

## 1 調査の背景と目的

本調査の仕様書によると、脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律に基づき、農林水産省本庁及び関係機関では、公共土木工事における木材利用の推進に取り組んでいる。本調査もこの取組の一つとして、木材の利用推進を目指し、森林土木木製構造物設計等指針及び森林土木木製構造物設計等指針の解説等（以下「木製構造物指針及び解説」という）の改定案を作成することを目的とする。

以下に本調査仕様書に示された目的を示す。

農林水産省では、脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成22年第36号）第10条第2項第4号に基づき、農林水産省木材利用推進計画を定め、農林水産省自らが整備する施設や補助事業を活用して整備する施設についての木造化・内装等の木質化、公共土木工事における木材利用等に努め、農林水産省本省及び関係機関を挙げて、木材利用の推進に取り組んでいる。

森林土木分野では、森林管理局や都道府県における木材を利用した事例を収集し、発注に必要な情報の拡充を図ることに加え、筋工等が森林土壌を保持することにより発揮される雨水の浸透効果の評価などの取組も進めているところである。

このような中、森林土木分野の取組状況については、柵工等比較的小規模な工作物の木製割合を100%とする目標についてはほぼ達成しているものの、工事費1億円当たりの木材使用量を62m<sup>3</sup>とする目標に対する直近の実績（令和3年度）は49m<sup>3</sup>にとどまっている。

そのような状況となっている要因として、

- ① 近年の山地災害の激甚化に伴い、対策に当たっては、緊急性・安定性・施工性の観点からコンクリート等を用いた強固な構造とする必要が増加してきたこと、
- ② 木材利用が可能と考えられる施工箇所においても、腐朽や害などの劣化により、木製構造物の採用が敬遠される場合があること、
- ③ 建設業で労働力不足が問題となっているなかで、森林土木工事での木材利用は資材の運搬・加工・施工に手間と技術を要すること、

などが考えられる。

森林土木分野における更なる木材利用の拡大には、上記③の課題に取り組むことが必要であり、例えば二次製品やユニット化された部材を用いた工法の活用による工事の省力化を図ることが有効である。

一方、上記②の課題については、適切に防腐処理された木材を用いた木製構造物では、施工後数十年経過しても十分に機能を有している事例も多く、木材腐朽をある程度克服することは技術的に可能となっている。しかし、施工条件に応じた最適な防腐処理が行われていない実態もあり、木製構造物への抵抗感が払拭されない一因となっている。

そこで、上記③の一層の活用拡大を企図して、上記②の課題解決を図ることを目的として、木材保存処理技術の整理及び各技術の適用可能工種等の整理を行う。

「令和5年度治山技術等推進調査（木材利用推進）仕様書」より抜粋

## 2 調査方法

本調査は、仕様書に示されている以下の内容に準じて実施することとし、「既存の施工事例の収集」、「防腐処理の現状」、「防腐処理の工法への適用」、「木製構造物指針及び解説等の改定案」の4つに分けてまとめることとする。

### 3 内容

- (1) 防腐処理された木材を用いた木製構造物で、長期間の耐久性を発揮している施工事例について、防腐処理方法や腐朽状況等を調査する。なお、施工事例については林野庁担当者から2, 3箇所程度指定する。
- (2) 木材の防腐処理方法の最新情報を収集整理する。また、上記(1)の事例も参考にしつつ、それぞれの防腐処理方法がどの工法等(木製構造物)に適したものであるかを整理する。
- (3) 上記(1)及び(2)の調査内容を踏まえ、森林土木木製構造物設計等指針及び森林土木木製構造物設計等指針の解説等の「4-7 防腐処理等の計画」の改定案を作成する。

「令和5年度治山技術等推進調査(木材利用推進)仕様書」より抜粋

### 2-1 既存の施工事例の収集

施工事例の収集では、**既存の調査研究の資料**、**耐久性の試験地**、**防腐処理技術の開発**を対象として調査を実施する。

#### 2-1-1 既存の調査研究

既存の調査研究として、一般社団法人日本林業土木連合協会が実施している「林業土木・木製構造物の経年変化に関する調査研究」を取り上げた。

本研究では、山地における木製構造物の経年変化について、平成23年から継続的に調査が実施されたものである。また、本研究については、令和3年度に林道研究発表会において10年間の研究成果が発表されている。

本業務では、この研究成果の中から、防腐処理の有無について注視し、その効果などについて取りまとめる。

#### 2-1-2 耐久性の試験地

耐久性の試験地として、木材防腐会社が鹿児島県屋久島町で行っている、防腐処理の試験地の現状を調査した。実施主体は株式会社森林コシイプレサービングである。ここでは、無処理の木材、防腐剤を加圧注入した木材、防腐剤を加圧注入前に表面を圧縮する前処理を行った木材の3つの種類の経年変化観察を13年間行っている。

本調査において、試験地の現況を把握し、防腐処理や前処理の影響を把握する。

### 2-1-3 防腐処理技術の開発

福島県林業研究センターでは、造林経営、緑化保全、育種、特用林産、木材等林業に関係する研究を行っている。本業務では県単課題平成16～18年度の研究報告としてまとめられた「福島県林業研究センター研究報告第40号2007 支柱・杭木等の防腐処理技術の開発」を取り上げて、防腐処理技術の知見を得ることとする。

- ・「林業土木・木製構造物の経年変化に関する調査研究」を対象として、山地における木製構造物の変化と防腐処理の影響について検討する。
- ・防腐処理の有無や前処理の影響について、屋久島町で行われている試験地を対象に現地調査を行う。
- ・福島県林業研究センターで行われている研究のなかで、「柱・杭木等の防腐処理技術の開発」を取り上げて検討する

## 2-2 防腐処理の現状

防腐処理の現状では、実際に行われている**防腐処理の方法**を把握すると共に、**森林土木事業での課題**を検討する。

### 2-2-1 防腐処理方法

防腐処理の方法と課題では、防腐処理を行っている木材防腐工場にて、樹種や規格の違いによる特徴、防腐処理方法、製品の性能区分や品質管理方法について把握する。

### 2-2-2 防腐処理の課題

森林土木事業で実施する防腐処理に関する課題を整理する。

- ・防腐処理方法の現状を把握する
- ・防腐処理方法の課題と対策を検討する

## 2-3 防腐処理の工種工法への適用

既存の調査研究から、山地での経年変化を取り上げ防腐処理の有効な活用方法を取りまとめる。この結果を基に、森林土木で用いられている木製構造物の工種別に適した防腐処理方法を検討する。

### 2-3-1 防腐処理と工種工法の区分

防腐処理と森林土木事業で実施する工種工法には、様々な種類がある。ここでは、それぞれ体系化し区分することで、防腐処理の工法への適用の事前準備とする

### 2-3-2 防腐処理区分と工種区分の結合

前項で区分した防腐処理区分と工種区分を合わせることで、防腐処理の工法への適用とする。

- ・ 防腐処理および工種工法の区分を行う
- ・ 防腐処理区分と工種区分を合わせて防腐処理の工法への適用とする

## 2-4 木製構造物指針及び解説等の改定案

これまでの調査結果から、木製構造物指針及び解説に追記すべき事項を抽出し、木材の利用推進に資する内容を取りまとめ改正案を作成する。

- ・ 木材の利用推進に資する内容を取りまとめ改正案とする

### 3 既存の施工事例の収集

#### 3-1 既存の調査研究

既存の調査研究として、一般社団法人日本林業土木連合会で平成 23 年度から継続的に行われている「林業土木・木製構造物の経年変化に関する調査研究」を取り上げ、その内容を検討する。具体的には、令和 3 年度に林道研究発表会で発表された 10 年間の調査結果を対象として、木材の腐朽や防腐処理に関する事項を取りまとめる。

##### 3-1-1 調査研究の概要

###### (1) 調査の目的

本調査は、国有林の林業土木事業で行われている木製構造物の使用木材の経年変化を長期間にわたり観察し、施設の構造、規格、施工性及び維持管理方法等を策定する基礎資料とすることで、木製構造物の活用促進に資することをその目的とする。

###### (2) 調査内容

本調査は、一回の調査を 5 年間で実施する調査で、6 年目から 2 回目、11 年目から 3 回目の調査を行う長期的なもので、以下の調査内容で実施する。

- ①本調査は、林業土木で実施された木製構造物の中で、合板材を用いた構造物及び木橋を除いたものを対象とする。
- ②本調査の対象工種は、比較的湿潤な条件下にある溪流部の工種、乾燥しやすい条件下にある工種、これらの中間的条件下にある工種の 3 つに区分し、それぞれが網羅されるよう現地調査箇所の抽出を行う。
  - ・湿潤な環境下にある工種・・・治山ダム工、護岸工、流路工等
  - ・中間的な環境下にある工種・・・土留工、擁壁工、柵工等
  - ・乾燥しやすい環境下にある工種・・・防風柵工、残存型柵等
- ③本調査の対象施設は、構造、木材の使用状況が把握できる極力直近に設置された施設とするとともに、現地調査が容易となるような交通、歩行に便利な箇所から抽出を行う。
- ④調査対象地は、日本全国を網羅することとして、全国を北海道地区・東北地区・関東地区・中部地区・近畿中国地区・四国地区・九州地区の 7 地区に区分する。

- ⑤調査手法は、効率的に長期間の調査を行う必要があることから、簡易な方法である目視、触診、打診等の定性的な調査手法により行うこととする。
- ⑥現地調査の実行は、木材の腐朽速度と効率的な調査間隔を検討し決定することが望ましい。このことから、本調査では原則として5年を1スパンとし、必要（災害発生等）に応じて調査期間を変更できるものとする。
- ⑦調査結果は、表紙（工種、施工箇所、施工年度）、位置図（25000分の1）、経路図、資料調査表、現況調査表（施設評価）、部材等調査表（部材等の判定）、現況写真としてまとめる。
- ⑧「施設の判定」では、施設の機能について5段階で行うもので、以下の判断基準で記入する。
- 評価1：施設が破壊され、重大な問題がみられる状態。
  - 評価2：全体に破損箇所が見られ、今後施設に大きな負荷がかかれば施設全体が破壊するおそれがあり、次回調査（5年後）まで施設の機能を維持することが難しいと想定される。
  - 評価3：部材の破損や木材の腐朽等が確認されるが、現状では施設の機能が十分維持されており、今後大きな負荷がかからなければ、今後もその機能を維持できる状況にある。今後も継続的に観察（5年毎の調査）すれば、施設補修の必要性は低く現状維持とすることが妥当であると判断されるもの。
  - 評価4：部材の破損はわずかで、木材の腐朽もまだ発達していない状態で、大きな外的要因が発生しなければ、次回調査においても十分その機能が保持されていると推察されるもの。
  - 評価5：部材の破損及び木材の腐朽が見られない状態で、設置時の機能を保持しているもの。
- ⑨部材等調査では、調査番号と調査箇所の判定を行う。なお、判定基準は、以下の3段階の基準で行うこととする。
- a：健全である
  - b：経過観察を要する
  - c：異常が見られる

