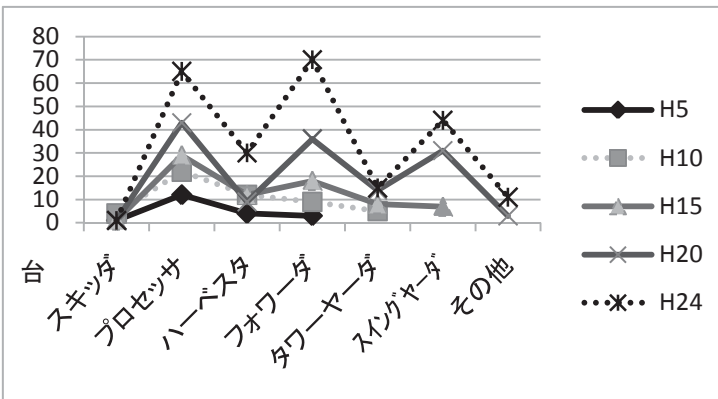


### お知らせ

長野県内における高性能林業機械の保有状況と推移について、現状をお知らせします。

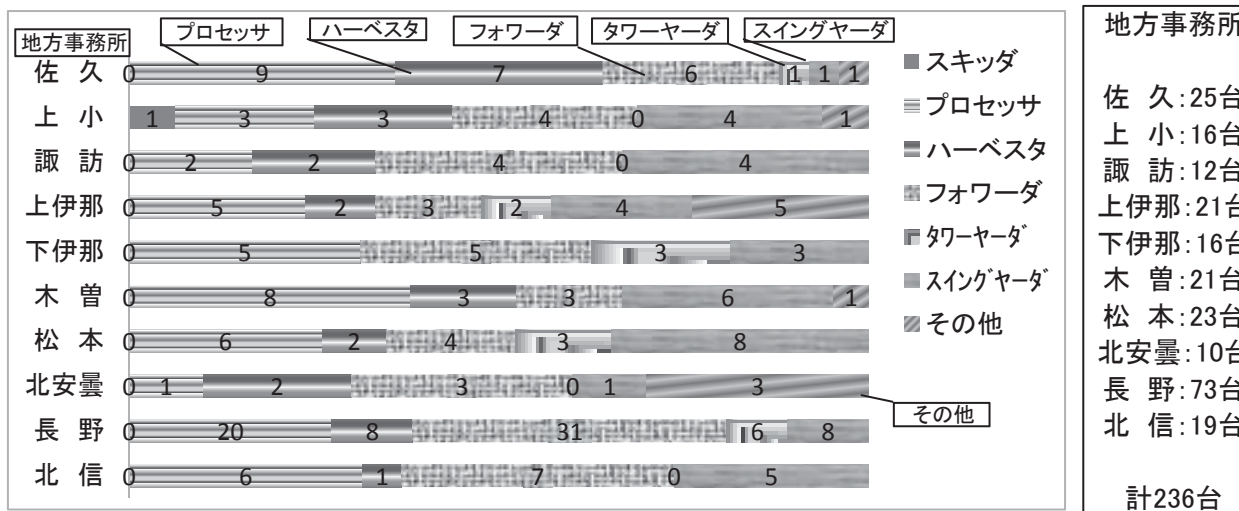
#### 1 機種別台数 [年度抜粋] (単位: 台数)

区分	H5	H10	H15	H20	H24
スキッダ	1	4	1	1	1
プロセッサ	12	22	29	43	65
ハーベスタ	4	12	12	9	30
フォワーダ	3	9	18	36	70
タワーヤーダ		5	8	14	15
スイングヤーダ			7	31	44
その他				3	11
計	20	52	75	137	236



注) 平成25年度調査【H24年度末 (H25. 3. 31時点) : 信州の木活用課集計データ】

#### 2 管轄地方事務所別の台数と占有率 (単位: 台・%)



注1) 長野地事欄に、(一財) 県林業労働財団のレンタル用プロセッサ9台、ハーベスタ2台、フォワーダ10台、タワーヤーダ4台、スイングヤーダ1台を含む。  
上伊那地事欄の、タワーヤーダ1台は財団からレンタル。  
注2) その他の機械は「バケット付きグラブ」をカウント。

#### 3 現状と今後へ向けて

長野県内への高性能林業機械は、平成2年から導入が始まり、現在では236台が導入され用途別内訳は、造材系(41%)木寄せ系(25%)運材系(30%)となっています。

急峻な地形の多い本県における課題は、造材系の高効率機械の稼働に対し、他の木寄せ系・運材系の機械稼働をいかにスムーズに連携させるか。また、長期間稼働できる施業地を面的集約化により継続的に確保して行くか、林業事業者と行政が互いに考え、搬出技術を向上させて行くことが必要と考えます。

林業総合センター 指導部

掲載記事に関する詳しい問合せ等は、長野県林業総合センター指導部までお気軽にどうぞ。  
郵便番号 〒399-0711 所在地 長野県塩尻市大字片丘5739  
TEL 0263-52-0600 FAX 0263-51-1311  
URL <http://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/index.htm>  
E-mail ringyosogo@pref.nagano.lg.jp

# 技術情報

No.148  
2014.3

平成25年度カラマツ林業等研究会特集

カラマツ林業等研究会 開会の状況

長野県林業総合センター



### もくじ

傾斜地における根系分布と引き抜き抵抗	2
崩壊に強い森林とは	6
カラマツ高温セット材の強度を破壊面の観察から考える	12
長野県内における木材の土木利用と維持管理について	16
浴室使用のカラマツ材に適した塗料	22
丸太基礎杭設計マニュアルについて	26
カラマツ林業の発展に向けて	28
お知らせ	30

# 傾斜地における根系分布と引き抜き抵抗力

長野県林業大学校 1年 齋藤 悠樹

## 1 はじめに

治山工事などの際に自然への配慮が求められている中で樹木根系の斜面安定化については広く認知されており、樹木根と人工物の併用による施業も行われている。そのため、根系の分布を把握することは重要ではあるのだが、完全に把握するまでには至っていない。これまでも樹木根の分布の特定には電磁波・音波による方法など様々な測定法が試されてきている。

しかしながら、先に記した様な電磁波・音波による方法では土中水分の影響で正確なデータを取ることができず、方法は未完成である。一方で、根系調査でもっとも用いられているトレンチ調査法は、機器を用いる必要が無いが多大な労働力と時間を要する。それに加えて根系の分布は個体差や生育環境によって異なってくるので根系分布を推定することはより困難となる。そのため、傾斜地における根系分布の推定を周囲環境と関連付けながら考察することが必要である。

本研究では水平根に着目し、地下部の根系を枝張りや立地条件と関連付けながら傾斜地における根系の分布と引き抜き抵抗力を調査した。

## 2 調査対象地・対象木

調査地は長野県木曾郡木曾町新開杭ノ原の人工ヒノキ林とした。傾斜角は約35度で南西向き斜面であった。当地は扇状地のため石礫が多く、ササ等の下層植生はなかった。調査対象とした樹木は35年生の人工ヒノキ一本のみで、DBHは17.7cmであった。枝張りは南東方向に片寄り、範囲は最大で4mであった。北方向への枝張りはなかった。(図-1)

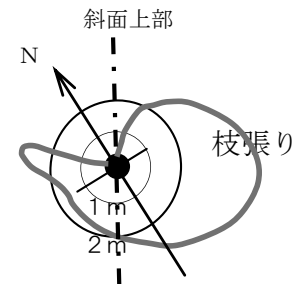


図-1 枝張り模式図

## 3 調査方法

トレンチ調査では根株から斜面上部を基準とし、時計周りで24方位を定め各断面の掘削を行った。(写真-1) 本調査での掘削深度は、根系図説の深さ別太根・細根分布の表<sup>2)</sup>から深さ50cm程度までに全根系本数の8割が集中していることが読み取れるため50cmとした。根株から斜長0.5m、1.0m、1.5m、2.0mの同心円の接線方向で24方位にそれぞれ50cm幅のトレンチ掘削を行い、露出した径2mm以上の根の直径を計測し集計した。計測結果を基に北原<sup>1)</sup>の式(1)により根径Dから引き抜き抵抗力Tを求めた。



写真-1 掘削作業

$$(1) \dots T = 23.0D^{1.68} / 1000 \text{ [kN]}$$

## 4 結果・考察

## 3 カラマツの主伐・再造林に向けた課題と中部森林管理局の取組

長野県のカラマツ人工林では11歳級以上が6割に迫る中、「植える⇒育てる⇒収穫する⇒使う⇒植える」という持続可能な森林経営により年齢の平準化を図るとともに、人工林の若返りにより、森林のCO<sub>2</sub>吸収機能を強化していくことが重要である。

中部森林管理局では、資源量が充実する中、平成26年度から計画期間が開始する千曲川上流森林計画区において、主伐の計画量を前計画の約3倍に増加する計画である。

また、現在は収穫してもその後の造林・保育において、植栽から40年生に育てるまでに平均で約200万円/haの経費を要し、この約6割に当たる約125万円/haが地拵、植栽、下刈に費やされており、林業の採算性の向上のため、造林・保育に要する経費を削減することが重要である。

このため、中部森林管理局では、平成25年度、北信森林管理署管内国有林において、伐採・造林一貫請負の取組を実施している。この取組では、高性能林業機械を使用して伐採・搬出を行うと同時に、プロセッサやグラブプルを使用して枝条を作業道付近に集積し、地拵を行わずにコンテナ苗を植栽している。信州大学と連携して工期調査等を実施しており、結果を取りまとめ中である。

中部森林管理局としては、主伐を増やすとともにコンテナ苗を用いた低コスト造林の取組を進めて行く考えであり、長野県をはじめとする関係者との連携を深め、苗木の生産体制や造林・保育技術の向上に貢献していきたいと考えている。

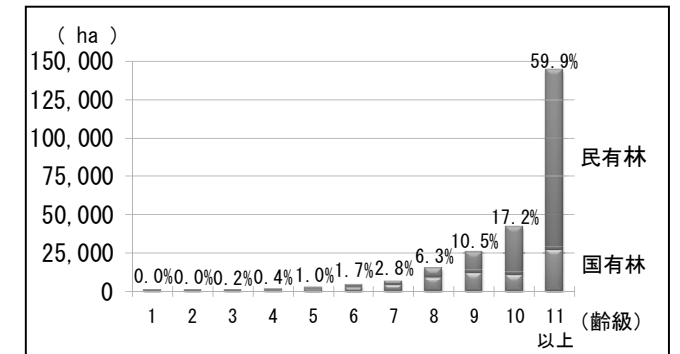


図5: 長野県内のカラマツ人工林年齢別面積<sup>5)</sup>

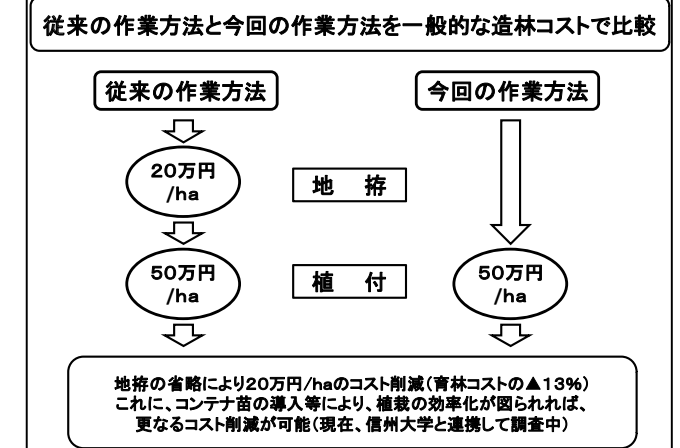


図6: 従来の作業方法と今回の作業方法との比較

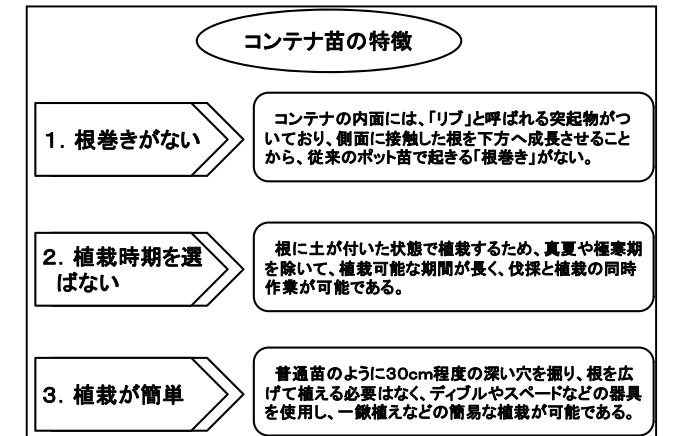


図7: コンテナ苗の特徴

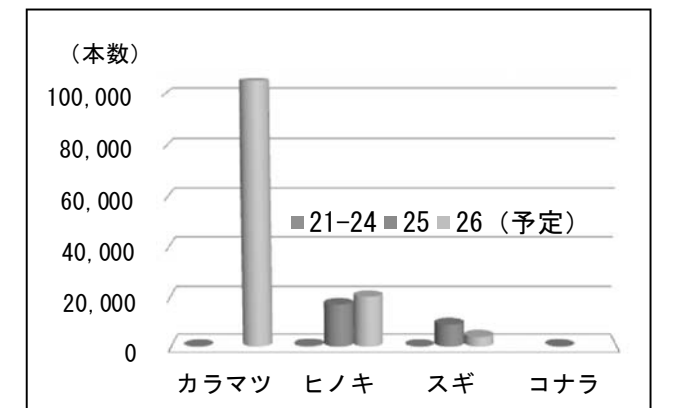


図8: 長野県内国有林のコンテナ苗植栽状況

## 引用文献

- 1) 農林水産省 「木材需給報告書」、「木材統計」
- 2) 林野庁 「森林資源の現況(平成24年3月31日現在)」
- 3) 日本林業調査会 「林政ニュース」第460号
- 4) 東信木材センター協同組合連合会
- 5) 長野県 「長野県 民有林の現況(平成24年)」

## カラマツ林業の発展に向けて

中部森林管理局 企画調整課 課長 天田 慎一、森林整備部 監査官 永井 隆雄

### 1 長野県のカラマツ人工林資源の現況

長野県の人工林面積は約 44 万 ha で、北海道、岩手県に次いで全国 3 番目の規模である。人工林面積の内訳は、カラマツ 55%、ヒノキ 18%、スギ 14%、マツ類 12% で、11 齢級（51～55 年生）以上の人工林が約 51% と半分以上を占めている。カラマツ人工林の面積では全国 1 位の北海道が約 42 万 ha で全国の 42% を占めており、全国 2 位の長野県は約 24 万 ha で全国の 24% となっているが、素材生産量では北海道の約 180 万 m<sup>3</sup> に対し、

