説明は難しい部分がある。もともと根株が存在していた位置に水平根が侵出しても、以前あった根株以

上の強度を発揮するとは考えにくい。間伐された木があった場所を立木間中央＝弱線箇所とみなすと、その箇所が従前より強くなることは実際にはない。伐採のたびに弱線位置が変わるのであれば、それを前提とした調査でなければならない。

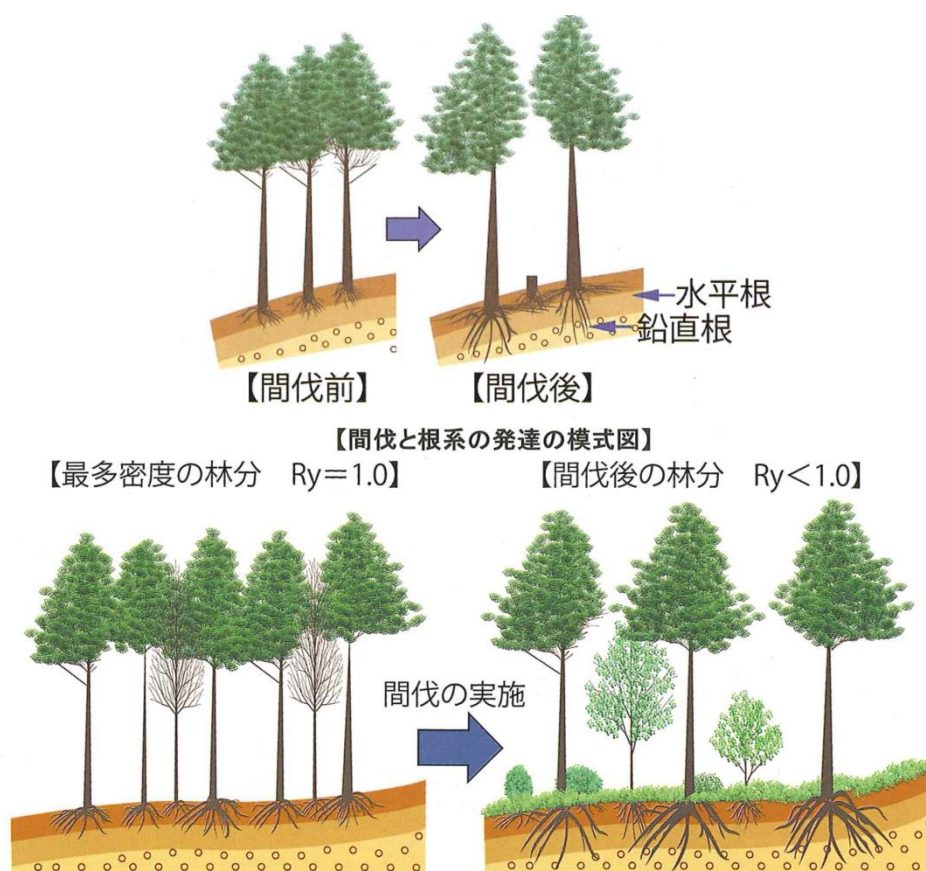


図 2.24 間伐の効果（根系に与える影響と日照・下層植生への影響）（長野県 2008³）

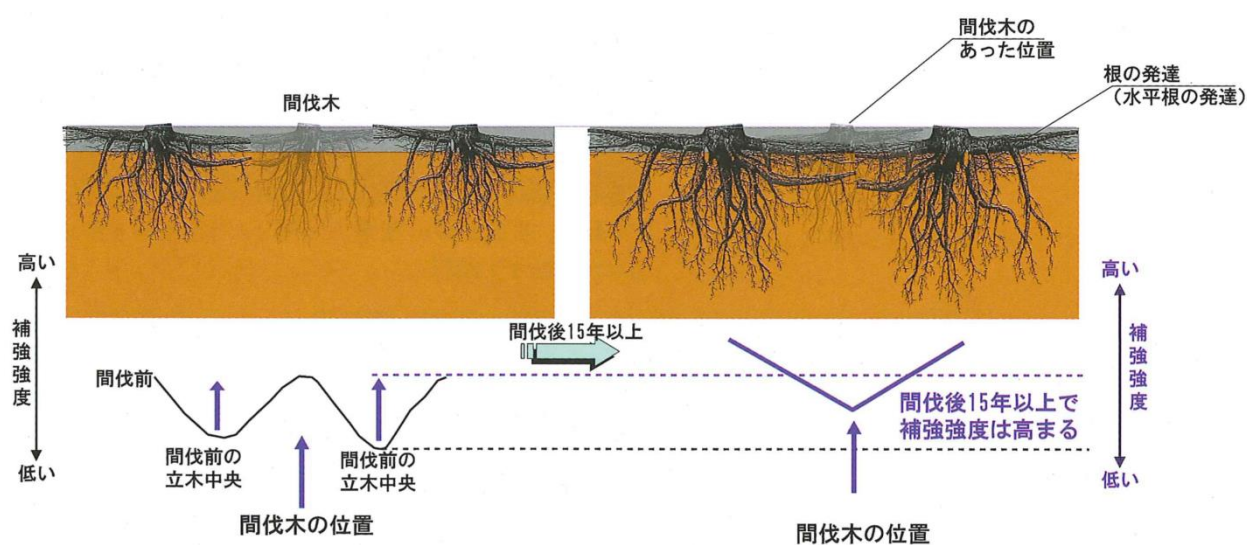


図 2.25 間伐の効果（根密度の増加と補強強度）（長野県 2008³）

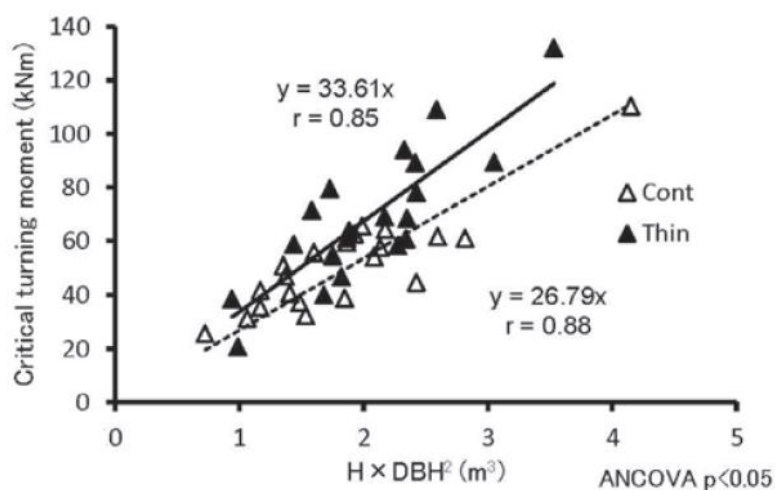
³ 長野県林務部（2008）：災害に強い森林づくり指針、森林の土砂災害防止機能に関する検討委員会編、2008年1月

立木間中央が弱線となり崩壊が発生するためには、弱線が連続している必要がある。実際の斜面で潜在的に崩壊側壁となりうる箇所は限定され、間伐により立木間中央（弱線）が変わったからといって、そのままそこが弱線となるわけではない。このように、間伐後に立木間中央での根量に着目し続けていても、森林の崩壊防止機能を適切に評価できていない可能性がある。

■地上部は同様に地下部だけに違いが現れる

図 2.26 は藤堂・山瀬ら（2015、文献番号 88）が、スギの最大引き倒し抵抗モーメントを調査して、間伐の影響を検証した結果である。

同じ胸高直径、立木密度のスギであっても間伐履歴があるスギは間伐されていないスギと比べ、引き倒し抵抗モーメントが有意に大きい傾向が得られた。この結果は間伐履歴があるスギの根張りがより広いことを示す。



(藤堂・山瀬ら 2015、文献番号 88)

図 2.26 間伐区と対照区における樹木の引倒し抵抗モーメントと $H \times DBH^2$ の関係

同じ胸高直径、立木密度でも施業履歴（間伐）による違いが顕現することから、地上部情報だけをみては間伐の効果を十分評価できない可能性がある。森林の崩壊防止力を議論するためには、地上部情報だけでなく施業履歴も取り扱うことが望ましいといえる結果である。

間伐による根系補強力への影響評価にあたって必要な留意点を述べた。