(3) 調査対象地

本調査は、平成23年度から令和2年度までの10年間で、全国の13の協会、92地域、108箇所の施設を対象に5年毎に2回現地調査を行った。



図 3-1 現地調査実施箇所位置図

### 3-1-2 10年間の研究結果

#### (1) 調査結果の概要（令和3年度林道研究発表会）

##### ① 調査施設の経過年

初回調査である平成23年度から平成27年度までの調査では、115施設の調査を行い、その平均経過年数は4.2年であり、比較的新しい施設であった。その後5年が経過した2回目の調査である平成28年度から令和2年度までの調査では108施設の調査を行い、その平均経過年数は9.2年であった。

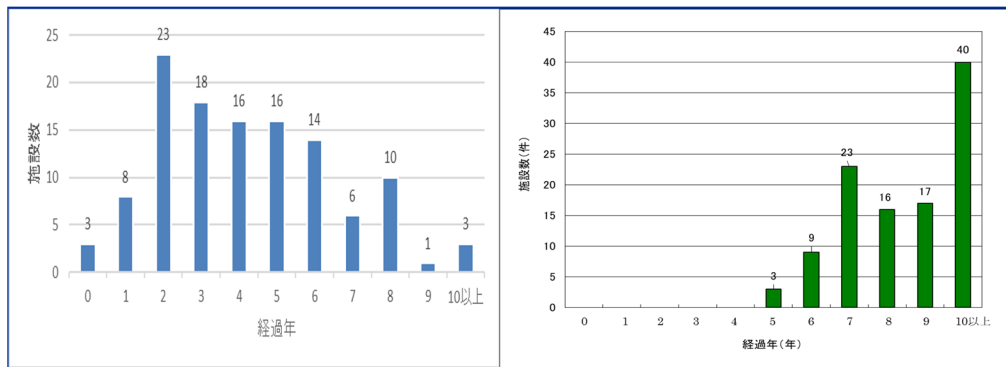


図 3-2 調査施設の経過年集計表（左：初回調査、右：2回目調査）

##### ② 施設の工種及び工種区分別件数

調査施設の工種は、以下に示す23種で、残存型枠が最も多い26施設で、次に木製治山ダムが24件であった。以下に各工種の施設数をグラフにまとめた。

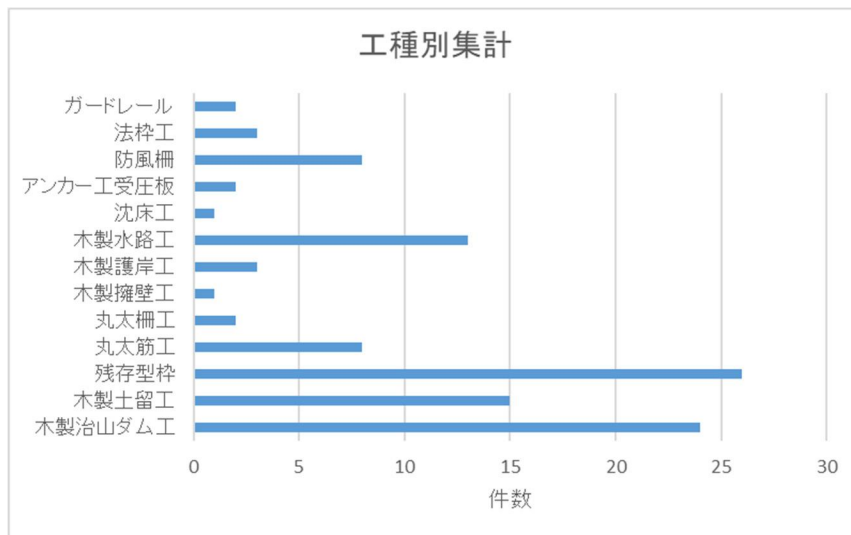


図 3-3 調査施設の工種別施設数

また、本調査では、工種の水分条件に中止して、それぞれの工種を「湿潤」、「中間」、「乾燥」の3つに区分している。これらを区分すると、以下のように「湿潤」の件数が41施設と最も多く、次に「乾燥」で36施設、「中間」で31施設となった。

この結果の様に多少の差はあるが、それぞれの件数に偏りが見られなかった。これについては、山地での様々な条件下での経年変化を調査するため、調査開始時に恣意的に環境条件が偏らないように調整したためである。

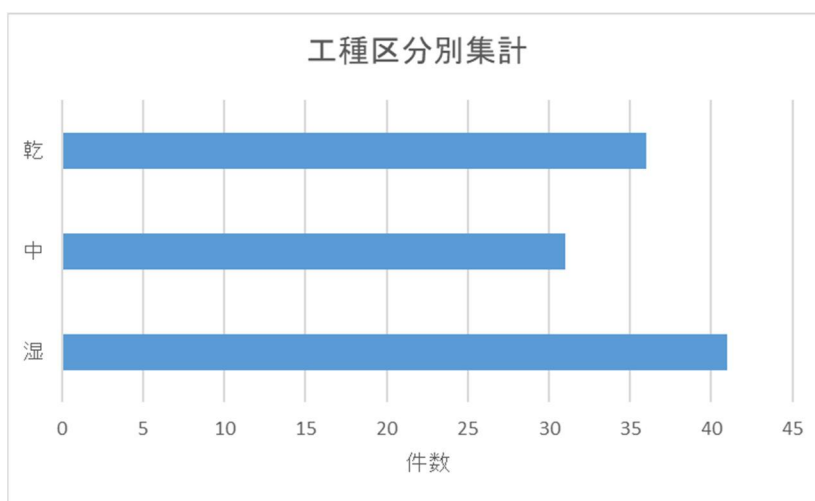


図 3-4 工種区分別施設数集計

### ③ 樹皮及び防腐処理の有無

使用木材の樹皮と防腐処理の有無について、まとめると以下のようになった。この結果、使用木材については樹皮無し、防腐処理については処理をしていない木材が多い結果となった。特に樹皮については圧倒的に樹皮無しの木材が多かった。

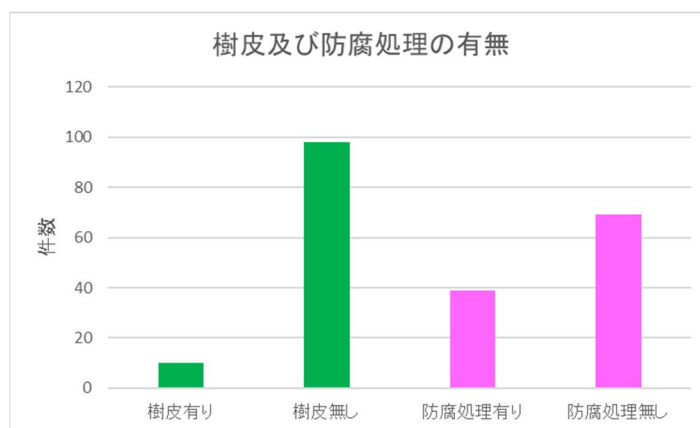


図 3-5 樹皮及び防腐処理の有無別施設数集計

#### ④ 変化（腐朽等）の大きかった施設と小さかった施設の比較

調査開始から 10 年間で変化の大きかった施設と小さかった施設を比較検討することで、どのような施設又は部位が腐朽し、どのような施設又は部位が腐朽していないか把握した。本研究では、工種別の集計、部材の諸元（規格、樹種、樹皮の有無、防腐処理の有無、固定方法）、周辺環境（上空の開空率、勾配、常水の有無）である。以下に、部材の諸元に関する集計表を示す。

表 3-1 変化が大きかった部材の緒元

調査年度	協会名	番号	経過年	規格			使用樹種	樹皮の有無	防腐処理	固定方法	備考
平成28年 (2016年)	旭川	2	15	L=25.2m	H=3.5m	b=2.1m	カラマツ	無し	無し	ボルト・カスガイ	ハイブリットダム
	青森	7	14	L=27.0m	H=4.0m	b=2.0m	カラマツ	無し	無し	ボルト	
	秋田	10	7	L=86.2m	H=0.3m		スギ	無し	無し	鉄線	
平成29年 (2017年)	札幌	5	11	L=25.5m	H=1.6m		カラマツ	無し	無し	鉄線	
	青森	7	13	L=51.0m	H=2.0m	b=1.9m	スギ	無し	無し	鉄線	
	東京	11	10		H=1.2m		スギ	無し	無し	長ネジ	
平成30年 (2018年)	旭川	1	11	L=58.0m	H=1.5m	b=1.0m	N材	無し	無し	なまし鉄線	
	秋田	8	8	L=330.0m	H=1.8m		スギ	無し	有り	ホルト・丸釘	防腐処理を変更
	東京	11	8	L=15.0m	H=0.3m		スギ	有り	無し	なまし鉄線	
令和元年 (2019年)	帯広	5	11	L=31.5m	H=6.5m	b=1.2m	カラマツ	無し	無し	コーチボルト	
	名古屋	18	9	L=50.9m	H=0.5m		スギ	無し	無し	鉄釘・なまし鉄線	
	熊本	22	10		H=3.0m		スギ	無し	無し	なましアンカーボルト	
令和2年 (2020年)	函館	6	12	L=28.0m	H=4.5m	b=1.5m	スギ	無し	無し	全ねじ通しボルト、緊ナット、セバ取付金具	
	青森	7	12	L=21.3m	H=1.5m		スギ	無し	無し	六角ボルト、コーチスクリュー、ほぞ組	
	東京	11	8	L=7.7m	H=0.3m		スギ	無し	無し	亜鉛引き鉄線	