長野県は約 18 万 m<sup>3</sup> と北海道の約 1/10 の量である。しかしながら、北海道のカラマツ生産量が平成 16 年から平成 23 年の 7 年間で約 2 割の増加であったのに対し、長野県では約 8 割の増加と、長野県のカラマツ需要は確実に増加しており、中部森林管理局においても、カラマツ販売量は平成 19 年から平成 25 年で約 2 倍の増加となっている。

### 2 カラマツ原木の集荷・仕分拠点の重要性

中部地方は素材生産コストが高く、団地化、機械化等により素材生産の効率性を一層高める必要があり、県下一円で取組が進められているが、中部森林管理局においても、森林共同施業団地の設定等を通じ、低コストの木材生産に取り組んでいるところである。

また、強度・耐久性共に優れるカラマツは、小径の土木用材、合板用材、製材や集成材など幅広い用途を有しており、これらの様々な需要に対応するためには原木段階での仕分が重要である。県下でカラマツを多く取扱う東信木材センターにおいて、自動選木機を活用したきめ細やかな仕分等により、カラマツ取扱量を 6 年間で約 3 倍に伸ばしたように、カラマツの集荷・仕分機能を持つ拠点の存在が益々重要になると考える。

道県名	面積(全国割合)	蓄積(全国割合)	生産量(蓄積割合)
北海道	42万ha (42%)	93百万m3 (42%)	184万m3(2%)
長野県	24万ha (24%)	57百万m3 (26%)	18万m3(0.3%)
岩手県	12万ha (12%)	24百万m3 (11%)	22万m3(0.9%)
群馬県	4万ha (4%)	11百万m3 (5%)	3万m3(0.3%)
山梨県	4万ha (4%)	9百万m3 (4%)	3万m3(0.3%)
その他	13万ha (13%)	26百万m3 (12%)	13万m3(0.5%)
全国計	100万ha(100%)	221百万m3(100%)	242万m3(1.1%)

図 1：カラマツの面積・蓄積・素材生産量（全国）<sup>1)</sup>

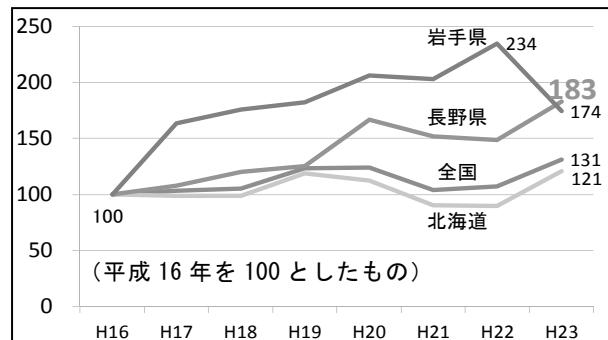


図 2：カラマツ素材生産量の推移<sup>2)</sup>

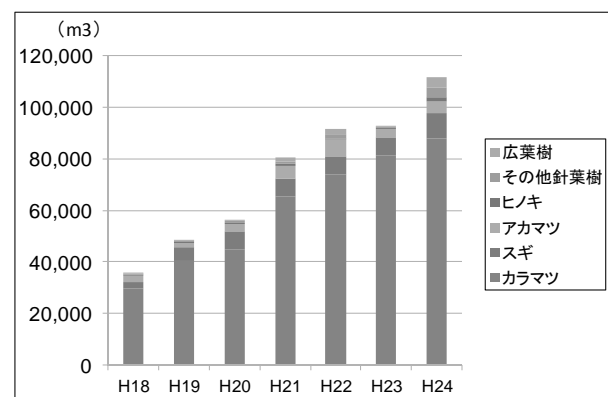
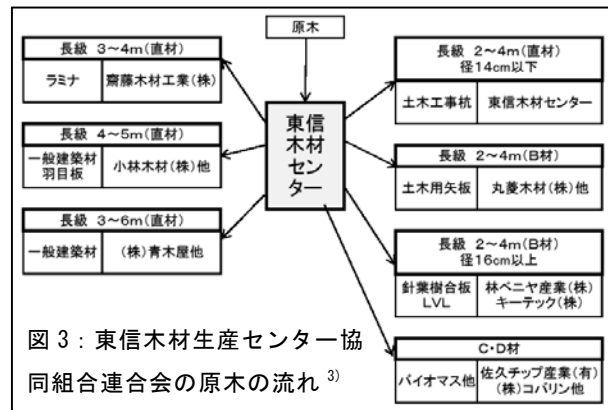


図 4：東信木材生産センター協同組合連合会の原木取扱量の推移<sup>4)</sup>

引き抜き抵抗力を距離別の断面で総計し、各グラフにまとめ傾斜地での対象木の根系発達について、引き抜き抵抗力の分布と強度の観点から考察した。グラフは根株から 0.5m、1.0m、1.5m、2.0m の距離別の引き抜き抵抗力を表したグラフと距離別の引き抜き抵抗力を総計して表したグラフの二通りで示した。

### 4.1 各距離の引き抜き抵抗力の総計

距離別に算出した引き抜き抵抗力を各方位ごとに集計しグラフで示した。(図 - 2) グラフから最大枝張り方向に引き抜き抵抗力が低いことが示された。また、距離別の引き抜き抵抗力の総計グラフ(図 - 2)から、北東方向(方位番①～⑥)の引き抜き抵抗力の値は最大でも 3.37 kN であり小さい値となった。

本来、樹木根の引き抜き抵抗力は根株を中心として同心円状に分散する。しかしながら今回の対象木では引き抜き抵抗力の分布が不均等となった。過去の研究にて、ヒノキの主根は曲げて植栽されるとその方向に発達する性質があるとの報告がされている。<sup>2)</sup> 今回の対象木は植栽されたものであり、そのため引き抜き抵抗力が同心円状にならなかった可能性があると考えられる。

### 4.2 距離別の引き抜き抵抗力

距離別の引き抜き抵抗力のグラフを作成し考察する。

#### ① 0.5m 地点における引き抜き抵抗力

図 - 3 のグラフから、枝張り方向である南東方向(方位番⑦～⑫)への引き抜き抵抗力の分布が認められた。北東方向(方位番①～⑥)に分布する引き抜き抵抗力は極めて小さかった。南東方向、北東方向における最大引き抜き抵抗力は、南東方向が 7.14 kN、北東方向が 1.88 kN であったため 0.5m 地点において 6 割近い引き抜き抵抗力を示したことが認められた。

#### ② 1.0m 地点における引き抜き抵抗力

枝張り方向である南東方向への引き抜き抵抗力が認められなくなっただけでなく、1.0m 地点で認められた南西方向への引き抜き抵抗力の分布が認められなくなった。そのため、斜面下部よりも斜面上部への引き抜き抵抗力の分布が偏って見られ、引き抜き抵抗力の分布が同心円状にはなっていなかった。(図 - 4) また、全方位において引き抜き抵抗力の値が減少した。

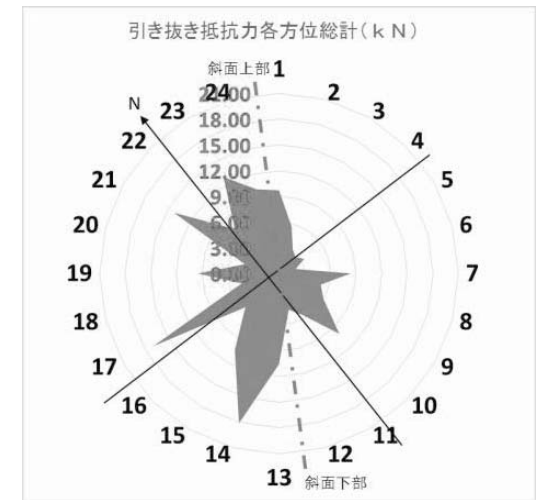


図 - 2 距離別の引き抜き抵抗力の総計(KN)

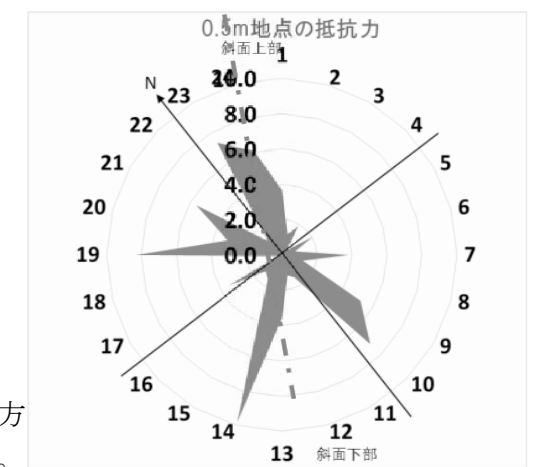


図 - 3 0.5m 地点の引き抜き抵抗力 (KN)

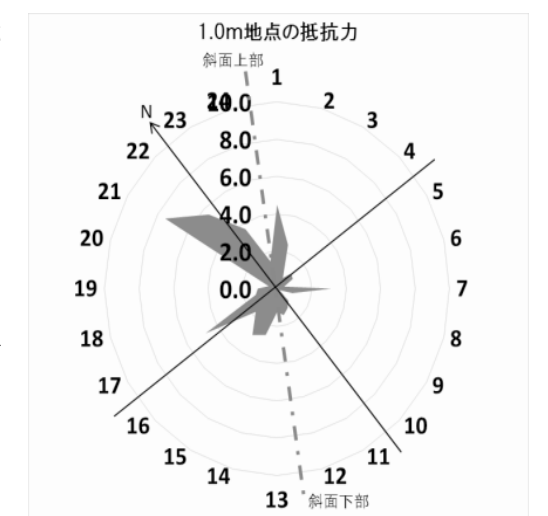


図 - 4 1.0m 地点の引き抜き抵抗力 (KN)



1.0m 地点における引き抜き抵抗力の最大値は斜面上部の 7.49 kN。(方位番 21) 最小値は斜面下部の 0.14 kN (方位番⑨) であった。

③1.5m 地点における引き抜き抵抗力

1.0m 地点の斜面下部 (⑦~⑱) の引き抜き抵抗力の最大値が 2.56 kN (方位番⑭) であったが、1.5m 地点の斜面下部の引き抜き抵抗力の最大値が 3.51 kN (方位番⑬) であり多少の増加が認められた。また、1.0m 地点の斜面上部 (①~⑥、⑰~⑳) への引き抜き抵抗力の分布が 1.5m 地点では見られなくなり、引き抜き抵抗力の分布が大きく変化した。(図 - 5)

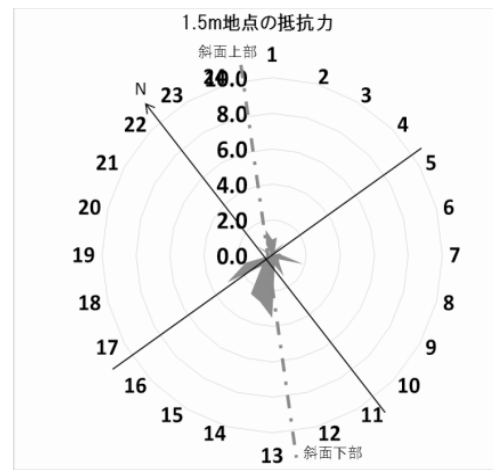


図-5 1.5m 地点の引き抜き抵抗力 (kN)

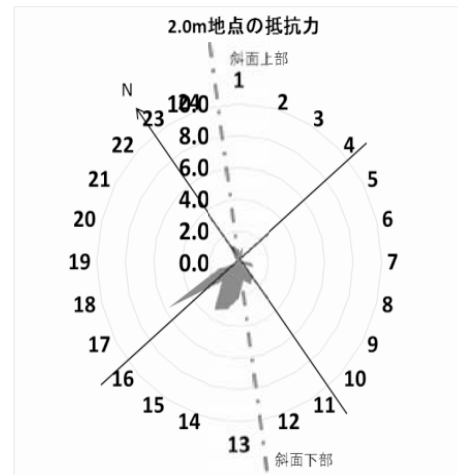


図-6 2.0m 地点の引き抜き抵抗力 (kN)

④2.0m 地点における引き抜き抵抗力

1.5m 地点と同様に斜面上部への引き抜き抵抗力の分布が見られなくなった (図 - 6)。また、1.5m 地点における斜面下部の引き抜き抵抗力の最大値が 3.51kN であったが、2.0m 地点における斜面下部の引き抜き抵抗力の最大値が 5.72kN であり、1.0m 地点、1.5m 地点と徐々に増加していた。しかしながら、1.0m、1.5m、2.0m 地点の斜面下部の引き抜き抵抗値を総計し比較すると実際に引き抜き抵抗力が増加したのは 1.5m 地点から 2.0m 地点の間のみである (表 - 2)。

表-2 斜面上部・下部別の引き抜き抵抗力総計

距離 (m)	引き抜き抵抗力総和 (kN)	
	斜面上部	斜面下部
0.5	41.6	32.9
1.0	30.1	22.3
1.5	7.4	19.7
2.0	5.8	23.5

4. 3 まとめ

一般的に細根が土中に多量に存在するよりも太根が存在することにより引き抜き抵抗力の値が大きくなる。

しかしながら本調査対象木の場合、方位によっては細根が極端に多かったり、太根が全く見られないなど極めて不均等であり、引き抜き抵抗力の分布にも一貫性がみられなかった。そのため、根系分布において特徴を見出すことが出来なかった。分布に関して例ではあるが、根系は根株から同心円状に広がり、斜面上部へ伸長するものは比較的短く、斜面下部に伸長するものは斜面上部に伸長するものよりも長い。(図-7)