表 3-2 腐朽等の影響が少なかった部材の緒元

調査年度	協会名	番号	経過年	規格			使用樹種	樹皮の有無	防腐処理	固定方法	備考
平成28年 (2016年)	北見	3	8	L=53.0m	H=4.8m	b=1.2m	トドマツ	無し	有り	ボルト・釘	
	長野	13	6	L=40.0m	H=2.0m		スギ	無し	有り	スクリューボルト	
	高知	16-1	13	L=19.5m	H=3.0m	b=1.5m	スギ	無し	有り	ボルト	
平成29年 (2017年)	帯広	4	9	L=30.0m	H=2.5m	b=1.2m	カラマツ	無し	有り	ボルト・ナット	
	長野	12	7	L=8.0m	H=0.5m	b=1.2m	カラマツ	無し	無し	ボルト・鉄線	
	高知	20	6	V=323.6㎡			スギ	無し	有り	ボルト・ビス	
平成30年 (2018年)	北見	2	8	L=47.0m	H=5.0m	b=1.5m	トドマツ	無し	有り	コーチボルト・スクリュー・クギ	
	青森	6	9	L=23.5m	H=5.0m	b=1.5m	スギ	無し	有り	コーチボルト・スクリュー・クギ・鉄線	谷止工
	大阪	17	12	L=24.0m	H=1.4m	b=1.0m	スギ	無し	有り	コーチボルト	2号土留工
令和元年 (2019年)	北見	2	8	L=22.5m	H=1.5m	b=1.2m	カラマツ	無し	有り	固定ボルトナット	
	東京	14	7	L=1.0m	H=0.1m		不明	無し	有り	塩ビ製ジョイント	
	高知	21	13	L=36.5m	H=8.5m	b=1.6m	スギ	無し	有り	ボルト・ビス	
令和2年 (2020年)	名古屋	14	7	L=29.0m	H=6.0m	b=1.5m	カラマツ	無し	無し	コーチスクリュー	
	大阪	15	10	L=55.8m	H=3.0m		スギ	無し	有り	コーチスクリューボルト	
	四国	16	13	L=28.0m	H=4.0m		スギ	無し	有り	コーチボルト締め	

⑤ 取りまとめ

変化が大きかった施設と小さかった施設について、特徴的な項目を取り上げ、まとめると以下のようなになる。

表 3-3 変化別の傾向

項目	変化が大きかった施設	変化が小さかった施設
経過年	平均 10.6 年	平均 9.1 年
湿乾タイプ	中間タイプが多い	湿潤タイプが多い
工種	土留工や筋工	治山ダム工
防腐処理有り	15 施設中 1 施設	15 施設中 13 施設
固定方法	鉄線が多い	ボルトが多い
常水有	15 施設中 2 施設	15 施設中 8 施設

**10 年間の調査結果から考えられる木製構造物の特徴**

木製構造物では、湿乾を繰り返す山腹斜面や常水のない溪流部に設置された施設で、防腐処理を行わず鉄線での固定を行ったものでは、10 年程度で腐朽が顕著となる傾向が見られる。



図 3-6 変化の大きかった施設の事例 1 (工種：土留工 防腐処理：無し)



図 3-7 変化の大きかった施設の事例（工種：治山ダム 防腐処理：無し）  
 前回調査時：施工後 9 年、2 回目調査時：施工後 14 年



図 3-8 変化の小さかった施設の事例 1（工種：治山ダム 防腐処理：ACQ）



図 3-9 変化の小さかった施設の事例 2 (工種：治山ダム 防腐処理：加圧注入)



図 3-10 変化の小さかった施設の事例 3 (工種：防風柵 防腐処理：ACQ)

## (2) 防腐処理に関する内容

ここでは、林道研究発表会では示されていないが、防腐処理に関する内容について 10 年間の調査結果から、施設の判定および部材等の判定に関する事項を取り上げ示す。

### ① 施設判定

108 の施設の中で、防腐処理を行った部材を使用した施設は 40 施設、使用していない施設は 68 施設であった。これらの 1 から 5 で区分された施設判定（P5 参照）結果を 1 回目調査（H23～H27）と 2 回目調査（H28～R2）別にまとめると以下のようになる。

表 3-4 施設判定の平均値

項目		平均経過年	施設判定の平均値
第1回目調査	防腐処理有り	4.35	4.92
	防腐処理無し	3.84	4.49
第2回目調査	防腐処理有り	9.35	4.60
	防腐処理無し	8.84	3.44

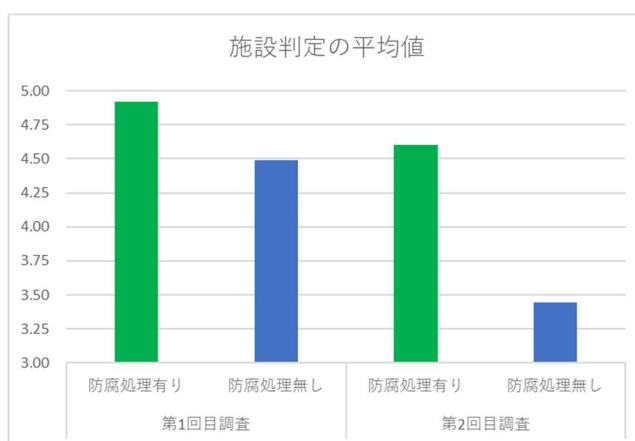


図 3-11 施設判定の平均値

この結果、防腐処理をしていない場合、施工後 9 年ほどで施設判定 3 に近く、施設に異常がみられ、経過観察の必要性がある施設となっていたが、防腐処理をした場合、施設判定 4 と 5 の間であり、僅かな異常が見られる程度であった。

## ② 部材等の判定

a、b、cの3区分で判定される部材等の判定（P5参照）は、一施設につき3箇所以上の部材を対象として実施している。これについても、施設判定結果と同様に、1回目調査（H23～H27）と2回目調査（H28～R2）別にまとめると以下のようなになる。

表 3-5 部材等判定結果

区分		経過年	項目	部材等判定結果		
				a	b	c
防腐処 理有り	1回目	4.35	部材数	125	1	0
			割合	99.2%	0.8%	0.0%
	2回目	9.35	部材数	114	16	1
			割合	87.0%	12.2%	0.8%
防腐処 理無し	1回目	3.84	部材数	159	42	12
			割合	74.6%	19.7%	5.6%
	2回目	8.84	部材数	73	111	37
			割合	33.0%	50.2%	16.7%

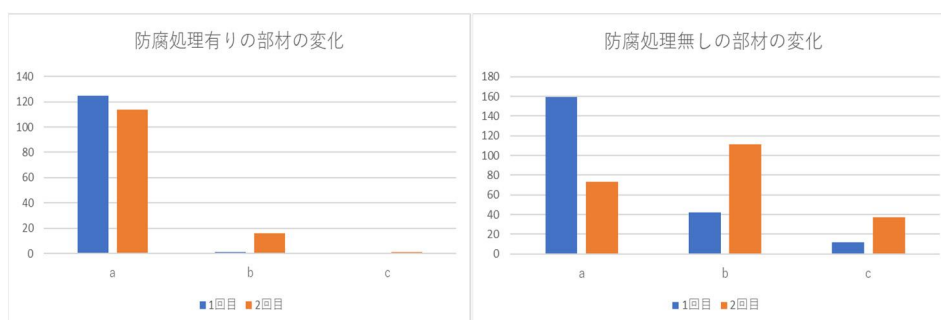


図 3-12 部材等判定結果（左：防腐処理有り、右：防腐処理無し）

この結果、防腐処理有りの場合、9年以上が経過した場合でも、87%の部材で健全な「a」判定となり、異常が見られる「c」判定は1部材でしか見られなかった。一方、防腐処理なしの場合、9年程度経過した時点で、半数が経過観察を要する「b」判定となり、16%程度で異常が見られる「c」判定であった。

このことから、10年経過した段階では、防腐処理の影響は十分ある結果となったが、まだ9割近い部材が健全な状態であることから、防腐処理の効果が何年間継続されるかを把握するためには、今後のさらなる継続調査の結果を待つ必要がある。

### 3-1-3 既存調査研究の考察

今回取り上げた研究成果は、日本全国に分布する 108 の施設を 10 年間かけて調査した事例である。木材は生物資源であることから、工業製品のように一定の品質を確保することが困難な資材である。また、実際に施工される山地の状況も様々であることから、木材の経年変化も一定とはならない。

しかし、本研究のような、地域的に偏りのない多数の施設で長期間経過観察を行うことで、個体差や立地環境の影響を軽減することが出来、平均的な日本の山地における木材の経年変化をまとめた研究となり得る。

このことを踏まえて、木材の腐朽及び防腐処理の効果に関する事項を以下の様にまとめた。

- ・ 防腐処理を行わない未処理の木材は 10 年程度で腐朽が見られる。
- ・ 腐朽は常水のない溪流部や山腹斜面など湿乾を繰り返す箇所で顕著となる。
- ・ 防腐処理の効果は、山地においても十分確認され 10 年以上の効果が期待できる

## 3-2 耐久性の試験地

耐久性の試験地では、株式会社コシイプレザービングが東京農工大学名誉教授の石川芳治氏監修のもとで、鹿児島県屋久島町で行っている試験を取り上げる。この試験は異なる防腐処理の違いについて調査したもので、平成 23 年から継続的に実施されているものである。令和 3 年に試験開始から 10 年が経過した段階での結果がまとめられた。また、その後も継続して試験地が維持されていることから、本業務において、現地に設置後 13 年後の状況を確認した。

### 3-2-1 圧縮処理について

木材の防腐処理の方法には、塗布、吹付、浸漬、加圧注入など様々な方法がある。この中で、最も薬剤が木材に吸収される方法として、加圧注入が挙げられる。この加圧注入は、薬剤と木材を釜状の容器（注薬缶）に入れ、圧力をかけることにより、薬剤が木材に浸潤しやすい状態とする方法である。



写真 3-1 加圧注入の作業（左：木材を釜に入れる 右：薬剤で浸し圧力をかける）

しかし、この加圧注入を行った場合でも、薬剤の浸潤にはムラが生じる場合がある。これは、木材の表層部でも、薬剤が浸透しやすい場所と浸透しにくい場所があり、圧力をかけても浸透しやすい場所に積極的に浸透し、浸透しにくい場所では浸透しない場合があるためである。また、木口から遠い場所での浸潤率が低下する傾向も見られる。

これを改善するために開発されたものが、圧縮処理である。これは、木材の表層を圧縮し、木質細胞を一度破壊することで、薬剤の浸透性を向上させる方法である。

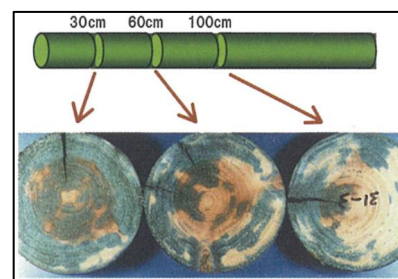


図 3-13 薬剤の浸潤状況

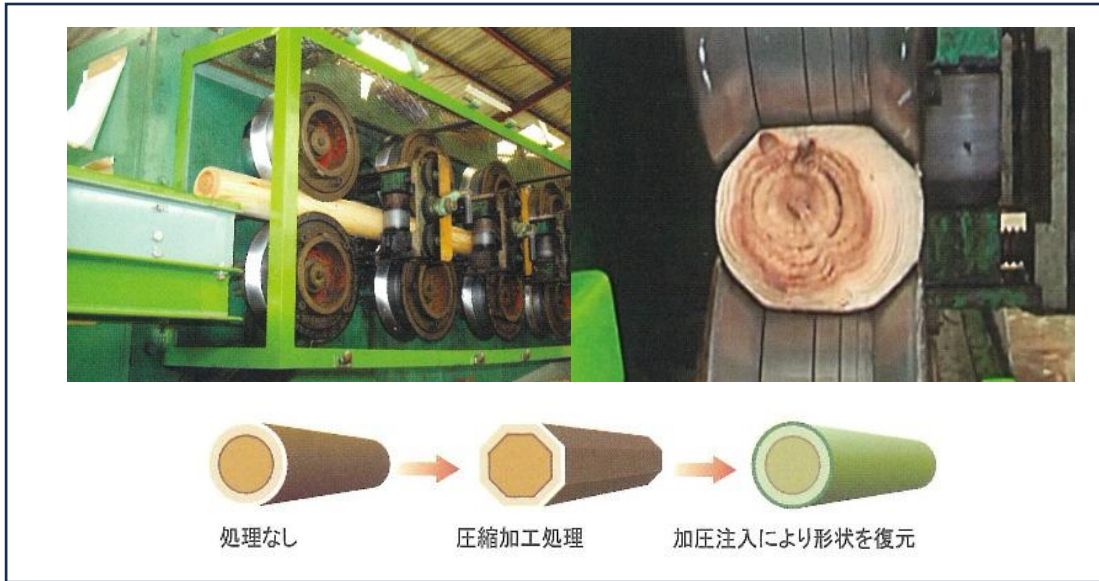


図 3-14 圧縮処理の作業工程



写真 3-2 圧縮処理後（加圧注入前）の木材

この圧縮処理後に加圧注入を行うことで、加圧注入のみの場合と比較し、木材への薬剤の浸潤率が大きく向上する。また、木口から遠い箇所においても十分浸潤していることから、木材の表層全体への効果が確認できる。

今回取り上げる試験地では、この圧縮処理の効果を把握するために実施されている。

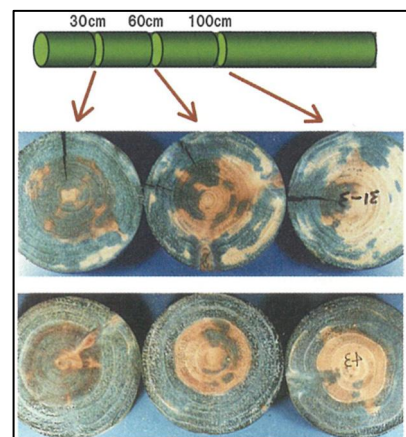


図 3-15 薬剤の浸潤状況  
(上：加圧注入のみ 下：圧縮処理有り)

### 3-2-2 試験地の概要

#### (1) 比較検討内容

本試験地は、保存処理による防腐効果を把握するために実施するもので、**加圧注入のみの木材**と前処理として**圧縮処理をした木材**を比較した。また、防腐効果の対照として**無処理の木材**についても試験対象とした。

#### (2) 試験地の選定

木材の防腐効果を確認する試験地であることから、可能な限り腐朽しやすい立地環境であることが望ましい。腐朽しやすい場所であれば、腐朽しにくい場所と比較し短期間でその効果を把握することが可能となる。

木材の腐朽は腐朽菌により発生する。この腐朽菌は温度 30 度前後、多湿条件下で活性化する。よって、年間降水量が 4,000mm を超える多雨であり、平均気温が 19.6 度と日本の中では高温多湿の条件をもつ**屋久島**を選定した。

#### (3) 木製構造物の工種選定

防腐処理の効果を把握するためには、様々な条件を得ることが出来る工種が適している。また、構造が単純な工種であり、かつ木材の腐朽が工種の機能にどのように影響を与えるか把握可能なものを選定する。以上の条件から、山地で一般的な工種である**校倉式の土留工**を選定し、かつ木材が接する条件を変えるため**中詰材を栗石と土砂**の2つの条件を設定した。

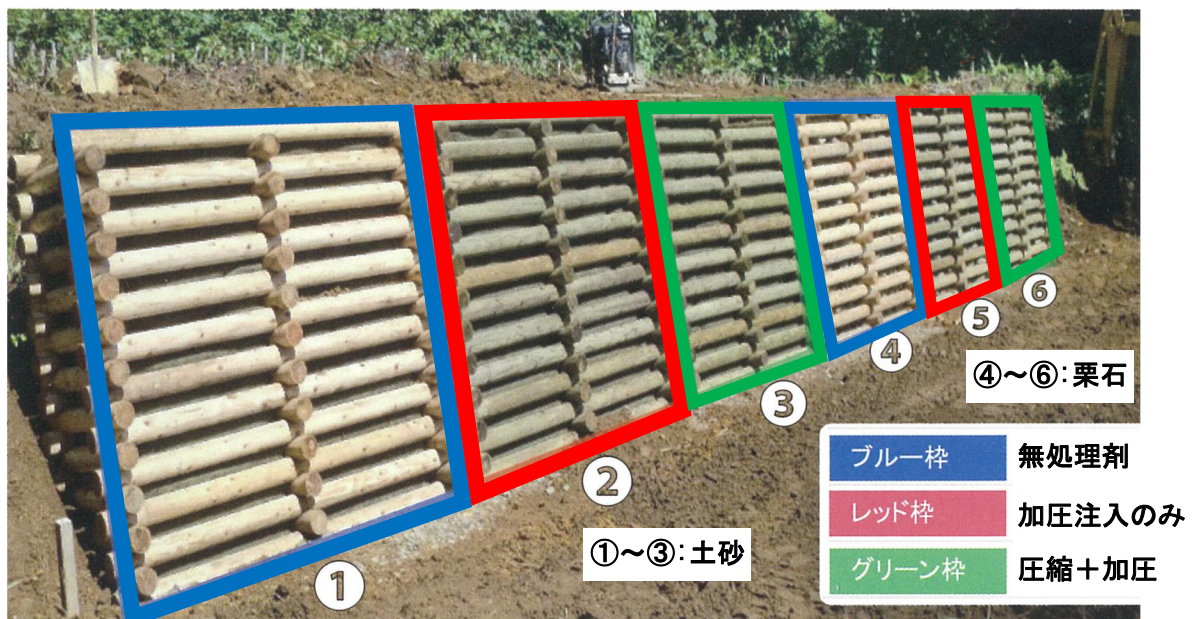


写真 3-3 平成 23 年土留工設置時の状況

### 3-2-3 設置後 10 年目の状況

#### (1) 無処理の木材

無処理の木材は、1 年目から腐朽菌の発生が見られ、8 年目ですでに全体が著しく腐朽した状態となった。また、中詰めに現地の土砂を使用したものは、構造物と中詰土砂が一体化していた。

一方、中詰材に栗石を使用したものは、構造物内に留まっていたが、木材の腐朽の著しい箇所では、中詰材の流出が危惧される状況にあった。



写真 3-4 無処理木材の状況 (左：中詰材が土砂 右：中詰材が栗石)

#### (2) 加圧注入のみの木材

2 年目に 1 本ではあるが腐朽が確認され、10 年目では 6 本の部材に腐朽が見られた。6 本の部材に腐朽が見られたが、中詰材の流出などは見られず、土留工としての機能は十分有している。



写真 3-5 加圧注入のみの木材の状況 (左：中詰材が土砂 右：中詰材が栗石)

### (3) 圧縮処理後に加圧注入した木材

圧縮処理を行った木材では、8年目まで腐朽は見られず、9年目で初めて1本の部材（下写真内の赤枠の部材）に腐朽を確認したのみであった。



写真 3-6 圧縮処理後に加圧注入した木材の状況  
(左：中詰材が土砂 右：中詰材が栗石)

### (4) 土中の部材の状況

土留工の背面部分は、土中にあるため確認できない。そこで、10年目に土留工の一部を解体し、部材の状況を確認した。この結果、無処理の木材は地中部分も著しく腐朽していたが、加圧注入及び圧縮処理を行った木材はいずれも健全な状態であった。

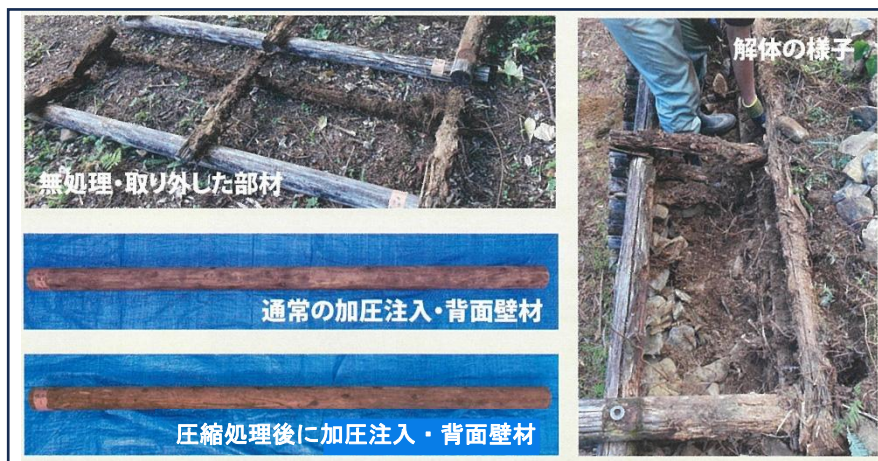


写真 3-7 土中の部材の状況

### 3-2-4 現在の試験地の状況

現在試験地は、設置から 13 年が経過していることから、試験地の現在の状況を把握するため、現地調査を行った。



写真 3-8 設置後 13 年が経過した施設の状況

#### (1) 無処理の木材

無処理の木材は、10 年経過後の状態からさらに腐朽が進み、中には部材の原型をとどめていないものも見られた。すでに土留工としての機能を失いつつある施設も見られた。



写真 3-9 無処理木材の状況



写真 3-10 無処理木材の近景

#### (2) 加圧注入のみの木材

加圧注入のみの木材では、全体的に構造への影響は見られず、いくつかの部材で腐朽の影響が確認された。10 年目に 6 本の腐朽が確認され、それ以上の本数の増加は確認されなかった。腐朽が確認された 6 本は、腐朽の影響が部材全体に進み、腐朽していない部材との違いが顕著化してきた。