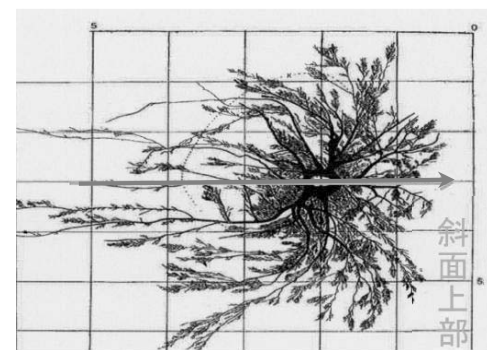


図-7 35年生天然ヒノキ根系分布<sup>2)</sup>

く用いられてきた森林土木ハンドブックを中心にまとめた。

6 諏訪市で使用した事例

今まで経験的に水路等の基礎へ径 12cm、長さ 4m の丸太基礎杭を打設してきた諏訪市において、本年、長野県木材協同組合連合会が事業主体となり、信州の木先進的利用加速化事業において、経験的ではなく、計算して径・長さを決定し打設している。

全体で 3,000 本程度を L 型擁壁 (H = 1 m 程度) や V S 側溝などの基礎に 1 m 間隔で打設し、先端抵抗力を考慮した摩擦杭で安全率を「3」として近隣の下水道事業等で実施した土質調査結果を利用した。現状では、径 12~18cm、長さ 2m~5m と様々な径と長さとなっている。今回の発注においては、長さをメートル単位としたため、端数による丸太杭供給側の混乱はなかったが、長さ 5m 材は山で伐採している通常の長さ 4m からすると特殊材となること、径 18cm は、合板用に使用できるものを使用したなどの課題も出た。

市場では、12cm 以下が土木用材として多く使われ、16cm 以上は合板用に需要がある状況であることから、14cm を中心に考えていくことが丸太のカスケード利用につながっていく。

7 長野県の丸太の販売形態

丸太の多くが長野県内の木材センター、木材流通会社、木材加工会社などから販売されており、農林規格 (JAS) 及び木材センターでの取扱いにおいては、末口径を (表 - 2) のように分別している。

(表 - 2) JAS 規格、木材センター及び設計の木材取扱径単位 : cm

規格径 (JAS)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	
末口径	以上	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22
範囲	未満	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24
木材センターでの分別	6以上-9未満		9以上-12未満			12以上-14未満		14以上-18未満		18以上-20未満		20以上-24未満		
設計で主に使用されている径	6-8		8-12				10-14		14-16		16-20			

また土木工事の積算において設計されている径級も合わせて記載した。

8 まとめ

森林内での採材長さの多くは (表 - 3) の通りであり、様々な用途を目的として伐採されている。

末口径において 12cm 未満は土木用材の丸太等に、

16cm 以上は合板や建築用材として多く利用されているが、12cm 以上 16cm 未満の径については、利用が少なく、この径を利用することが、丸太全体の活用の促進につながる。

また、丸太の伐採時の基本長は 4m であり、中途半端な長さでの注文は、無駄が多くなることと、4m 超えの材は、注文が入ってから伐採となるため納材までに時間が必要となることを前提として設計を進めて欲しい。

丸太基礎杭の利用は、一定の条件を満たせば森林整備による健全な森林の育成や二酸化炭素固定による地球温暖化防止を含めた様々なメリットを有していることから、現場でのより一層の活用を促進していただきたい。

【引用文献】

- ※1 「国内の構造物基礎における木材利用事例と設計方法の変遷」
- ※2 農林水産統計 平成 24 年木材統計
- ※3 参考「土木工事における木材利用の可能性について」飛島建設(株)沼田淳紀氏

## 丸太基礎杭設計マニュアルについて

長野県林務部信州の木振興課 県産材利用推進室 毛受 誠

### 1 はじめに

平成 24 年度に長野県木材協同組合連合会が事業主体になり実施した地域材供給倍増事業で土木用材利用推進に係る検討委員会を設置し、信州カラマツの土木利用について検討を重ねてきた。その中で、設計者が丸太基礎杭を設計しやすくなるために「丸太基礎杭設計マニュアル」を作成することとなった。

その概要と今年度の使用事例について記載する。

### 2 木杭の歴史

全国的な事例や諏訪市片倉館、松本城の事例から、地盤中の地下水位以下では空気が遮断され、丸太が長期間健全性を保つことがわかり、このような状態が維持されれば、丸太は 100 年を優に超える長期間、健全性を保つものと考えられる。※1 (図-1)

### 3 基準書から消えていく木杭

長野県の土木建設用材出荷量は、昭和 46 年の 205 千<sup>3</sup>m をピークに年々減少している。※2 (図-1) その要因の一つとして昭和 30 年に木質資源利用合理化方策により、橋梁など土木施設、土木建築仮設材料、杭、柱等を鉄鋼、軽金属、コンクリート等の耐久材料に努めて切り替えるように閣議で決定されたことにもよる。また、「道路橋示方書」や「建築基礎構造設計指針」には、過去「木ぐい」として設計・施工部分に記載があったが、1976 年に道路橋示方書から、1988 年に建築基礎構造設計指針から姿を消したため、設計者や現場監督員にとって安定計算・強度計算を必要とする木杭は使いづらいものになってきている。※3 (表-1)

### 4 丸太基礎杭を使用する利点

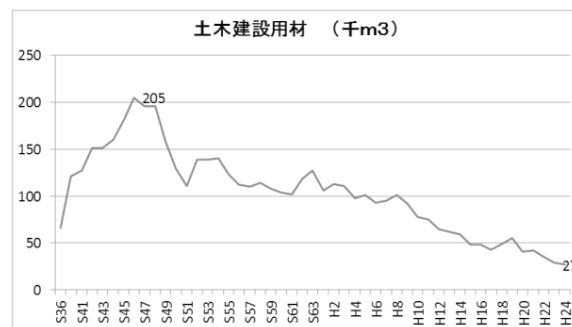
立木を伐採する適正な間伐は、森林を健全な状態にし、二酸化炭素吸収の促進や土砂崩壊の軽減、土砂流出の防止、水質改善など様々な効果があり、伐採した木材を土木用材として活用している期間は木材中の炭素を貯蔵した状態になるので、地球温暖化防止の一助となり、地下水位以下の基礎杭等に利用する場合は、さらに長期間の貯蔵が期待される。

### 5 基礎杭の計算方法の考え方

今回の丸太基礎杭設計マニュアルは、多くの設計者、現場監督員等に長野県産丸太を使ってもらうことを考え、杭の関係で多くの土木関係技術者に使用されている道路橋示方書と、森林関係で多



(写真-1) 諏訪市片倉館丸太基礎工



(図-1) 長野県の年別土木建設用材出荷量

(表-1) 杭基礎設計の木材に係る記述の変遷

年	道路橋示方書	建築基礎構造設計指針
1955年		木質資源利用合理化方策閣議決定
1960年		「くい材料の許容応力度」の項で記述 くい材料の設計「木ぐい」の項あり
1964年	道路橋下部構造設計指針「くい基礎の設計編」杭の分類の項で記述 構造項目に「木ぐい」の項あり	
1966年	道路橋下部構造設計指針及び設計一般編 構造項目に「木ぐい」の項あり	
1968年	道路橋下部構造設計指針「くい基礎の施工編」製作、運搬、貯蔵、検査に「木ぐい」の項あり	
1974年		「杭材料の許容応力度」の項で記述
1976年	道路橋下部構造設計指針・同解説「くい基礎の設計編」指針から木ぐいが除外される	
1988年		指針からは除外され、小規模建築については別の手引きを参照
2001年		指針で扱わないことが明記された

また、本調査では根系および引き抜き抵抗力を枝張りに関連付けながら行ったが、距離によっては引き抜き抵抗力が認められる箇所もあり、また無かった箇所もあった。そのため、本調査対象木においては根系分布および引き抜き抵抗力と枝張りとの関係性は認められなかった。

### 5 おわりに

今回の調査では 0.5m 地点、1.0m 地点、1.5m 地点、2.0m 地点の引き抜き抵抗力の分布が不均等であった。本来、引き抜き抵抗力の分布が根株の同心円状になるため、期待以上の結果を得ることが出来なかった。それに加えて調査対象木が一本のみであり他調査木との比較対照が行えなかったこと、隣接木の根の判別が出来なかったことは結果報告及び結果の信憑性を欠く要因となった。また、掘削深度を 0.5m と定めたが、深さ 1.0m での掘削調査が基本であるため、研究方法の改善も求めざるを得ない。今後の課題として結果精度を上げるために調査結果の集積を行っていく必要がある。

最後になりましたが、今回現地調査をするにあたって協力・支援していただいた長野県林業大学校 1 年の西田さん、2 年の大鳥さん、勝本さん、城内さん、中嶋さん、藤沢さん、森谷さん、米山さんの 8 名の学生には、寒い中にもかかわらず過酷な掘削作業を手伝っていただき感謝申し上げます。

### <参考・引用文献>

- 2) 荻住 昇 (1987) 根系図説 日本林業技術協会 p 156-163
- 1) 北原 曜 (2010) 森林根系の崩壊防止機能 水利科学 No. 311 p 20

## 崩壊に強い森林とは

信州大学大学院 農学研究科森林科学専攻 阿辻 雅言

### 1 はじめに

森林は崩壊防止機能を持つと知られているが、森林の管理と崩壊防止機能の関係はあまり知られていない。表層崩壊の発生防止には樹木の根系が大きく寄与すると考えられているが<sup>1)</sup>、具体的にどれほどの抵抗力があるかは不明である。そこで本研究では、地下を掘削することなく、毎木調査による地上の情報から崩壊防止力の二次元分布図を作成することを目的とした。

### 2 調査地概要

調査はヒノキ人工林と広葉樹の天然林の両者において行った。

#### 2.1 ヒノキ人工林

ヒノキ人工林の調査は、信州大学附属アルプス圏フィールド科学教育センター手良沢山ステーション演習林にて行った。最寄りのアメダス伊那気象観測所（標高 628m）によると、1993 年～2012 年までの平均気温は 11.4℃、平均降雨量は 1,482.7mm であった。調査地は 3 箇所としていずれも標高は約 1,200m であり、間伐が行われてから年数の経ったものを対象とした。土壌は褐色森林土で、基岩は花崗岩である。平均傾斜は調査地 1 が 29°、調査地 2 が 39°、調査地 3 が 35° であった。立木密度は調査地 1 が 1,000 本/ha、調査地 2 が 1,900 本/ha、調査地 3 が 500 本/ha であった。

#### 2.2 広葉樹天然林

広葉樹天然林の調査は中部森林管理局南信森林管理署手良沢山国有林 308 林班にて行った。標高は約 1,200m である。気象データ、土壌、基岩は前述のヒノキ人工林と同様である。平均傾斜は 35° であった。樹種構成は上層にクリ、ミズナラなど、下層にアオハダやイタヤカエデなどのカエデ類があり、林床にはササがほぼ全面に分布する。立木密度は全樹種を含めて 3,000 本/ha であった。

### 3 調査方法

#### 3.1 引き抜き抵抗力の算出法

根系の崩壊防止力は、土壌のせん断抵抗力における粘着力増強分  $\Delta C$  (kN/m<sup>2</sup>) として表現される。粘着力増強分は断面に出現した各根系の引き抜き抵抗力を合計したものとされる。一般に根系の引き抜き抵抗力と直径の関係式は以下の式で求められる。

$$T = a \cdot d^b$$

T: 根系の引き抜き抵抗力 (kN)

d: 根の直径 (mm) a, b: 係数

a, b の値はそれぞれ樹種ごとに異なる。

表一に引き抜き試験によって得られた樹種ごとの a, b 値を示す。本研究ではこの a, b 値を用いて  $\Delta C$  を算出した。

#### 3.2 崩壊防止力推定方法

$\Delta C$  は立木中心から同心円状に分布し、中心から離れるにつれて減少する。そこで崩壊防止力の推定式を、

$$\Delta C = A \cdot X^B \dots (1)$$

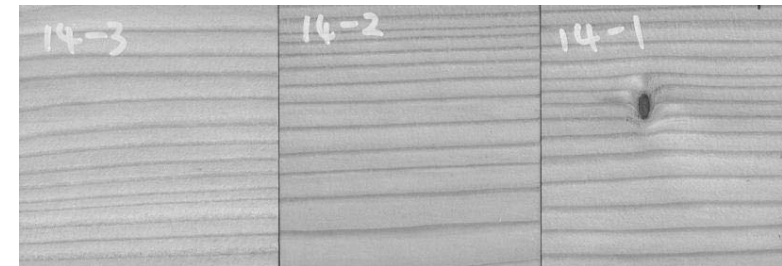
$\Delta C$ : 崩壊防止力 (kN/m<sup>2</sup>)

X: 立木中心からの距離 (m) A, B: 係数

とし、A, B の値を調べた。図一に神田

表一 引き抜き抵抗力関係式の樹種ごと a, b 値

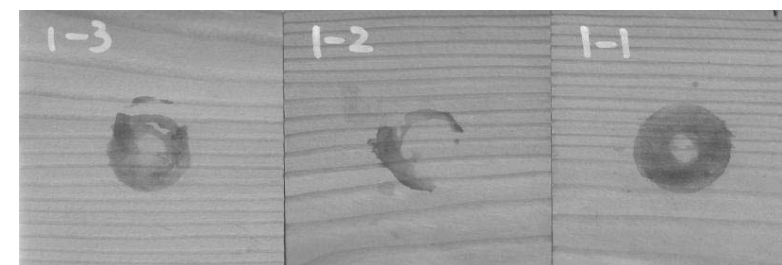
樹種	a値	b値	出展
ヒノキ	0.023	1.68	相馬2006
コナラ	0.0284	1.56	松下2009
ミズナラ	0.0207	1.56	久保田2006
クヌギ	0.0145	1.72	松下2009
クリ	0.0211	1.49	松下2009
ミズキ	0.0253	1.54	松下2009
リョウブ	0.0185	1.51	松下2009
ウワミズザクラ	0.0204	1.51	松下2009
カスミザクラ	0.0149	1.47	松下2009
ウリハダカエデ	0.0175	1.49	松下2009
ヒトツバカエデ	0.0237	1.53	松下2009
その他広葉樹	0.0111	1.74	北原2002



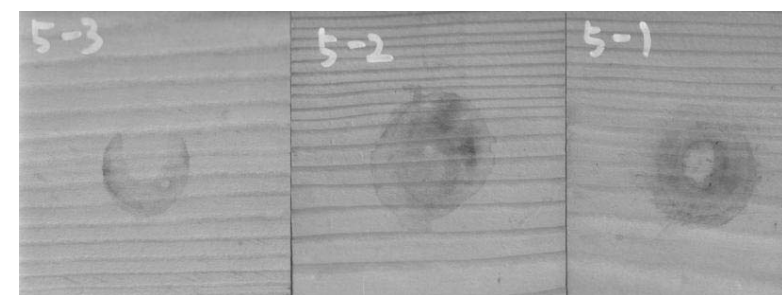
水系 2 液ウレタン → 鉄汚染なし



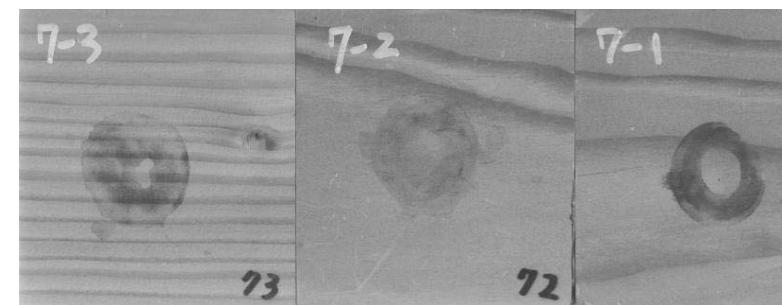
溶剤型 1 液性ウレタン → 鉄汚染あり (少々) (水系アクリルも同等の鉄汚染あり)



自然系オイル → 鉄汚染有り (他の自然系オイルも同等の鉄汚染有り)



自然系オイル (改良型) → 鉄汚染あり (他の自然系オイル (改良型) も同等の鉄汚染有り)



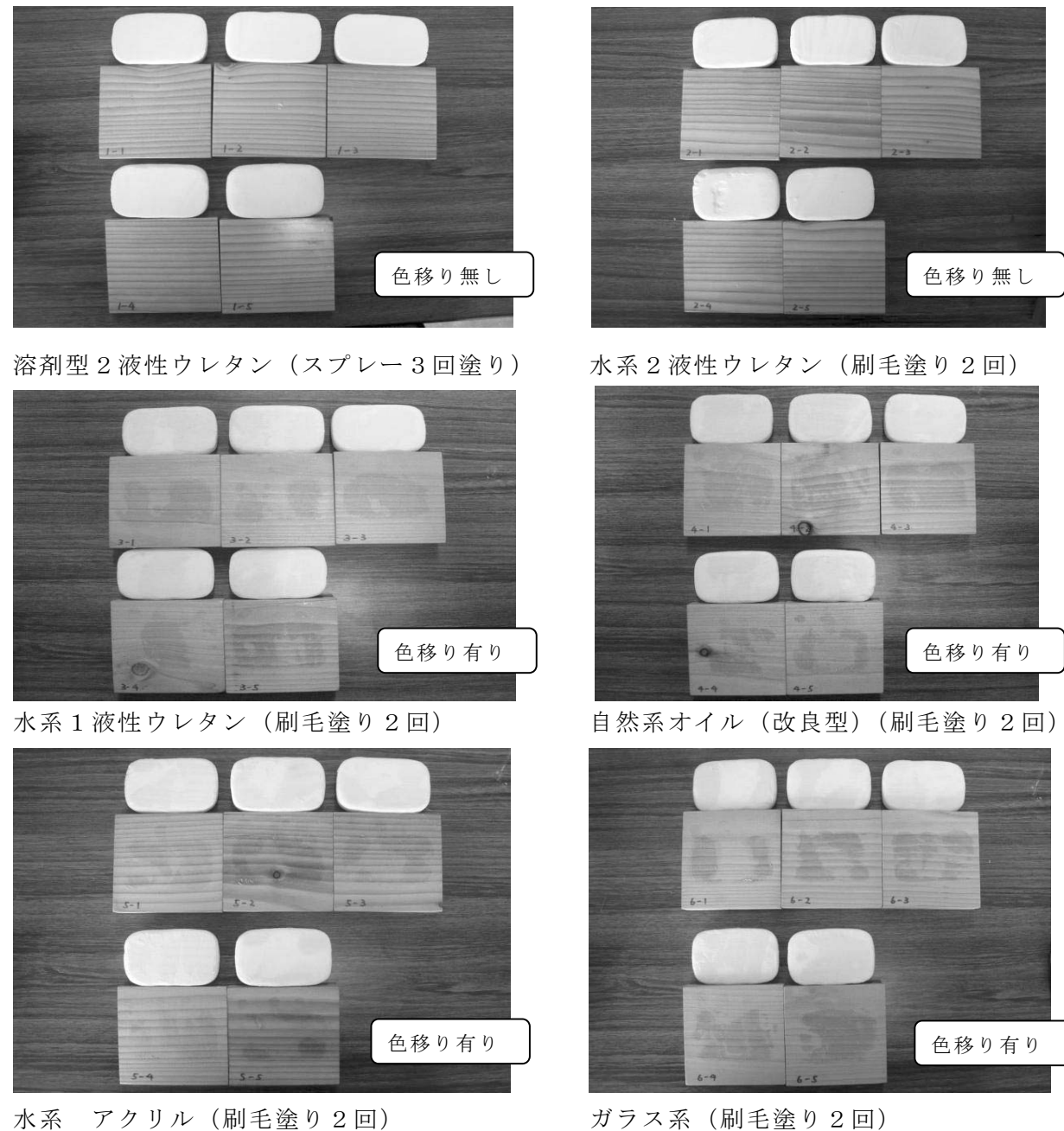
ガラス系 → 鉄汚染有り

### 4 終わりに

水系 2 液性ウレタンは、溶剤型 2 液性ウレタンよりは塗膜性能はやや劣るが、簡易な塗装方法 (刷毛塗り 2 回) で十分な性能を持つことが分かった。設備費や廃液処理費がほとんど掛からない点、VOC・ホルマリンがほとんど出ないなどの安全面からも普及が進むと考える。

2) 「色移りを防ぐ能力」の試験結果と評価

溶剤型2液性ウレタンとラッカー、水系2液性ウレタンの3塗料で石鹼への色移りが見られなかった。他の塗料では、濃淡の差はあるが全てに色移りが見られた。



溶剤型2液性ウレタン (スプレー3回塗り)

水系2液性ウレタン (刷毛塗り2回)

水系1液性ウレタン (刷毛塗り2回)

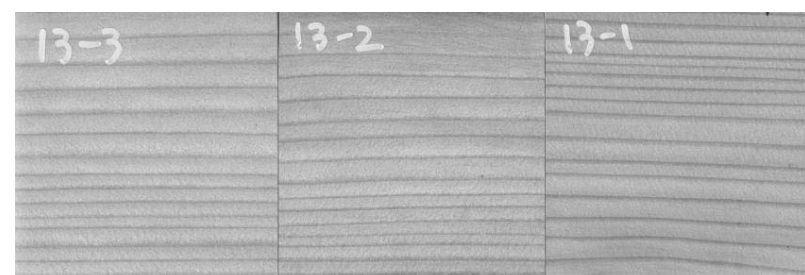
自然系オイル (改良型) (刷毛塗り2回)

水系 アクリル (刷毛塗り2回)

ガラス系 (刷毛塗り2回)

3) 「鉄汚染を防ぐ能力」の試験結果と評価

溶剤型2液性ウレタンと水系2液性ウレタンでは色移りは全く見られなかった。他の塗料では、濃淡の差はあるが全てに鉄汚染が見られた。



溶剤型2液性ウレタン → 鉄汚染なし (ラッカーでも鉄汚染は無かった)

によるヒノキ立木の周囲掘削調査の結果を示す<sup>2)</sup>。図-1から、ヒノキ立木では $B=-2.8$ であった。そして、図-2に過去の研究データから抜粋したA値と胸高直径(DBH)の関係を示す<sup>3,4,5,6)</sup>。図-2からA値とDBHには有意な関係があった。したがって、ヒノキ立木での崩壊防止力推定式は以下のようになる。

$$\Delta C = 0.0033(D/X)^{2.8} \dots (2)$$

$\Delta C$ : 崩壊防止力 (kN/m<sup>2</sup>) D: 胸高直径(cm) X: 立木中心からの距離 (m)

一方広葉樹ではこの式を補正して広葉樹の崩壊防止力推定式を求めた。まず、広葉樹樹種の引き抜き抵抗力一般式を作成した。図-3に広葉樹引き抜き抵抗力一般式を示す。そして、得られた広葉樹一般式とヒノキの引き抜き抵抗力回帰式を比較し、係数を用いた比較を行うことで広葉樹の崩壊防止力推定式を得た。以下に広葉樹の崩壊防止力推定式を示す。

$$\Delta C = 0.00198(D/X)^{2.8}$$

$\Delta C$ : 崩壊防止力 (kN/m<sup>2</sup>) D: 胸高直径(cm) X: 立木中心からの距離 (m)

ヒノキでは(1)式を、広葉樹では(2)式を用い、毎木調査から得られた立木位置と胸高直径データから、崩壊防止力の分布範囲および大きさを推定した。推定した崩壊防止力の大きさごとに色分けを行い、二次元崩壊防止力分布推定図(以下、 $\Delta C$ マップ)も作成した。

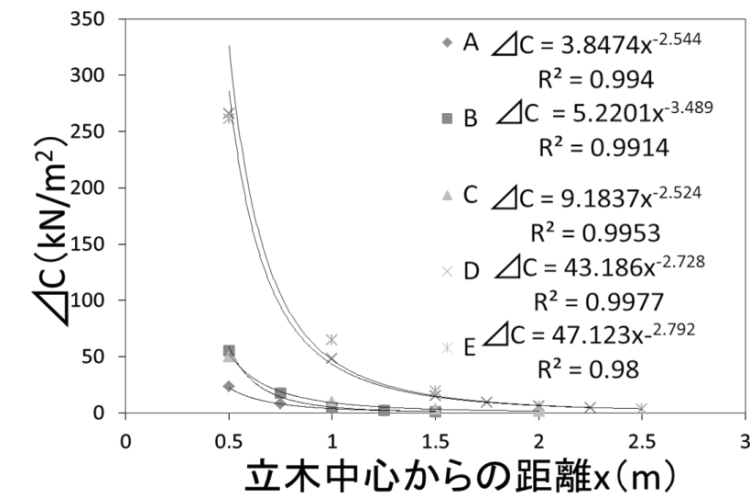


図-1 ヒノキ周囲掘削調査結果

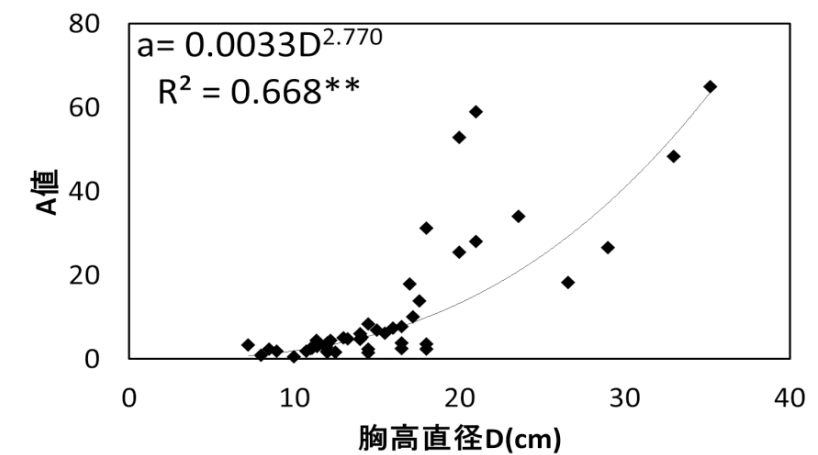
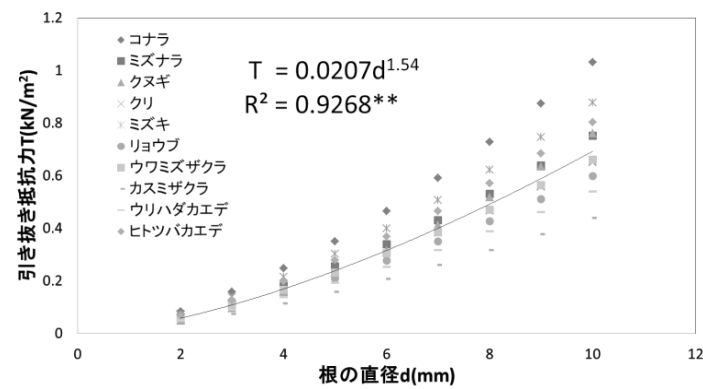


図-2 A値とDBHの関係



### 3. 3 根系掘削調査

調査プロット内の立木付近に土壌トレンチを数箇所掘削し、断面に出現した根系の直径と位置、樹種を記録した。樹種は根系の外見と伸張方向から判断した。測定を行う根系は直径が2.0mm以上のものとした。これから得た△C実測値と、前述の崩壊防止力推定式から得られた△C推定値の比較を行った。



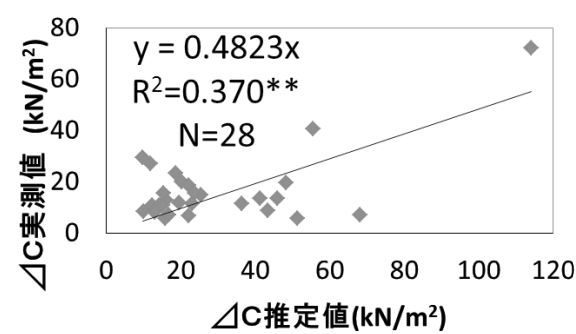
図—3 広葉樹引き抜き抵抗力一般式

### 4 結果と考察

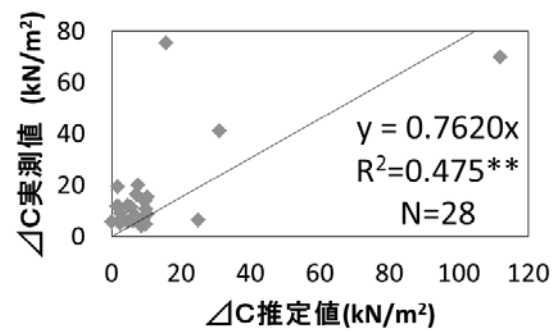
#### 4. 1 根系掘削調査結果

図—4~6にヒノキ人工林の各調査地における△C推定値と△C実測値の比較を示す。これらから、△Cの実測値と推定値は一致しなかったものの、両者には有意な関係があった。また、図—7に広葉樹天然林における△C推定値と△C実測値の比較を示す、こちらも同様に△Cの実測値と推定値は一致しなかったものの、両者には有意な関係があった。