写真 3-11 加圧木材の状況



写真 3-12 腐朽した部材の近景

### (3) 圧縮処理後に加圧注入した木材

圧縮処理後に加圧注入した木材では、現在も健全な状態で推移していた。今回の現地調査では、いずれの部材も健全であり、10 年目以降に新たに腐朽が発生した部材は確認できなかった。



写真 3-13 圧縮処理後に加圧木材の状況



写真 3-14 部材の近景

### 3-2-5 つくば市における試験結果

本試験で使用した圧縮処理後に加圧注入を行った木材については、つくば市内においても野外試験が行われており、現在 29 年が経過している。

この試験では、ACQ\*を使用した角材の杭を土中に刺し、その経年変化を確認している。29 年が経過した段階で杭を確認したところ、腐朽による影響は見られなかった。

\*ACQ：酸化銅 (CuO) と塩化ベンザルコニウム (殺菌消毒剤) を配合した、固着性と高耐久性をもつ長期安定型の木材防腐・防蟻用薬剤である。



写真 3-15 木杭の野外試験の状況



写真 3-16 29 年後に確認した杭の状況

### 3-2-6 耐久性試験地の考察

本研究で確認した内容は、薬剤処理を行う前に圧縮処理を行うことで、薬剤を木材表面の全面に浸潤させることが可能となり、野外での腐朽防止効果が長期間持続することが確認された。

森林土木の木製構造物で多く使用されている丸太材については、腐朽の影響が強く表れやすい気象条件である高温多湿の屋久島で実施されている。この試験地では、無処理の丸太材は 8 年ほどで腐朽の影響が全体におよび、10 年で形が崩れる部材が見られた。また、一般的な加圧注入のみの場合においても、複数本に腐朽が見られたのに対し、圧縮処理を行った木材には腐朽の影響はほとんど見られなかった。

試験地の経過年が 13 年程度であることから、圧縮処理を行った木材の耐用年数の確認までは至っていないが、従来の加圧注入のみの部材と比較して高い防腐効果が確認された。

また、つくば市内の試験地の結果として、角材の杭として 29 年間腐朽による影響が見られないことも確認されている。

- ・ 無処理の木材は 10 年程度で腐朽により形が崩れていた
- ・ 事前に圧縮処理を行うことで薬剤を木材表層全体に浸潤させることが可能
- ・ 薬液が木材表面全体に浸潤させることで高い防腐機能が長期間持続する

### 3-3 防腐処理技術の開発

本研究は、福島県林業研究センターにおいて 2007 年にまとめられたもので、土木用資材として耐久性に優れ、かつ環境にも配慮した木製支柱を開発し、県産間伐材の需要拡大を図ることを目的として、薬液注入が困難なカラマツへの注入量増加を目指して行われたものである。

検討内容として、薬液注入前の処理に注視し、一般的に行われているインサイジングに加え圧縮処理を行った。この圧縮処理の圧縮量を変化させ、その注入量と強度の変化がまとめられている。

#### 3-3-1 研究内容

次頁以降に、福島県林業研究センターのホームページ上で公開されている、研究報告第 40 号の内容を同センターの了承を得た上で次頁以降に示す。

#### 3-3-2 技術開発の考察

本研究は、現在でも薬液注入が困難とされているカラマツの注入量増加の検討を行っている。この検討結果はカラマツ以外の樹種の薬液注入量増加にも効果があると考えられる。

また、この研究が進化し、カラマツでの薬液浸潤がスギなどの木材と同等レベルまで行うことが出来れば、防腐処理を行う時点で選択枝から除かれていたカラマツの有効活用が見込まれることから、木材の利用推進に資することが期待される。

前項で示した耐久性の試験地でも検討されている圧縮処理に関するもので、圧縮処理が薬液注入量増加への効果が異なる研究でも示されている。

- ・ 研究成果はカラマツ以外の樹種にも応用可能である
- ・ 技術的進化により薬液浸潤効果が高まればカラマツの利用方法の選択枝が広がる
- ・ 圧縮処理の効果が異なる機関での研究でも示された。

【研究報告】

支柱・杭木等の防腐処理技術の開発

(県単課題 平成16～18年度)

高信 則男  
水野 俊一\*

目 次

要 旨	
I はじめに	36
II 試験方法	36
1 材長別防腐剤注入試験	36
2 前処理別防腐剤注入試験	37
3 インサイジングと部分圧縮処理による防腐剤注入量増加手法の検討	38
III 結果と考察	40
1 材長別防腐剤注入試験	40
2 前処理別防腐剤注入試験	40
3 インサイジングと部分圧縮処理による防腐剤注入量増加手法の検討	40
V おわりに	42
VI 引用文献	43

要 旨

環境負荷の低減や間伐材の有効利用の観点から、木製資材の利用促進が求められている。このため、土木用資材として耐久性に優れ、かつ環境にも配慮した木製支柱を開発し、県産間伐材の需要拡大を図ることを目的とした。

まず、杭材等の耐久性能を向上させるためには、必要量の防腐剤の注入量を確保しなければならないため、県産スギ、カラマツ材の注入性を調査した。円柱加工材（直径10cm）を用いた材長別防腐剤注入試験における注入量の平均値は、スギ材においては材長150cm以下の条件で200kg/m<sup>3</sup>以上の注入量を得たが、カラマツ材では材長50cmにおいても、70kg/m<sup>3</sup>程度の注入量しか得られず、材長を短くしても、注入量を増加させることは困難であることが分かった。そこで、カラマツ材の注入量を増加させるために、いくつかの前処理方法を試みたところ、インサイジング処理で最も注入量が増加し、無処理材と比較し1.9倍の注入量が得られた。さらにインサイジング処理後に平板プレスを用いた部分圧縮処理を試みた結果、8mm圧縮材で142.1kg/m<sup>3</sup>と無処理材の約2.4倍の注入量が得られた。また、注入後の浸潤長を測定したところ、無処理材では材縁部から1mm程度の浸透であり、インサイジング処理材では刺傷部付近のみの浸透であったが、インサイジング後に8mm圧縮し

受付日 平成19年 9月25日

受理日 平成19年12月19日

\* 南会津農林事務所

た材では材縁部から最長11mm程度まで防腐剤が浸透していた。マイクログラフを用いて観察した結果では、圧縮処理を行った材ではインサイジング部からR方向（半径方向）およびT方向（年輪に沿った接線方向）に防腐剤の浸透が広がっていることを確認した。さらに、圧縮処理による強度性能への影響を確認するため、曲げ強度試験を行った結果、最大荷重は無処理材と比べて8mmの圧縮材では平均値で9%程度の減少とやや強度値は低下する傾向にあったが、両者に有意差は認められなかった。

以上のことから、カラマツ材の防腐剤注入量を増加させるために、インサイジング処理と平板プレスによる圧縮処理を併用した複合処理が効果的であると考えられた。

## I はじめに

県内の民有人工林の8割は間伐が必要な森林<sup>1)</sup>であり、計画的な間伐の推進が求められている。間伐を推進するためには間伐材の利用促進を図ることが必要であるが、現状では比較的安定した需要が見込める土木用資材等への活用が主なものとなっている。

木材を野外で使用する場合、腐朽による劣化が問題となるため、長期間の耐用年数が要求されるものにおいては木材防腐剤を加圧注入するなどの防腐処理が行われている。しかし、難注入性の材では、必要とする量の薬剤を浸透できないことがある。これらの材の注入性が低くなる原因は、心材部で閉鎖した壁孔が多く、しかも壁孔腔内や細胞内腔表面が心材成分で覆われているため、隣接細胞間での流動が妨げられ、薬液の浸透性が悪くなると考えられている<sup>2~6)</sup>。こうした原因を物理的、化学的な方法で取り除いたり緩和したりする試みが数多く報告<sup>7~9)</sup>されているが、小試験体レベルの試験がほとんどであり、実大材での試験例は少ない。

そのため、本研究では県内で広く杭材等として使用されているスギ・カラマツ円柱加工材を対象とし、使用用途により材長が決められることから、まず、材長毎の薬剤注入性を確認するとともに、難注入性のカラマツ円柱加工材について薬剤の注入性を向上させる方法を検討した。また、それに伴う強度性能への影響についても併せて調査した。

なお、今回の試験では、最近、使用量が増加しており、木材防腐剤として比較的環境に優しいとされているA A C系防腐剤（D D A C 1%溶液）を使用した（以下防腐剤）。

## II 試験方法

### 1 材長別防腐剤注入試験

#### (1) 供試材

注入試験には、直径10cmのスギ（容積重408~599kg/m<sup>3</sup>）、カラマツ（容積重520~702kg/m<sup>3</sup>）円柱加工材を用いた。材長は50、100、150、200cmとし、試験体数は各8体とした。

#### (2) 試験方法

##### ① 注入処理

供試材の重量等の初期値を測定した後、真空加圧含浸装置（ヤスジマ製 SBK-500AB型）を用い防腐剤を減圧加圧法（前排気-0.09MPaで60分、加圧0.98MPaで120分、後排気-0.09MPaで60分）により注入した（写真-1）。

② 注入量の測定

注入前と注入後の重量を測定し、以下の式から算出した。

$$\text{注入量} : R = (m_2 - m_1) / V$$

R : 注入量 (kg/m<sup>3</sup>)

m<sub>1</sub> : 注入処理前の木材の質量(kg)

m<sub>2</sub> : 注入処理後の木材の質量(kg)

V : 注入処理前の木材の体積(m<sup>3</sup>)