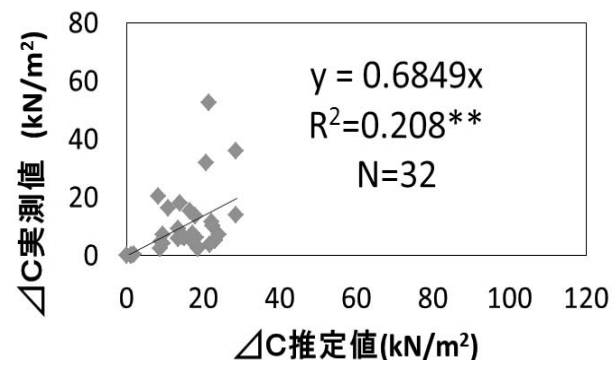
ヒノキ人工林では推定値が実測値を上回っているが、広葉樹天然林では逆に推定値が実測値を下回り、両者は異なる傾向が見られた。これはヒノキと広葉樹両者の推定式において、B値に共通の値を用いたことが原因である可能性が高い。今後修正、補正が必要ではあるが、有意水準は満たしているために崩壊防止力の推定に利用可能と考えられる。



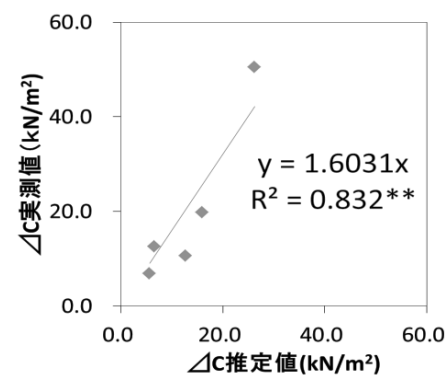
図—4 ヒノキ人工林調査地1の△C推定値と実測値



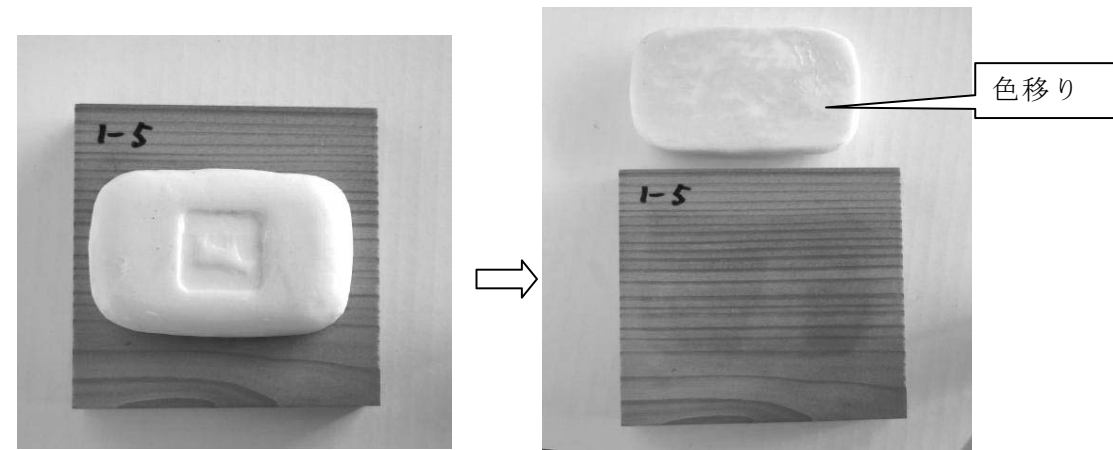
図—5 ヒノキ人工林調査地2の△C推定値と実測値



図—6 ヒノキ人工林調査地3の△C推定値と実測値



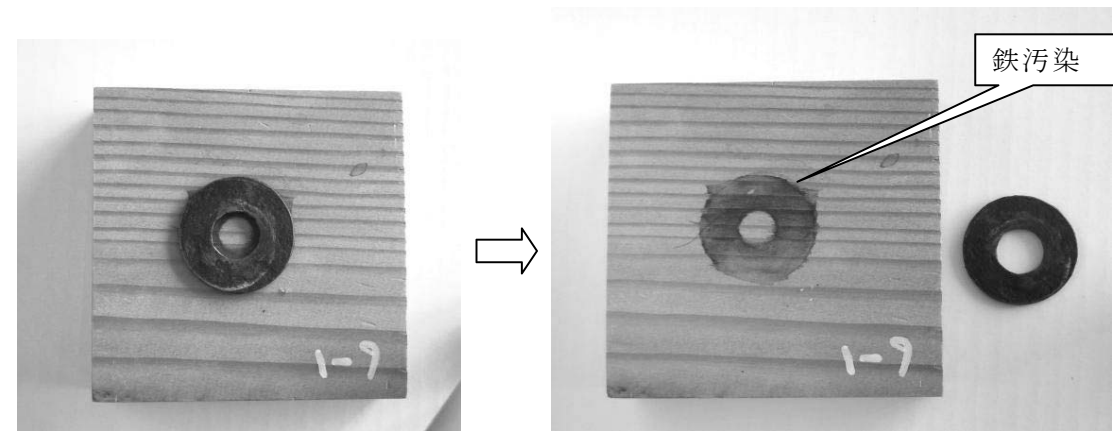
図—7 広葉樹天然林の△C推定値と実測値



4 時間放置

### 3) 「鉄汚染を防ぐ能力」の試験方法

温水に10分浸漬した鉄(ワッシャー)をカラマツ材(塗装済み)上に4時間放置し、鉄汚染の状態を目視判断した。

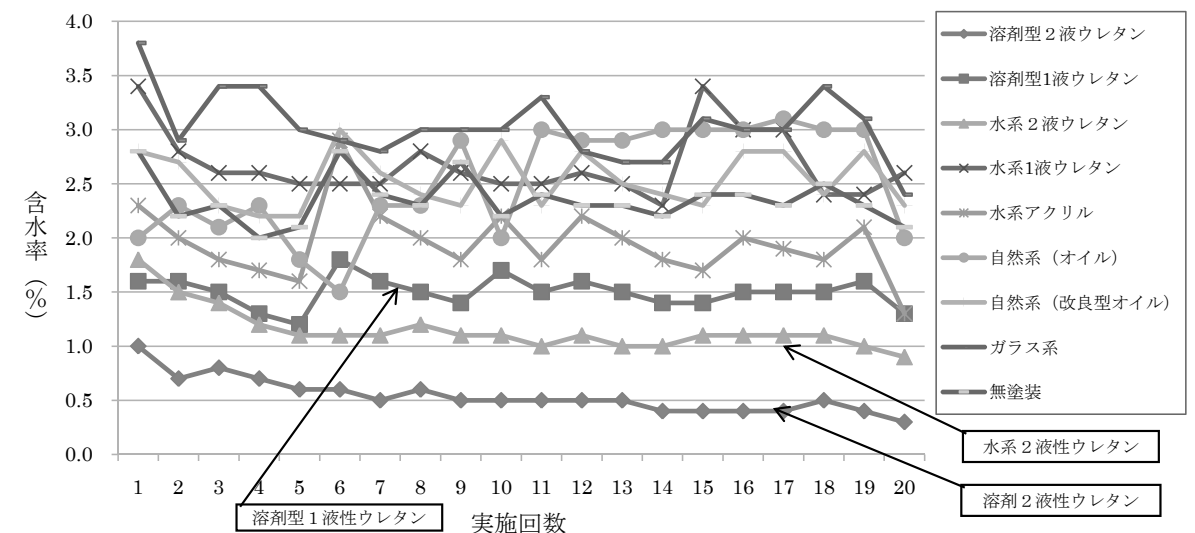


4 時間放置

### 3 試験結果

#### 1) 「水の出入りを防ぐ能力」の試験結果と評価

溶剤型2液性ウレタンの能力が高く、次に水系2液ウレタン、溶剤型1液性ウレタンの順であった。他の塗料にはほとんど差異はなかった。



注1) 各塗料の代表的なものをグラフ化している 注2) ラッカー塗料は試験せず



## 浴室使用のカラマツ材に適した塗料

長野県工業技術総合センター 環境・情報技術部門  
三宅 芳美

### 1 はじめに

カラマツ材で家具・小木工品を制作している企業から「石鹸台を作ったところ、カラマツの色が石鹸に移り困っている。色移りを防ぐよい塗料は無いか?」、また、「従来からの木工関係でよく使用される溶剤型2液ポリウレタン塗料(原則:下塗り、中塗り、上塗りと3回スプレー塗装が必要)よりも簡便に塗れる塗料は無いか?」との相談があったことがこの研究の発端である。以前から、自然系塗料(亜麻仁油等の油を浸透させる薄膜塗装方法)を使用している人たちからも「テーブルに鉄汚染(輪染み)が出て汚くなる。鉄汚染を防ぐ自然系に近い塗料は無いか?」との相談を受けていたのでこの面からも検討してみた。

### 2 試験方法

#### 2.1 試験に使用した塗料

- ①溶剤型2液性ウレタン塗料(下塗り、中塗り、上塗りをスプレー塗装)
- ②溶剤型1液性ウレタン塗料(刷毛塗り2回)
- ③ラッカー塗料(下塗り、中塗り、上塗りをスプレー塗装)一部試験せず
- ④水系2液性ウレタン塗料(A社)(刷毛塗り2回)
- ⑤水系1液性ウレタン塗料(A社)(刷毛塗り2回)
- ⑥水系アクリル塗料(A社)(刷毛塗り2回)
- ⑦水系アクリル塗料(B社)(刷毛塗り2回)
- ⑧自然系オイル C社(ドイツ製)(刷毛塗り後ウエス拭きを2回繰り返す)
- ⑨自然系オイル D社(日本製)改良型(刷毛塗り後ウエス拭きを2回繰り返す)
- ⑩自然系オイル E社(日本製)改良型(刷毛塗り後ウエス拭きを2回繰り返す)
- ⑪ガラス系F社(日本製)(刷毛塗り2回)
- ⑫ガラス系G社(日本製)(刷毛塗り2回)
- ⑬無塗装

上記12の塗料を指定された方法でカラマツ材に塗布し、24時間乾燥後試験に供した。

#### 2.2 試験片

90×90×23mm カラマツ材 各塗料5試験片(鉄汚染は各3試験片)

#### 2.3 試験方法

試験項目を「水の出入りを防ぐ能力」「色移りを防ぐ能力」「鉄汚染を防ぐ能力」の3項目とし、それぞれの方法で評価した。

##### 1)「水の出入りを防ぐ能力」の試験方法

浴室と同様な環境(温度40℃、湿度80%)の中で、乾いたカラマツ材(塗装済み)が吸収する水(水蒸気状)の量を測定した。また、乾燥と吸湿を20回繰り返し、その数値の変遷で判断した。

##### 2)「色移りを防ぐ能力」の試験方法

40℃の温水に10分間浸漬した石鹸をカラマツ材(塗装済み)上に4時間放置し、色移りの状態を目視判断した。

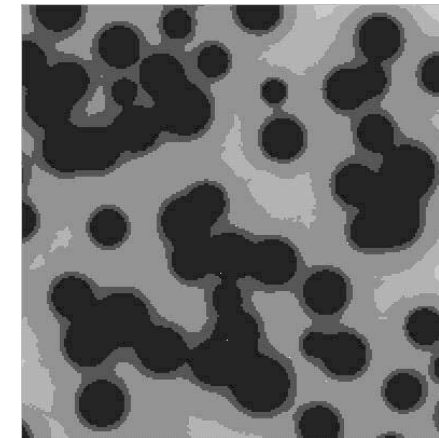


図-8 ヒノキ人工林調査地1のΔCマップ

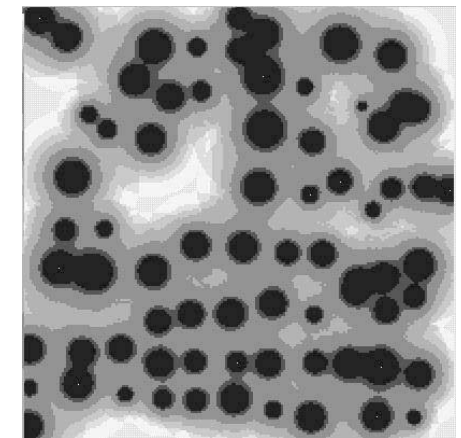


図-9 ヒノキ人工林調査地2のΔCマップ

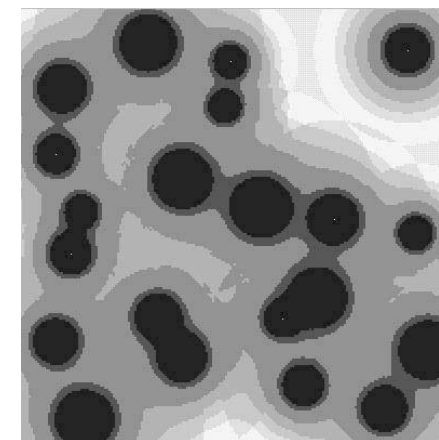


図-10 ヒノキ人工林調査地3のΔCマップ

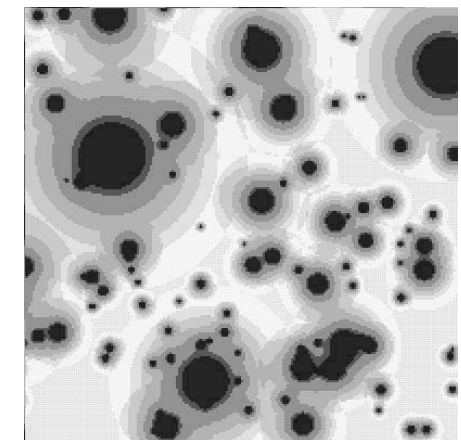
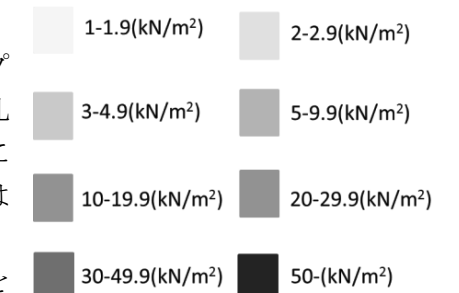


図-11 広葉樹天然林のΔCマップ

#### 4.2 ΔCマップ作成

図-8~10にヒノキ人工林の調査地3箇所のΔCマップを、図-11に広葉樹天然林のΔCマップを示す。図中の凡例に示す通り、ΔCの大小は色で判断が可能である。白に近い色で示される地点が弱所であり、弱所が広い、または連続していると崩壊の危険性が高いとみることができる。このようにして、毎木調査から得た胸高直径と立木位置を用いることで崩壊危険地の判定を行うことができる。

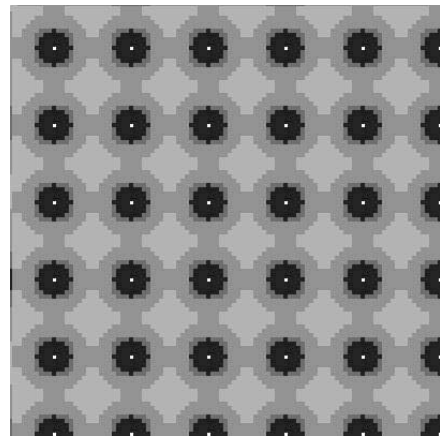


ΔCマップ凡例

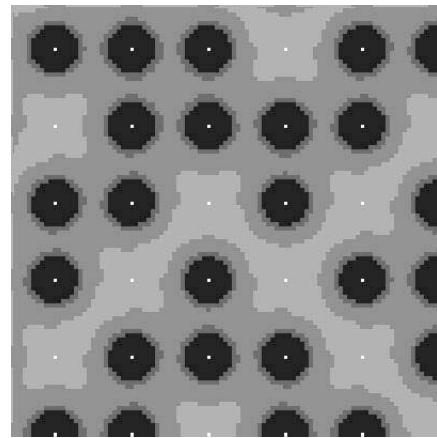
#### 4.3 崩壊防止力経年変化シミュレーション

ΔCマップの利点は胸高直径と立木位置のみから作成が可能であることである。すなわち、具体的な森林に対し、密度管理曲線による成長予測と、間伐後の立木配置を入力することにより、間伐前後の崩壊防止力の時系列変化をシミュレートできる。ここでは例として図-12~15にヒノキ人工林のΔCマップシミュレーションを示す。密度3,000本/haで植林し、25年生時点が図-12である。そこから35%の間伐を行って密度を2,000本/haとした40年生時点が図-13、さらに40%の間伐を行い1,200本/haとした55年生時点が図-14、そこから80年生まで手を加えなかった場合のΔCマップが図-15である。一方図-16は40年生時点までは同様の施業を行い、55年生時点で35%の追加間伐を行って密度を800本/haとして80年生を迎えた場合のΔCマップである。あくまで一例であるが、図-15と図-16を比較すると、伐採を行うことで弱所が生じていることがわかる。肥大成長を促し、根系の成長も促進させる間伐は崩壊に強い森林づくりに不可欠だが、一度の間伐で密度を疎にしすぎるとかえって弱所が長期間生じる危険がある。このように、林内に弱所を長期間生

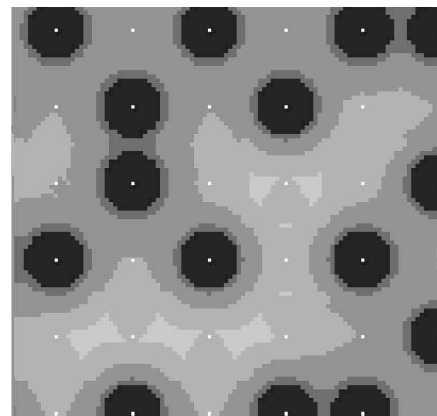
じさせず、かつ成長を促すために、間伐強度と選木をどのようにするかと考えるときに、この手法を用いることで検討を行うことができる。



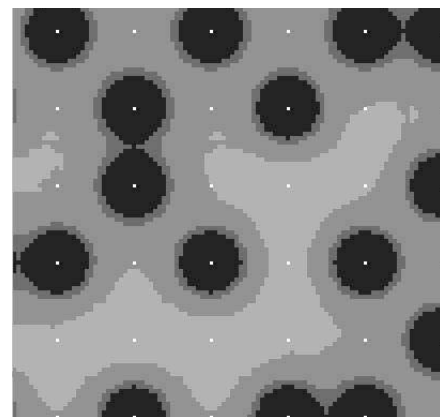
図—12 経年変化シミュレーション1  
25年生, 3,000本/ha, DBH13.0cm



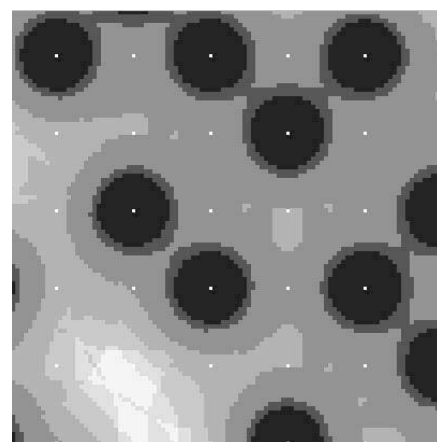
図—13 経年変化シミュレーション2  
40年生, 2,000本/ha, DBH16.9cm



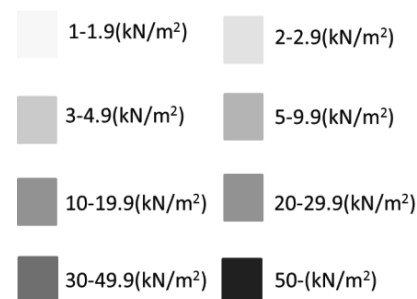
図—14 経年変化シミュレーション3  
55年生, 1,200本/ha, DBH21.6cm



図—15 経年変化シミュレーション4  
80年生, 1,200本/ha, DBH22.7cm



図—16 間伐効果シミュレーション  
80年生, 800本/ha, DBH26.3cm



△C マップ凡例

### 5.3 たわみ振動法による簡易劣化診断法の検討

曲げ強度試験の結果と、縦振動法ヤング係数 (Efr) の相関係数は高かったが、縦振動法は木口を叩いて部材を振動させる必要があるため、現地で横梁部材を支柱に取り付けたままでは実施することができない。そこで、たわみ振動法によるヤング係数 (Eafb) であれば支柱に部材を取り付けたままでも測定が可能でありさらに木製ガードレールの場合は横梁部材の断面形状・寸法も一定であるのでヤング係数の算出を省略し、たわみ振動の周波数からおおよその部材強度が推定できるのではないかと考え検討を行った。

なお、当初は横梁部材の取り付け用ボルトを締め付けた状態でたわみ振動周波数の測定を試みたが、ピークが複数出て、安定した測定が出来なかった。そこで、ボルトを一旦緩め、支柱および取り付け金物と横梁部材の間にクッション材を挟んだ上で横梁部材をゴムハンマーで叩き、たわみ振動を励起させた。周波数は、ポータブルパソコンとスペクトラムアナライザーソフト WaveSpectra (Efu 氏作成)、およびUSBマイクを使用し、測定した (写真13・14)。

たわみ振動の測定結果と最大荷重の関係を図7に示す。縦振動法ヤング係数と同様にたわみ振動の周波数も最大荷重と相関が高かったことから、ヤング係数の算出に必要な部材重量の測定・密度計算等を省略し、たわみ振動の数値のみで部材残存強度を推定し、部材交換の必要性を判断できると思われた。なお、3号型の横梁部材の初期強度 (最大荷重) はおおよそ 40kN 程度を想定していることから、標準スパン (2 m) の部材の交換目安となるたわみ振動周波数は 150~170Hz 程度と考えられる (図7)。

今後は、より劣化が進んだ部材等を対象に、たわみ振動法による残存強度の推定手法の精度検証を進めていきたいと考えている。



写真13 ボルトを緩め、クッション材を支柱と横梁部材の間に挟む

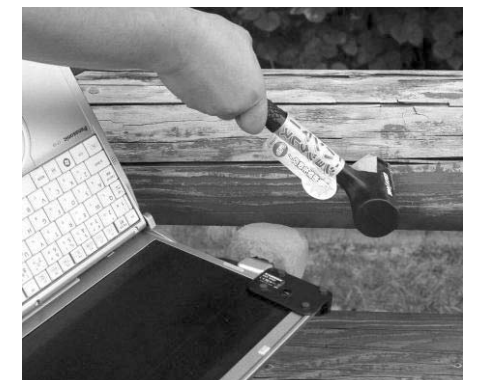


写真14 ゴムハンマーで叩き、振動測定

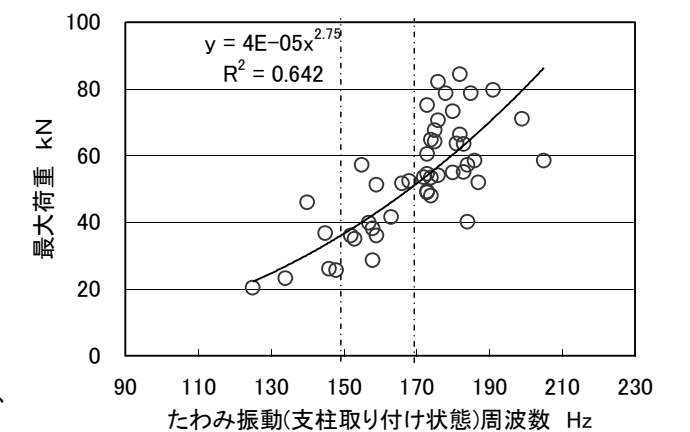


図7 たわみ振動周波数と最大荷重

#### 引用文献

- 1) 秋田寛己 (2012) 全国における木製治山堰堤の施工実績と今後の維持管理、第52回治山研究発表会概要集
- 2) 柴田直明 (2007) カラマツ製遮音壁、長野県林業総合センター技術情報 No. 125
- 3) 柴田直明 (2013) カラマツ製遮音壁の新設、長野県林業総合センター技術情報 No. 146
- 4) 柴田直明 (2012) 木製遮音壁の将来性、長野県林業総合センター技術情報 No. 141

の間で5倍以上の開きがあり、また、大半は3号型木製ガードレール横梁部材の初期強度の目安である40kN以上の強度を有していたことから、目視や打診などの方法だけでは、強度が安全レベル以下に低下した部材を選別することは困難と考えられた(表・図5)。

表 3号型木製 Gr 横梁部材強度試験結果概要

強度試験 実施年度	経過年月 (試験体数)	全乾容積重 (g/cm <sup>3</sup> )		最大荷重 (kN)		備考
		平均値 (最小~最大)	平均値 (最小~最大)	平均値 (最小~最大)	平均値 (最小~最大)	
2009	4年8ヶ月(n=115)、1年11ヶ月(n=5)	0.428 (0.340~0.517)	63.5 (21.3~109.1)			
2010	4年1ヶ月~5年11ヶ月(n=104)、6年8ヶ月(n=16)	0.435 (0.299~0.539)	58.3 (16.2~89.0)	16体はAAC防腐加工材		
2012	6年11ヶ月~7年0ヶ月(n=196)、1年4ヶ月(n=1)	0.420 (0.327~0.542)	53.3 (16.5~84.4)	1体はACQ防腐加工材		

なお、外観上は劣化が進んでいるように見えても、最大荷重が40kN以上あった部材を切断し断面を観察すると、劣化が辺材部に留まり、心材部は健全である場合が多かった(写真11)。一方、最大荷重が30kN以下に低下していた部材は、虫害等による内部の劣化が認められた(写真12)。また、ピロディン貫入値の平均値と最大荷重の間にも相関関係は認められたが、縦振動法ヤング係数(Efr)より相関係数は低かった(図5・6)。

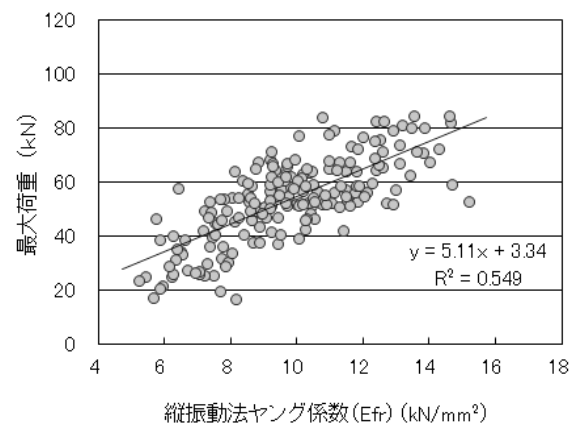


図5 強度試験結果(2012)

縦振動法ヤング係数と最大荷重の関係

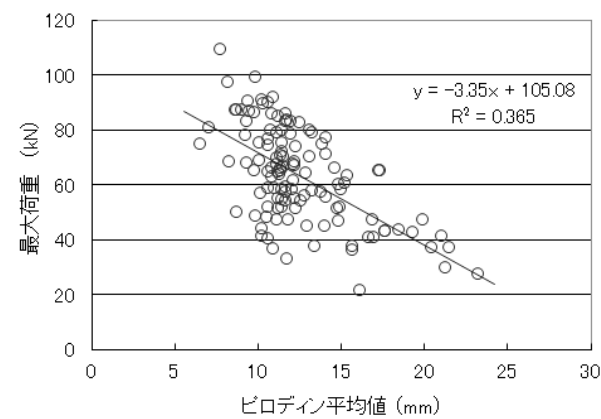


図6 強度試験結果(2009)

ピロディン貫入値と最大荷重の関係



写真11 3号型横梁部材断面  
(辺材部のみ劣化)



写真12 3号型横梁部材断面  
(心材部まで劣化)

### 5 まとめ

崩壊防止力分布の二次元分布図を作成した。この推定法により、土壌を掘削することなく、毎木調査による情報から崩壊防止力が推定できる。推定法はヒノキ人工林、広葉樹天然林で有意な結果となったものの、精度の向上は必要である。

崩壊に強い森林とは、崩壊防止力の弱所が存在しない森林である。それは一般的には間伐により肥大成長が促され、立木間隔が離れすぎでない森林である。本研究で開発した△Cマップを用いれば、壊防止力の二次元分布が視覚的に示される。また、間伐前後の崩壊防止力時系列変化も予測できるようになった。すなわち、崩壊に強い森林を目指した施業を示すことが可能となる。このことは、崩壊の発生しやすい急傾斜地や、集水地形であるゼロ次谷の森林においては特に、適切な施業指針を作る助けとなると考える。

### 6 謝辞

本研究の一部は中部森林管理局南信森林管理署手良沢山国有林内において行ったものである。調査地の提供および調査の許可をくださった中部森林管理局南信森林管理署の皆様はこの場を借りて感謝の意を表します。