写真-1 真空含浸装置による防腐剤の含浸

2 前処理別防腐剤注入試験

(1) 供試材

カラマツ円柱加工材(直径10cm材長100cm)(容積重545~660kg/m<sup>3</sup>)を、条件毎に各6体ずつ用いた。

(2) 試験方法

① 前処理の方法

防腐剤の注入量を増加させるための前処理区分を表-1に示した。

表-1 前処理区分

処理区分	処理方法
背割り加工	深さ5cm×1本・深さ2.5cm×2本
蒸煮処理	95℃で12時間
人工乾燥	85℃の中温処理で7日間
圧縮処理	ロールプレス:ロール間隔を88mmに設定し60度間隔で3回圧縮
インサイジング加工	インサイジングマシン:4軸式、刺傷刃サイズ厚み3.8mm、幅10mm、深さ10mm 刺傷痕密度3,643個/mm <sup>2</sup>
無処理	



写真-2 背割り加工材  
(左:深さ5cm右:深さ2.5cm×2本)



写真-3 蒸煮処理後の乾燥機内



写真-4 人工乾燥



写真-5 ロール圧縮処理



写真-6 インサイジングマシンによるインサイジング処理

② 注入処理

材長別防腐剤注入試験と同じ条件で前処理を行った供試材へ防腐剤を注入した。

3 インサイジングと部分圧縮処理の併用による防腐剤注入量増加手法の検討

(1) 防腐剤注入試験

① 供試材

カラマツ円柱加工材（直径10cm材長200cm）（容積重450～630kg/m<sup>3</sup>）を、インサイジング処理後に50cmに4等分した。なお、試験体の木口面は防腐剤の含浸を防ぐため、シリコンシーリング剤でシールした。なお、試験体数は各条件毎に12体とした。

② 試験方法

ア 圧縮処理

木材を杭材等として使用する場合に、地際部の腐朽が最も進行しやすいため、地際部へ限定的により多くの防腐剤を含浸させることが、より効率的な手法であると考えられることから、圧縮には平板プレス（プレス盤寸法30×30cm）を用いた。試験材の中央部付近を上下のプレス盤で2面圧縮し、それと直角方向をさらに圧縮する4面圧縮処理を行った。圧縮量は、6、8、10mmとした（写真-7）。

イ 注入処理

圧縮処理後に材長別防腐剤注入試験、前処理別防腐剤注入試験と同じ注入条件で行った。

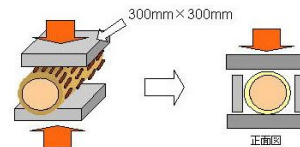
ウ 薬剤浸透状況の確認

防腐剤注入後に60℃の恒温器内で24時間乾燥させた後の試験体を長さ方向の中央部で切断し、木口断面に酢酸とプロモフェノールブルーを塗布し、呈色させ防腐剤の浸透状況を観察した。



写真-7 平板プレスによる圧縮

部分圧縮処理方法



加圧盤の間隔を変化させることによって圧縮量を制御(圧縮量6・8・10mm)

図-1 部分圧縮処理方法

(2) 圧縮部分の変形の回復について

① 供試材

(1)の注入試験供試材

② 測定方法

圧縮処理前と圧縮処理時、圧縮解放後、防腐剤含浸・乾燥後において、供試材の圧縮部分の直径を測定した。

(3) 曲げ強度試験

① 供試材

インサイジング処理したカラマツ円柱加工材(直径10cm材長150cm)(平均含水率13.9%)中央部を平板プレス(プレス盤寸法30×30cm)で防腐剤注入試験と同様に4面を圧縮した。試験体数は各条件毎(0、6、8mm圧縮材)に12体とした。なお、10mm圧縮材は12本中8体に破壊が生じたため、実用には適さないとの判断から当該試験は行なわなかった。

② 試験方法

実大曲げ強度試験

曲げ試験は下部支点間距離120cmとし、圧縮処理した部分が荷重点となるよう供試体を設置し、中央集中荷重方式で材が破壊するまで加力し、最大荷重により評価を行った(図-2)。

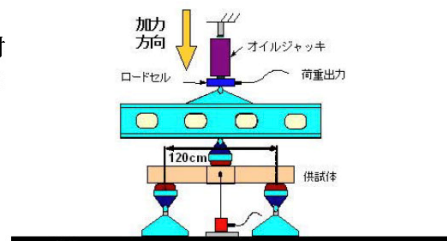


図-2 曲げ試験の方法

### III 結果と考察

#### 1 材長別防腐剤注入試験

スギ材では材長が短いほど注入量も増加し、材長150cmまでは旧JIS A9002-1995の規定量(200 kg/m<sup>3</sup>)を満たしていた。しかし、カラマツ材では、スギ材と比較して注入量は著しく少なく、材長による注入量への影響は認められなかった。(図-3)。

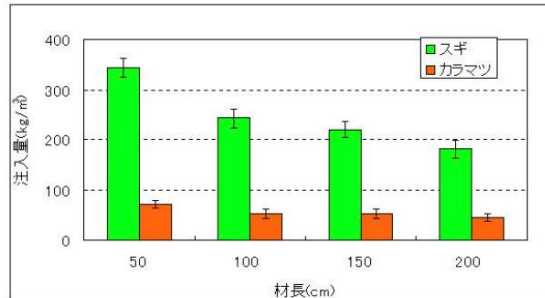


図-3 樹種・材長毎の注入量  
エラーバー：平均値±標準誤差を示す

#### 2 前処理別防腐剤注入試験

カラマツ円柱加工材で行った同試験は、無処理材の注入量52.1kg/m<sup>3</sup>と比較して、インサイジング処理で101.0kg/m<sup>3</sup>(約1.9倍)、圧縮処理で84.2kg/m<sup>3</sup>(約1.6倍)と注入量が増加したが、旧JIS A9002-1995の規定値には及ばなかった。また、乾燥・蒸煮・背割りの各処理では無処理材と比較して最大で1.2倍と低い増加率にとどまった(図-4)。

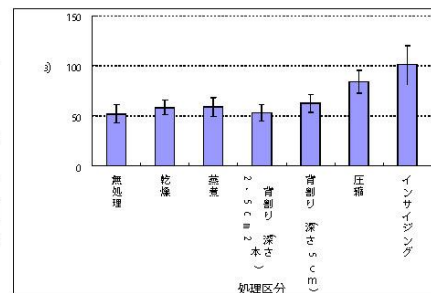


図-4 前処理区分毎の注入量

以上の試験結果から単一的な前処理では旧JIS規定値には及ばないため、複合的な方法を検討した。

#### 3 インサイジングと部分圧縮処理の併用による防腐剤注入量増加手法の検討

##### (1) 防腐剤注入試験

##### ① 防腐剤注入量

無処理材、インサイジング処理材および圧縮処理との複合処理における材の注入量を図-5に示した。インサイジング処理後に圧縮処理を行った材は無処理材と比較し6mm圧縮で2.1倍、8mm圧縮で2.4倍、10mm圧縮で3.1倍の注入量となり、複合処理の効果が確認された。

しかし、10mm圧縮材では67%の材に破壊が発生した。

##### ② 防腐剤の分布

写真-8に防腐剤を注入後に、呈色させた材の木口断面を示した。左から無処理材・

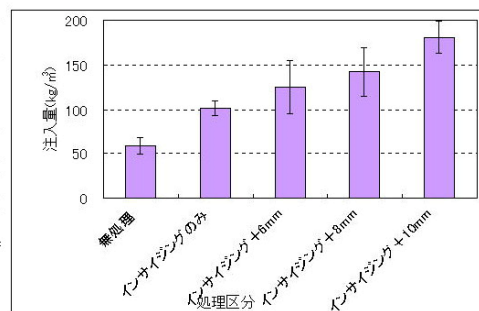


図-5 複合処理材の注入量

インサイジング処理のみ・インサイジング+6mm圧縮、同8mm圧縮、同10mm圧縮した材の長さ方向中央部の様子である。無処理材では材縁部から1mm程度の浸透であり、インサイジング処理のみでは刺傷部付近のみの浸透であったが、インサイジング後に圧縮した材ではインサイジング部分からT方向およびR方向にも薬剤の浸透が広がっており、8mm圧縮材では最長11mm程度まで浸透していた(写真-9)。

圧縮変形により注入性を改善する試みについては、その処理条件や改善メカニズム等の詳細な報告がなされており、圧縮による壁孔の破壊や仮道管に生じた微細なひび割れによるものと推測されている<sup>20)</sup>。また、インサイジング処理は、刺傷部を起点として周辺部(刺傷を行っていない部分)へ薬剤を行き渡らせるために重要な役割を果たしている<sup>10)</sup>がカラマツを用いた今回の結果においては、刺傷部付近のみの浸透となった。

今回の試験においてはインサイジング処理後にさらに部分圧縮していることから、これらの現象が複合的に作用していると考えられた。また、圧縮処理においても刺傷部分を起点として周辺部分への浸透が観察されたことから、材全面を圧縮せずに必要な部位への薬剤含浸を行う手法の開発につながる可能性が考えられた。



写真-8 防腐剤含浸状況

(左から、無処理・インサイジングのみ・インサイジング+6mm圧縮、同8mm圧縮、同10mm圧縮なお、加力方向は上下、左右から)

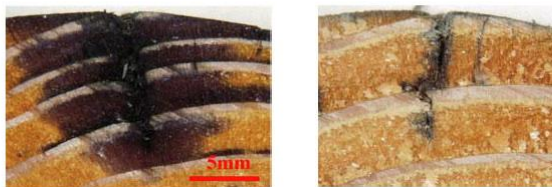


写真-9 防腐剤含浸状況

(左: インサイジング+8mm圧縮、右: インサイジング処理のみ)

(2) 圧縮部分の寸法変化について

図-6に圧縮処理に伴う寸法変化を示した。

圧縮処理後の寸法は、防腐剤の含浸・乾燥後にはいずれの圧縮量でも98%以上とほぼ痕跡が残らない程度まで回復した。圧縮に伴い発生した圧縮部分と未圧縮部分との境界付近にできた割れについても、外観上はほとんど目立たなくなった。

処理による寸法変化が小さいこと

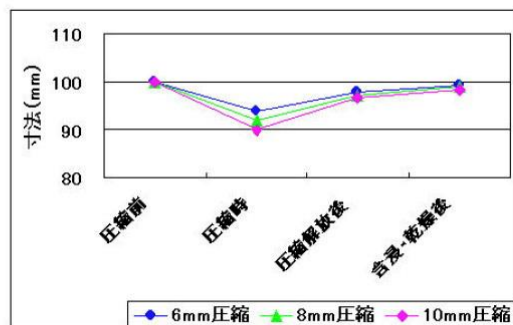


図-6 圧縮処理による寸法変化

は歩増しの必要性が省け、かつ薬剤層の歩留まりも低下しないなど、実用に有利であると考えられる。

### (3) 曲げ強度試験

曲げ強度試験における最大荷重は、無処理材25.0kNと比較し、6mm圧縮処理材で23.8kN（減少率約5%）、8mm同処理材で22.6kN（同約9%）と圧縮量の増加によってやや強度値は低下する傾向にあった（図-7）。しかし、6mm圧縮、8mm圧縮とも無処理と比較して、有意水準5%の検定（正規性の検定、母分散の比の検定を行い、スチューデントのt検定を行った。）では、有意な差は認められなかった。

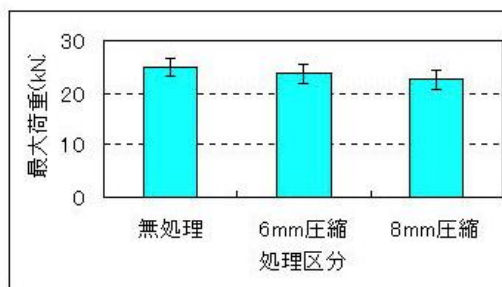


図-7 曲げ強度試験の結果

### V おわりに

今回、県産のスギ、カラマツ円柱加工材への防腐剤の注入試験を行った。その結果、スギ材においては長さ150cm材までは旧JIS A9002-1995の規定量(200kg/m<sup>2</sup>)を満たした。しかし、カラマツ材では、材長を短くしても注入量は増加しなかった。次にインサイジング処理やロール圧縮などの前処理による防腐剤注入量の増加を試みたが、最も多い注入量となったインサイジング処理でも、無処理材の1.9倍の増加率にとどまった。次に複合的な方法で、より効果的に防腐剤を注入するための注入性改善処理として、インサイジング処理後に平板プレスを用いて部分圧縮する方法を試みた。その結果以下の点が明らかとなった。

- (1) インサイジング処理後の圧縮処理試験体の防腐剤注入試験では、8mm圧縮処理材では無処理材と比較し2.4倍、インサイジング処理のみの試験材と比較し1.4倍と増加した。
- (2) インサイジングによる刺傷部および圧縮部分を起点とする防腐剤の材内への浸透は、繊維方向だけでなく、接線方向・半径方向にも広がっていた。
- (3) 圧縮処理時の変形は、防腐剤含浸・乾燥後にはいずれの圧縮量でも97%以上の回復率となり、ほぼ痕跡が残らない程度まで回復した。
- (4) 曲げ強度試験においては、最大荷重で無処理材と比較し、6mm圧縮材で5%、8mm圧縮材で9%と、圧縮量の増加に伴って強度値は低下する傾向にあった。しかし、有意差は認められなかった。

今回の試験結果から、材全体を圧縮しなくても必要な部位へ防腐剤を含浸させる手法を応用することにより、木材を屋外で杭材等として使用する場合に、最も腐朽しやすい地際部に圧縮処理を施し防腐剤を含浸することにより、強度性能をあまり低下させず、杭材の耐用年数を延ばすことが可能であると考えられた。

なお、現在、処理材の耐朽性を確認するためインサイジングと圧縮の複合処理材、インサイジング処理材および無処理材に防腐剤を含侵させ野外杭試験に供している（写真-10）。



写真-10 処理材の野外杭耐朽試験

## VI 引用文献

- 1) 福島県農林水産部：「平成17年福島県森林・林業統計書（平成16年）」
- 2) 酒井温子：「奈良県林試木材加工資料 第21号 31-33(1995)」
- 3) 酒井温子：「木材保存20(3),22-28(1994)」
- 4) 小林好紀：「奈良県林試研究報告No.5,123-132(1974)」
- 5) 松村順司、堤壽一、小田一幸：「木材学会誌41,433-439(1995)」
- 6) 屋我嗣良、河内進策、今村祐嗣：木材科学講座12 保存・耐久性,海青社,132(1997)
- 7) 飯田生穂、高山知香子、宮川修、今村祐嗣：「木材学会誌38, 233-240(1992)」
- 8) 金川靖、林和男、渋谷昌資、安島稔：「木材工業47, 363(1992)」
- 9) 佐藤真由美、西川介二、森満範、土居修一：第43回日本木材学会大会研究発表要旨集、岩手、366 (1993)
- 10) 中村嘉明、西本孝一：木材学会誌34, 618-626(1988)

## 4 防腐処理の現状

### 4-1 防腐処理方法

#### 4-1-1 認証制度等

防腐処理は、日本農林規格（JAS）や日本産業規格（JIS）等の国家規格があり、その使用薬剤や性能基準、防腐処理方法が定められている。また、国家規格ではないが、木材加工に関する優良木材としての認証制度などがある。

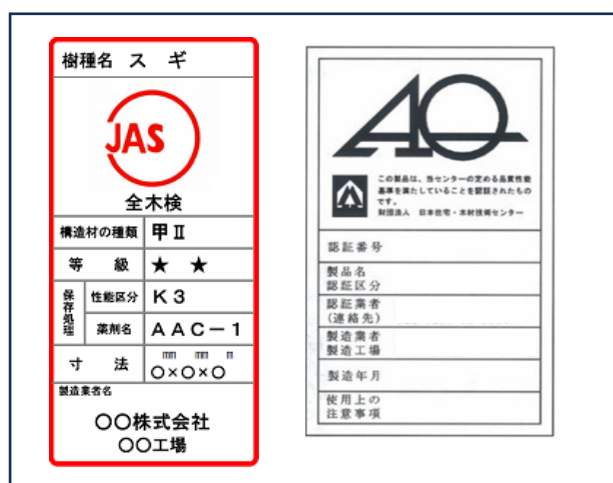


図 4-1 防腐処理に関する認定証例

#### ○日本農林規格（JAS）

日本農林規格（JAS）は、食品・農林水産分野において農林水産大臣が定める国家規格で、適正に認証・試験・品質表示を行うことによって、品質の改善、生産・販売の合理化・高度化、取引の円滑化と一般消費者の選択機会の拡大を図り、これにより農林水産業の健全な発展と一般消費者の利益の保護に寄与することを目的としている。木材に関するものは、「製材」としてまとめられており、については、規格寸法から保存処理について定められている。また、保存処理については、性能区分として、木材保存処理のレベルに応じた区分が示されている。

#### ○日本産業規格（JIS）

日本工業規格（JIS）は、産業標準化法に基づき制定される、我が国の鉱工業品、データ、サービス等に関する国家規格である。木材保存剤については、「JIS K 1517 規格（規格名称：木材保存剤－性能基準とその試験方法）」としてそ

の処理方法や試験方法が定められている。

#### ○優良木質建材等認証（A Q認証）

A Q認証は、財団法人日本住宅・木材技術センターが優良木質建材として認証するものである。JAS 規格に規定されていない新しい木質建材は、良質な製品であっても客観的な評価を得なければ市場での流通に供することが難しい状況にある。A Q認証は、新しい木質建材等の品質性能等について客観的な評価を行うことで、消費者に安全性及び居住性に優れた製品を提供することを目的としている。

表 4-1 A Q保存処理製品の性能区分

A Q保存処理製品の性能区分	製材の J A S 保存処理の性能区分	用途性能
1 種	K 4 相当	極めて高度な耐久性が要求される用途向けの性能
2 種	K 3 相当	屋内や地面に接しない用途向けの性能
3 種	K 2 相当	比較的寒冷な地域で、屋内や地面に接しない用途向けの性能

#### 4-1-2 薬剤処理と前処理の方法

防腐処理には、薬剤（日本農林規格では「木材保存剤」）を木材に浸潤させる薬剤処理（保存処理）と薬剤の浸潤度を上げるために行う前処理があり、様々な方法がある。以下に示す①乾燥から③圧縮処理までは前処理の方法で、それ以外が薬剤処理の方法である

##### ① 乾燥（前処理）

木材の乾燥は、変形を抑止し寸法安定性の向上、腐朽菌の活動抑制、強度性能の向上などを目的として実施されている。乾燥には、天然乾燥と人工乾燥があり、また人工乾燥にはさらに、蒸気式乾燥、除湿式乾燥、高周波加熱減圧乾燥などがある。天然乾燥、低温の人工乾燥、中温の人工乾燥、高温の人工乾燥と、乾燥温度が上昇するのにもない、乾燥時間は短くなるが、木材の変色や割れが発生しやすくなる。