### 7 引用文献

- 1) 遠藤泰造・鶴田武雄(1968) 樹木の根が土のせん断強さに与える作用(1) 林試北海道市場年報、167-181, 1968
- 2) 神田誠也・北原曜・小野裕(2012) 山地急斜面地におけるヒノキ単木周囲の崩壊防止力、中森研 61:9-12
- 3) 北原曜・野毛伴基・小野裕(2002) ヒノキ林における水平根の崩壊防止効果、113 回日林論
- 4) 久保田遼・北原曜・小野裕(2006) 樹種による根系分布と引き抜き抵抗力の違い、中森研 55:123-126
- 5) 松下将大・北原曜・小野裕(2009) 林床に侵入する広葉樹根系の引き抜き抵抗力と単根引張強度強度の関係、中森研 57:183-186
- 6) 相馬健人・北原曜・小野裕(2006) 土壌水分状態がヒノキ根系の引き抜き抵抗力に及ぼす影響 中森研 54:183-18

## カラマツ高温セット材の強度を破壊面の観察から考える

信州大学農学部大学院 森林科学専攻 2年 五十嵐 康太

### 1 はじめに

高温セット法は、生材状態の心持ち柱材に対して蒸煮処理(飽和水蒸気で蒸す処理)を施した後に高温低湿処理(乾球温度を 100℃以上、湿球温度との差を 30℃～40℃に設定)を行う乾燥方法である。この方法を用いた場合、乾燥初期に材の表面に引張のドライグセットが形成され、背割りを行うことなく表面割れを抑制することができる。この乾燥方法は 2003 年に長野県林業総合センターで開発され、乾燥スケジュールの短縮とそれに伴うコストの削減等のメリットから、主に針葉樹材の乾燥方法として普及している。しかし、既往の研究により、高温セット法を用いて乾燥されたカラマツ材は天然乾燥のカラマツ材に比べて強度が低下するとの報告がなされている<sup>1)</sup>。針葉樹材における強度などの材の特性は、材を構成する細胞の 90%以上を占める仮道管の影響を強く受けている。従来の研究で、カラマツ材の仮道管引張破面を電界放出形走査電子顕微鏡(FE-SEM)で観察すると、乾燥条件の違いにより破面の形状が異なることが報告されている<sup>2)</sup>。本研究では、高温セット法がカラマツ及びスギの心持ち柱材の力学的特性に与える影響についてより詳細な知見を得ることを目的とし、FE-SEMを用いて高温セット法を含む様々な条件で乾燥したカラマツとスギの心持ち柱材の仮道管細胞壁における引張破面を観察した。さらに、観察された仮道管細胞壁の破面形状を比較し、高温セット処理が材に与える影響を樹種間及び部位間での違いに着目して考察した。

### 2 実験方法

135mm 角のスギ及びカラマツ心持ち正角材に対し、高温セット処理 48 時間(HL)、高温セット処理 18 時間(HS)、中温乾燥 312 時間(M)、天然乾燥(AS)の 4 条件で乾燥を行った。乾燥した正角材の横断面が 4×4 の 16 等分になるようスティック状に切断し、角、周囲、または中心の 3 グループに分けた。それぞれのグループから欠点のないスティックを選び、幅約 7mm、厚さ約 4mm、つかみ具間距離 45mm の引張試験体を作製した。試験体に対して精密万能試験機(オートグラフ AG-X 100kN、島津)を用いて、荷重速度 2mm/min で引張試験を行った。破壊した引張試験体の分断面からカミソリを用いて破面を含む観察用試料を採取した。採取した試料にイオンスパッター(E-1030、日立)を用いて白金-パラジウムをコーティングし、FE-SEM(S-4500、日立)を用いて仮道管細胞壁の破面を観察した。

### 3 結果と考察

#### 3.1 破面の形状

観察された仮道管細胞壁の引張破面形状は脆性破面と延性破面の 2 種類に大別された(図 1)。脆性破面では、亀裂がセルロースマイクロフィブリル(以下フィブリル)を横切って進み、ほぼ垂直

験等を実施した。

#### 5.1 現地調査

現地調査は、主に県が管理する国・県道に設置された信州型木製ガードレール(約 20km)を対象に実施した。調査方法は目視および打診を主体とし、腐朽や虫害等による劣化の進行が疑われた部材については、ピロディン貫入値による調査も実施した。

その結果、カラマツの角材を使用し、腐朽や虫害を受けやすい辺材部がほとんど無い 2 号型では顕著な劣化は認められず、ピロディン貫入値も稀に 20mm を超える部材がある程度であった(写真 7)。しかし、スギの半円加工材を使用した 1 号型とカラマツの円柱材を使用した 3 号型では、子実体の発生や辺材部のはく離等の劣化現象が、設置年度が古い箇所を中心に目立った(写真 8～10)。また、このように劣化現象が目立った部材では、ピロディン貫入値も機器の測定限界である 40mm を超える部材が散見され、特に横梁部材が純木製である 3 号型については、部材の強度試験を実施してその安全性を確認する必要があると判断した。



写真7 信州型木製 Gr 2号型  
(カラマツ角材+鋼棒)

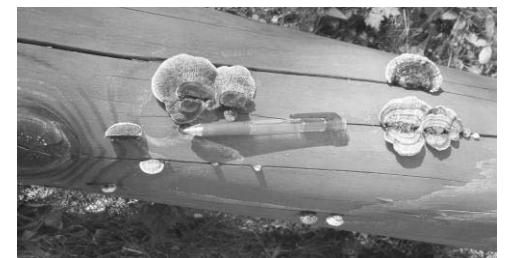


写真8 子実体が発生した  
信州型木製 Gr 3号型 (カラマツ円柱)



写真9 辺材部が剥離した  
信州型木製 Gr 3号型



写真10 辺材部がはく離した信州型  
木製 Gr 1号型 (スギ半円材+鋼板)

#### 5.2 強度試験

強度試験は、設置後 4～7 年経過した 3 号型の横梁部材を対象とし、初年度は一定区間の全ての部材、2 年目以降は目視等で劣化が進んでいると思われた部材を選定して実施した。試験方法は、3 号型横梁部材の標準スパンが 2 m (部材長 1990mm) であることから、スパン 1,800mm の 3 点曲げ(中央集中荷重方式)とした。また、強度試験実施前に、部材長と重量、縦振動周波数の測定、ピロディンの打ち込みを行い、2 年目以降は現地での非破壊的部材強度推定手法としての可能性を検討するため、たわみ振動周波数も測定した。

試験結果の概要を表に示す。同一区間の部材全てについて強度試験を実施した 2009 年のみならず、目視・打診等により劣化した部材のみを選定し試験を実施した 2010 年・2012 年も最小値と最大値



1986年の試験施工以来、長らく県内では自動車専用道に木製遮音壁が設置されることはなかったが、上記20年後の性能確認試験の結果等により、その耐久性が証明されたこともあって、2012年、中央自動車道伊那IC付近で実に26年ぶりにカラマツ製の遮音壁が施工された(写真5)<sup>3)</sup>。

遮音壁に求められる性能は遮音性能に加え、強度的には1.5kN/m<sup>2</sup>程度の風荷重に耐えれば良く、一方で延長当たりの木材使用量が多い<sup>4)</sup>。仮に強度性能が低下したとしても、通行の安全性が顕著に損なわれる訳ではなく部材交換も比較的容易であるので、今後、木材の使用量拡大をはかる余地が大きな構造物であると言える。



写真5 2012年に新設された木製遮音壁

#### 4 車道橋(林道木橋)

県内では、2000年以降、集成材による林道木橋の整備が進められるとともに、2001年には長野県林道木橋メンテナンスマニュアル(案)が策定された。当所では道路管理者等と協力し、このマニュアル(案)に基づいて目視等による調査を実施してきた。

当初整備された2橋を除き、大半の県内林道木橋は、2002年策定の「長野県林道木橋標準設計」に基づいて、鉄筋コンクリートの床版を集成材の桁が支える構造になっている(図4)。この構造はコンクリート床版が雨水の浸入を防ぐ屋根の役割を果たすため、これまでの調査では、木製桁等の構造上重要な部分に、顕著な劣化は認められていない。一方、初期の2橋では舗装に使用した乳剤により遮水層が溶けたため、舗装の打ち換えを余儀なくされたり、一部の部材に菌糸の発生が認められたため、経過観察を行っているところである(写真6)。幸い、これまでのところ大規模な改修等が必要な事態には至っていない。しかし、木製車道橋は、部材の断面が大きく、部材内部の劣化診断が困難なことに加え、構造力学的にも高度な検討が必要な重要構造物で補修には多額の費用が必要となる可能性もあるので、今後もその維持管理には慎重かつ丁寧な取り組みが必要である。

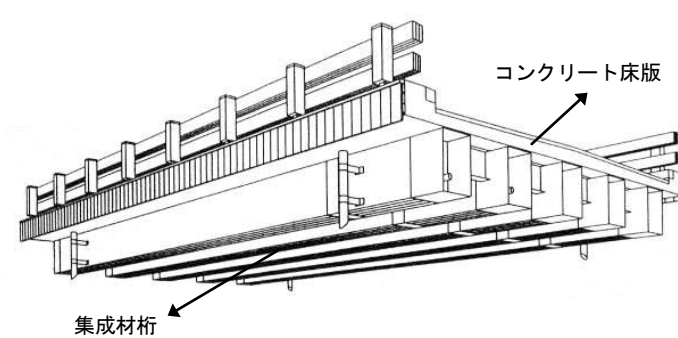


図4 「長野県林道木橋標準設計」に基づく木橋の構造



写真6 菌糸が発生した木橋

#### 5 木製ガードレール

長野県では、2003年度に3タイプの信州型木製ガードレールが開発され、2004年以降に県内で設置された木製ガードレールの総延長が26km超になる。その大半は防腐処理を行っていないため、劣化の進行による部材の強度低下が危惧されたことから、当所では現地調査および劣化部材の強度試

に仮道管細胞壁を破断していた。破断面は概ね平坦で、破断面上にフィブリルの切断端が観察された(図1A)。延性破面では、脆性破面の場合と同じく亀裂はフィブリルを横切って進み、ほぼ垂直に仮道管細胞壁を破断していたが、フィ

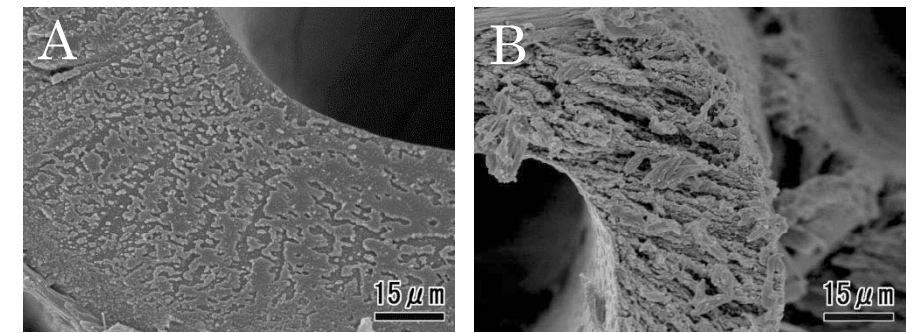


図1. 仮道管細胞壁の破面

- A: 脆性破面(スギHS材中心部晩材仮道管細胞壁)
- B: 延性破面(スギAS材周囲部分晩材仮道管細胞壁)

ブリルの切断とフィブリル間の剥離が交互に生じており、破断面はささくれ状を示していた(図1B)。スギ材の引張破面を観察した際に、脆性破面はHL材やHS材で主に観察された。しかし、AS材では脆性破面はほとんど観察されず、主に観察された破面は延性破面であった。このことから、脆性破面は高温セット処理の影響により仮道管細胞壁が脆性化し観察されるようになった破面形状であることが推測される。

#### 3.2 FE-SEM 観察

FE-SEM 観察による引張破面形状と引張破面観察像を、表1及び図2、3に示す。カラマツHL材とスギHL材の引張破面形状を比較すると、カラマツHL材中心部とスギHL材中心部のどちらも早材、晩材両方の仮道管細胞壁で脆性破面が主に観察された(図2A-D)。カラマツHL材角部分では早材、晩材両方の仮道管細胞壁で脆性破面が主に観察されたのに対し、スギHL材角部分では早材、晩材両方の仮道管細胞壁で延性破面が主に観察された(図2E-H)。これらのことから、高温セット処理が引張破面形状に与える影響はスギ材とカラマツ材で異なることが推測される。

スギHL材とAS材を比較すると、中心部において、HL材では早材、晩材両方の仮道管細胞壁で脆性破面が主に観察されたのに対し、AS材では早材、晩材両方の仮道管細胞壁で延性破面が主に観察された(図2-C, D, 図3-A, B)。一方、角部分では、HL材とAS材で違いがほとんど見られず、早材、晩材両方の仮道管細胞壁で延性破面が主に観察された(図2-G, H, 図3-C, D)。これらのことから、高温セット処理がスギ材の引張破面形状に与える影響は、角部分に比べて中心部で大きくなると推測される。

表1. 引張破面形状

カラマツ 晩材	HL	HS	M	AS
角	脆性	脆性	脆性	延性
周囲	脆性	脆性	脆性	脆性
中心	脆性	脆性	脆性	延性

カラマツ 早材	HL	HS	M	AS
角	脆性	脆性	延性	延性
周囲	延性	延性	延性	延性
中心	脆性	脆性	延性	延性

スギ 晩材	HL	HS	M	AS
角	延性	延性	延性	延性
周囲	延性	脆性	延性	延性
中心	脆性	脆性	延性	延性

スギ 早材	HL	HS	M	AS
角	延性	延性	延性	延性
周囲	延性	延性	延性	延性
中心	脆性	延性	延性	延性

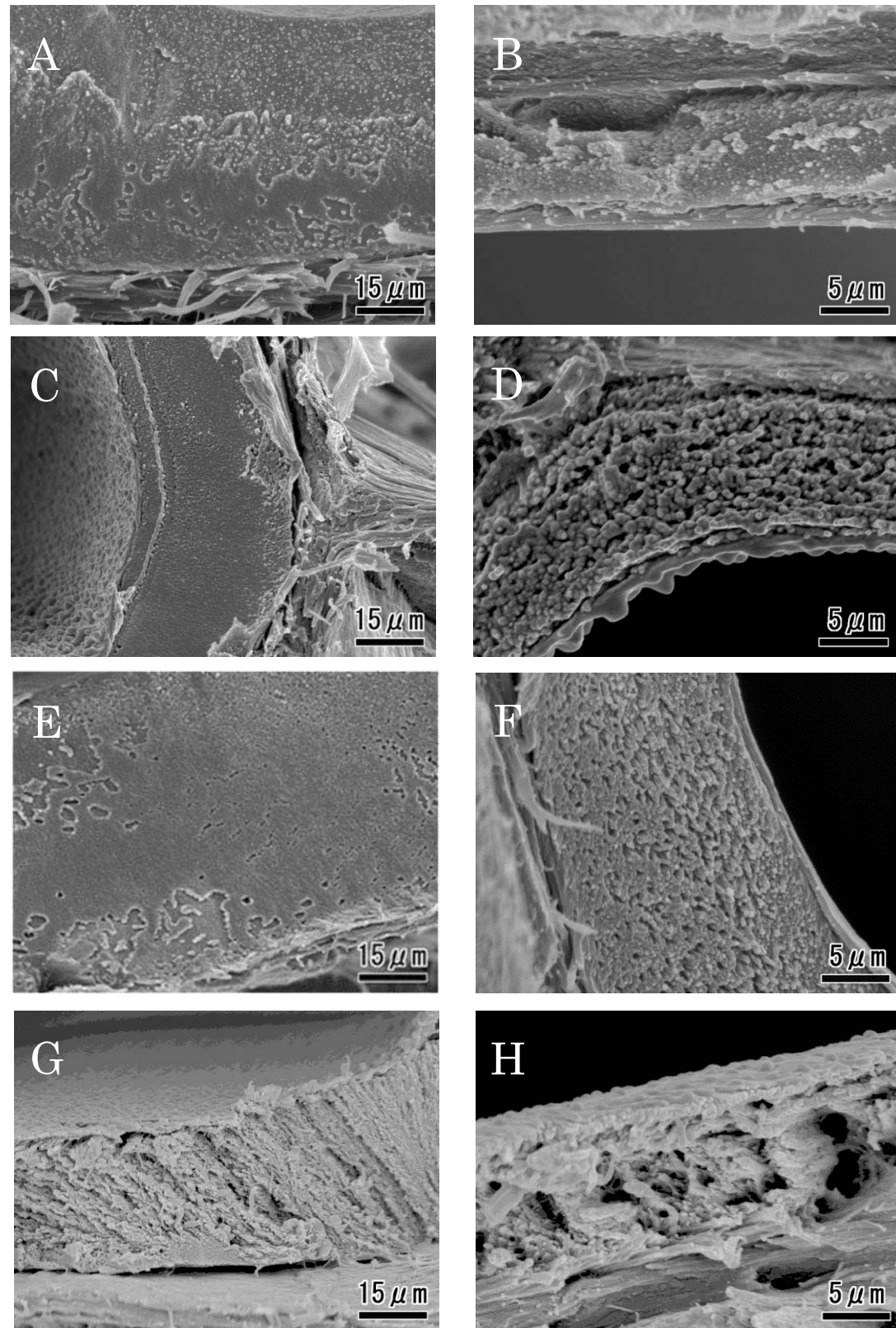


図2. HL材仮道管細胞壁の引張破面観察像

- A: カラマツ材中心部晩材仮道管細胞壁
- B: カラマツ材中心部早材仮道管細胞壁
- C: スギ材中心部晩材仮道管細胞壁
- D: スギ材中心部早材仮道管細胞壁
- E: カラマツ材角部分晩材仮道管細胞壁
- F: カラマツ材角部分早材仮道管細胞壁
- G: スギ材角部分晩材仮道管細胞壁
- H: スギ材角部分早材仮道管細胞壁

討を行う予定である。



写真3 レジストグラフによる劣化調査の様子

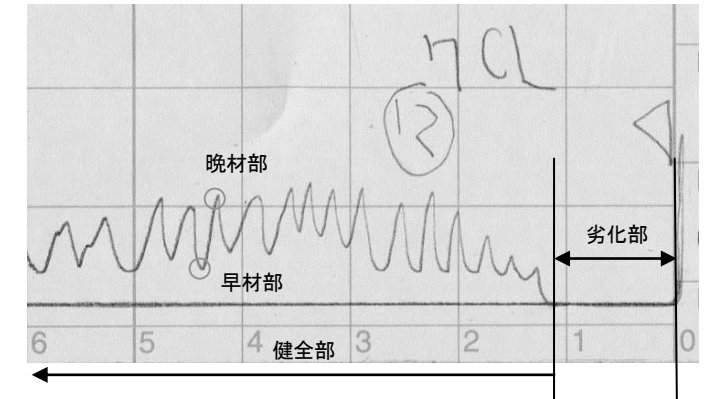


図1 レジストグラフによる劣化部と健全部の判別

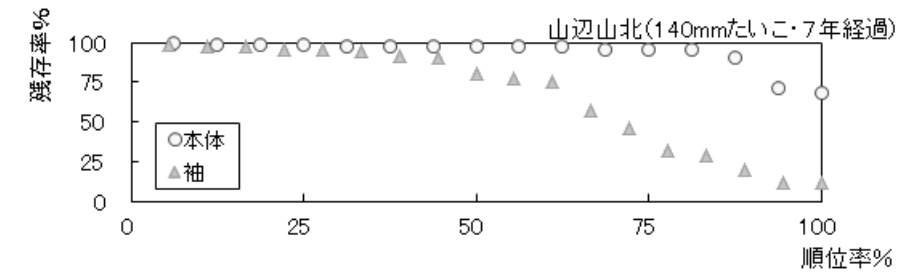


図2 カラマツのたいこ材を使用したえん堤の部材残存率

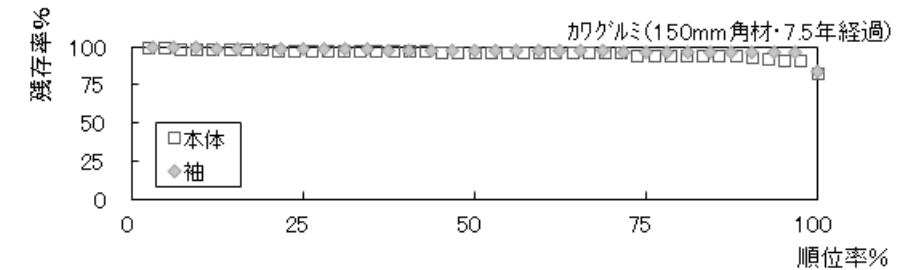


図3 カラマツの角材を使用したえん堤の部材残存率

### 3 遮音壁

1986年、当所の前身である林業指導所が開発したカラマツ製遮音壁が、中央自動車道飯田ICの南に試験施工された。施工延長は200mで、日本道路公団（当時）が定めた遮音性能基準を満たす木製遮音壁として、国内第1号であった（写真4）。当所では、その後経過観察を継続するとともに、施工20年後には一部の部材を交換し、遮音性能や部材強度などの各種性能試験を行って、顕著な性能低下は生じていないことを確認した<sup>2)</sup>。



写真4 施工後26年経過した木製遮音壁

## 長野県内における木材の土木利用と維持管理について

長野県林業総合センター 山内 仁人

### 1 はじめに

2010年に「公共建築物における木材の利用の促進に関する法律」が制定される等、近年、公共施設への木材利用を促す動きが活発化している。一方で、公共予算は全般的・長期的に縮小傾向にあり、今後は、新たな施設を整備するより、既存施設の維持管理の問題がより重要になって来ると言われている。

長野県内では、十数年ほど前から木材を利用した公共土木施設整備が増加した。これらの施設の大半は、現在も現役で施設としての役割を果たしているが、屋根のある建築物等と異なり、土木施設は風雨に晒されることから、子実体(きのこ)の発生や、辺材部のはく離などの劣化現象が目立つ施設・部材も少なくなく、その安全性低下に対する危惧が生じてきている。

そのような状況のなか、林業総合センター(以下当所と略す)では、主として県が設置・管理する長野県内の木製土木施設の現況把握を進めるとともに、維持管理に欠くことの出来ない劣化診断手法等について検討してきた。以下にその概要を紹介する。

### 2 木製治山えん堤の調査

長野県内には134基の木製治山えん堤がある<sup>1)</sup>。そのうちの3/4は県が設置・管理し、大半は防腐処理を行っていない、カラマツのたいこ材を使用した堤高3m以内の比較的小規模な施設である。(写真1)。



写真1 カラマツたいこ材を使用した比較的小規模の治山えん堤

当所では、2010年頃から目視とピロディンによる木製治山えん堤の調査を開始した。ピロディンはバネの力で対象物にピンを打ち込み、その貫入値から対象物の劣化度を推定する機器である(写真2)。しかし、ピロディンのピンの長さは40mmで、それより深い内部の劣化診断はできない。また、バネの力が強く、健全材でもある程度ピンが貫入してしまうので、部材の劣化深さや残存強度をピロディン貫入値から精度よく推定することは難しかった。



写真2 ピロディン

そこで、2012年からはレジストグラフを使用して木製治山えん堤の劣化調査を実施している(写真3)。レジストグラフは、健全部では早材と晩材で穿孔抵抗値が大きく異なることから劣化部と健全部が容易に判別できる(図1)。以降の調査で、えん堤本体より袖部の方が木製部材の劣化速度が速い傾向があることや、一部の角材を使用したえん堤では、製材時に腐朽しやすい辺材を削り落としているため、たいこ材を使用したえん堤に比べ、部材劣化速度が顕著に遅いこと、等が明らかになりつつある(図2~3)。

今後は、中部森林管理局とも連携し、より設置年の古い施設や、より高標高の場所に設置された施設等の調査も実施するとともに、マイナスドライバー等の簡易な劣化診断手法についても検

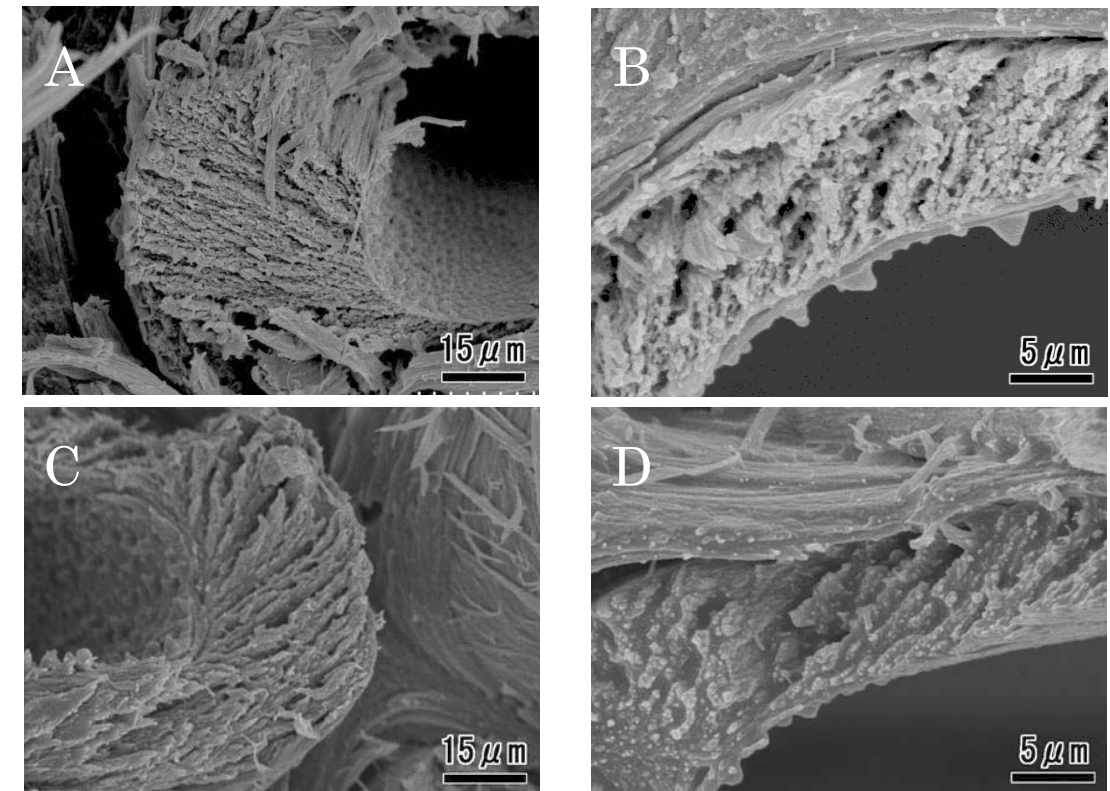


図3 スギAS材仮道管細胞壁の引張破面観察像

A: 中心部晩材仮道管細胞壁 B: 中心部早材仮道管細胞壁  
C: 角部分晩材仮道管細胞壁 D: 角部分早材仮道管細胞壁

### 3. 3 破面形状と強度との関係

カラマツ引張破面の観察において脆性破面はHL材、延性破面はAS材で観察されやすい傾向が見られた。高温乾燥を乾燥方法に用いたカラマツ正角実大材の曲げ強度は、高温乾燥の温度が高く、乾燥時間が長いほど低下する傾向にあるとの報告がなされている<sup>3)</sup>。このことと、乾燥時間の増加とともに脆性破面の出現頻度も増加することを合わせて考えると、カラマツ材とスギ材において、脆性破面が見られる頻度の差は強度低下の差と関係している可能性が考えられる。

### 4 まとめ

カラマツ材及びスギ材の引張破面形状は脆性破面と延性破面の2種類に大別された。HL材角部分においては、カラマツ材とスギ材の破面の出現傾向の違いから、高温セット処理が引張破面形状に与える影響はスギ材とカラマツ材で異なることが推測された。スギ材中心部においては、HL材とAS材の破面の出現傾向の違いから、高温セット処理がスギ材の引張破壊に与える影響は、角部分に比べて中心部で大きくなると推測された。さらに、脆性破面はHL材で、延性破面はAS材で観察されやすい傾向にあることから、カラマツ材とスギ材において脆性破面が見られる頻度の差は強度低下の差と関係している可能性が考えられた。

#### 引用文献

- 1) Takeda et al. (2005) Eurasian Journal of Forest Research, Vol.8 (2), 105-110
- 2) 中島ら (2011) 第61回日本木材学会大会, E19-P-AM07
- 3) 土橋ら (2005) 北海道林産試験場報告, Vol.19 (3), 22-26