日本農林規格では、含水率の表示記号を表示する場合にあっては、次に規定するところにより記載することが示されている。

ア仕上げ材にあっては、含水率が15%以下のものは「SD15」と、18%以下のものは「SD18」と記載すること。

イ未仕上げ材にあっては、含水率が15%以下のものは「D15」と、18%以下のものは「D18」と記載すること。

##### ② インサイジング（前処理）

木材保存剤の均質な浸潤層を得る目的で、注入処理前に木質材料表面を刺傷又は穿孔して加工する方法。

インサイジングの加工については、日本農林規格において、製材の曲げ強度および曲げヤング係数の低下が概ね1割を超えない範囲内で実施することとされている。



写真 4-1 インサイジング加工機械



写真 4-2 インサイジング加工機械の内部構造（左）と加工後の木材（右）

### ③ 圧縮処理（前処理）

前処理のひとつで、木材表面を圧縮することで、表層の細胞を破壊し、薬剤の浸潤度を向上させる方法。

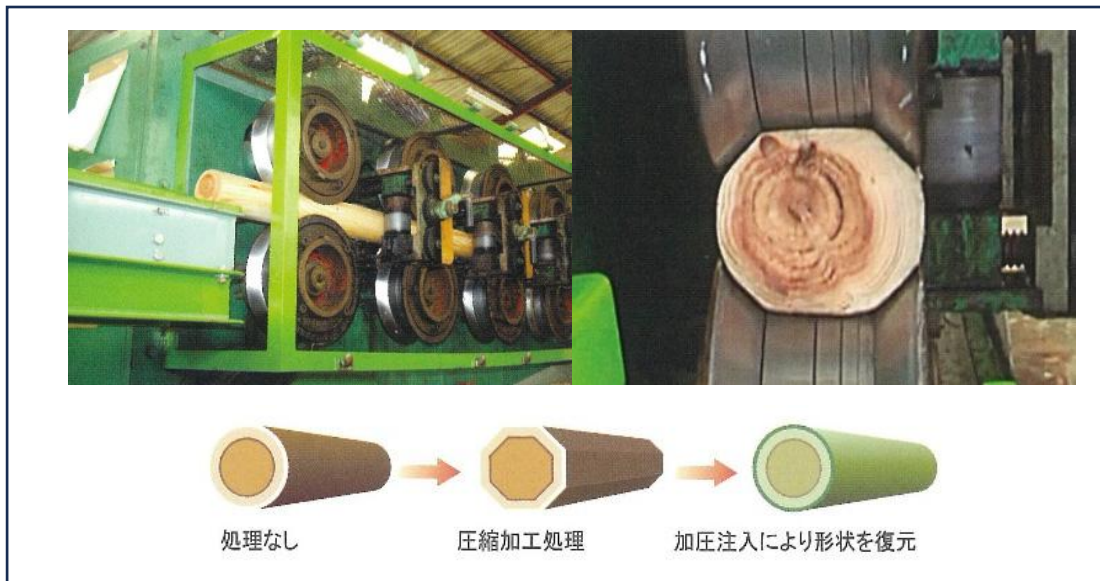


図 4-2 圧縮処理の作業工程（再掲）



写真 4-3 圧縮処理後（加圧注入前）の木材（再掲）

④ 塗布

保存処理の一つで、木材表面に薬剤を塗りつける方法。刷毛や塗布用ローラ等を使用する。

⑤ 吹付

保存処理の一つで、木材表面に薬剤を吹き付ける方法。

⑥ 浸漬

保存処理の一つで、木材を薬剤に漬けることにより、木材へ浸潤させる方法。

⑦ 加圧注入

薬剤に漬ける方法であるが、薬剤をより浸潤されるため、密閉可能な釜（注薬缶）内に入れ圧力をかける方法。



写真 4-4 加圧注入の作業状況

#### 4-1-3 日本農林規格での規格等

##### (1) 性能区分

防腐処理（日本農林規格では「保存処理」）の性能区分は、日本農林規格では以下の様に決められている。屋外で風雨に曝される木材を対象とした区分は **K4 または K5** であり、森林土木などの 山地において使用される木材 には K4 以上の性能が必要となる。

表 4-2 防腐処理に関する性能区分

性能区分	木材の使用条件	具体的内容
K1	屋内の乾燥した条件で腐朽・蟻害の恐れが無い場所で、乾燥害虫に対して防虫性能のみを必要とするもの	外気に接しない比較的乾燥した状態でヒラタクイムシの被害を防止する。 スギ材などはこの処理の対象とならない。
K2	低温で腐朽や蟻害の恐れが少ない条件下で高度の耐久性の期待できるもの	比較的寒冷な地域での建築部材用。 例えば「住宅の品質確保の促進に関する法律（品確法）」では、青森県、北海道地域で使用する土台には、K2 相当以上の処理を要求している。
K3	通常の腐朽・蟻害の恐れのある条件下で高度の耐久性の期待できるもの	土台等の建築部材用。 例えば「住宅の品質確保の促進に関する法律（品確法）」では、青森県、北海道地域で使用する土台には、K3 相当以上の処理を要求している。
K4	通常より激しい腐朽・蟻害の恐れのある条件下で、高度の耐久性の期待できるもの	屋外で風雨に直接曝される部材用。 腐朽やシロアリの被害が激しい地域での建築部材には K4 の製材を用いることが望ましい。
K5	極度に腐朽・蟻害の恐れのある環境下で、高度の耐久性の期待できるもの	電柱、枕木、海中使用等極めて高い耐久性が要求される部材用。

山地での適用

##### (2) 薬剤

日本農林規格では、防腐処理で使用する薬剤について、以下の薬剤であることが示されている。なお、アからケまでに定める薬剤にあっては日本工業規格（JIS）K 15702004 に規定するものであることとされている。

- ア 第四級アンモニウム化合物系（AAC-1）
- イ 第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系（SAAC）
- ウ ほう素・第四級アンモニウム化合物系（BAAC）
- エ 銅・第四級アンモニウム化合物系（ACQ-1）
- 銅・ジデシルジメチルアンモニウムクロリド剤（ACQ-2）

- オ 銅・アゾール化合物系銅・シプロコナゾール剤（CUAZ）
- カ アゾール・ネオニコチノイド化合物系（AZN）
- キ 脂肪酸金属塩系（NCU-E）ナフテン酸亜鉛乳剤（NZN-E）  
第三級カルボン酸亜鉛・ペルメトリン乳剤（VZN-E）
- ク ナフテン酸金属塩系（NCU-O）ナフテン酸亜鉛油剤（NZN-O）
- ケ クレオソート油（A）
- コ ほう素化合物系（B）

上記薬剤の中では、**エおよびオの銅を用いた薬剤**が他の有機物系の薬剤と比較し、耐久性が高く**長期間安定した防腐効果が持続する**ことから、森林土木などの山地での使用に適している。

また、薬剤の有効成分は水溶性、乳化性、油溶性、油性などに区分され、それぞれ、処理木材の色変化などが異なる。これら処理木材の特徴を下表にまとめた。

表 4-3 薬剤の有効成分と処理木材の特徴

分類	保存処理薬剤の種類	有効成分	特徴
水溶性	第四級アンモニウム化合物系	DDAC	DDAC を主成分とした木材保存剤で、処理木材は木材色の仕上がり
	銅・アゾール化合物系	酸化銅 シプロコナゾール	銅を主成分とし、銅耐性菌対策としてアゾールを配合した木材保存剤。青緑色に仕上がる
	銅・第四級アンモニウム化合物系	酸化銅 BKC	銅と BKC を主成分とした木材保存剤。処理木材は青緑色の仕上がり
	ほう素・第四級アンモニウム化合物系	ホウ酸 DDAC	ホウ酸と DDAC を主成分とした木材保存剤。処理木材は木材色の仕上がり
	アゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系	シプロコナゾール DDAC イミダクロプリド	DDAC にアゾールとイミダクロプリドを配合した木材保存剤。処理木材は木材色の仕上がり
	アゾール・第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	シプロコナゾール DMPAP エトフェンプロックス	DMPAP にアゾールとエトフェンプロックスを配合した木材保存剤。仕上がりは木材色
	第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	DMPAP シラフルオフェン	DMPAP にシラフルオフェンを配合した木材保存剤。仕上がりは木材色
乳化性	ナフテン酸銅系	ナフテン酸銅	処理木材はナフテン臭を有する。仕上がりは緑色～暗緑色を呈する
	ナフテン酸亜鉛系	ナフテン酸亜鉛	処理木材はナフテン臭を有する。仕上がりは木材色
	バーサチック酸亜鉛・ピレスロイド系	バーサチック酸亜鉛 ペルメトリン	脂肪酸金属塩にピレスロイド系殺虫剤を配合した木材保存剤。仕上がりは木材色
油溶性	ナフテン酸亜鉛系	ナフテン酸亜鉛	処理木材はナフテン臭を有す。仕上がりは木材色。乾式注入処理用
	ナフテン酸銅系	ナフテン酸銅	処理木材はナフテン臭を有する。仕上がりは緑～暗緑色。乾式注入処理用
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系	シプロコナゾール イミダクロプリド	乾式注入処理用の木材保存剤で、仕上がりは木材色
油性	クレオソート油	コールタール蒸留物	仕上り褐色、クレオソート臭あり。有害なベンゾピレン類は規制値以下

### (3) 浸潤度基準

日本農林規格では、性能区分を判断する指標として浸潤度試験結果の基準が定められている。性能区分別に、辺材部分及び心材部分の浸潤度（試験片の切断面が辺材部分のみ又は心材部分のみから成る場合にあっては、当該辺材部分又は心材部分の浸潤度）が、次表の左欄に掲げる性能区分及び中欄に掲げる樹種区分に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる基準に適合していることとされている。

表 4-4 性能区分別浸潤度基準

性能区分	樹種区分	基準
K 1	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が90%以上
K 2	耐久性D <sub>1</sub> の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が20%以上
	耐久性D <sub>2</sub> の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
K 3	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
K 4	耐久性D <sub>1</sub> の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
	耐久性D <sub>2</sub> の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ15mm（木口の短辺が90mmを超える製材にあっては、20mm）までの心材部分の浸潤度が80%以上
K 5	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ15mm（木口の短辺が90mmを超える製材にあっては、20mm）までの心材部分の浸潤度が80%以上

- (注) 1 耐久性D<sub>1</sub>の樹種は、ヒノキ、ヒバ、スギ、カラマツ、ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、  
 ベイマツ、ダフリカカラマツ及びサイプレスパインとする。  
 2 耐久性D<sub>2</sub>の樹種は、1に掲げる樹種以外のものとする。

### (4) 吸収量基準

日本農林規格では、性能区分を判断する指標として薬剤の吸収量試験結果の基準が定められている。性能区分別に、次表の左欄に掲げる性能区分及び中欄に掲げる使用した薬剤の種類区分に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる基準に適合していることとされている。ただし、複数の有効成分を配合したものについては、その配合比が日本工業規格K 1 5 7 0（2 0 0 4）に規定する範囲内であって、かつ、各有効成分の合計が次の表の基準に適合している必要がある。

なお、本報告書では、屋外での使用に適したK 4 およびK 5 に関する吸収量基準を示す。

表 4-5 性能区分別吸収量基準（性能基準K4 およびK5）

K 4	第四級アンモニウム化合物系	DDACとして9.0 kg/m <sup>3</sup> 以上
	第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物として5.0 kg/m <sup>3</sup> 以上
	ほう素・第四級アンモニウム化合物系	ほう素・第四級アンモニウム化合物として6.4 kg/m <sup>3</sup> 以上
	銅・第四級アンモニウム化合物系	銅・アルキルアンモニウム化合物として5.2 kg/m <sup>3</sup> 以上
	銅・アゾール化合物系	銅・シプロコナゾール化合物として2.0 kg/m <sup>3</sup> 以上
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系	アゾール・ネオニコチノイド化合物として0.3 kg/m <sup>3</sup> 以上
	脂肪酸金属塩系	銅を主剤としたものにあつては、銅として1.5 kg/m <sup>3</sup> 以上 亜鉛を主剤としたものにあつては、亜鉛として4.0 kg/m <sup>3</sup> 以上 亜鉛及びペルメトリンを主剤としたものにあつては、これらの化合物として5.0 kg/m <sup>3</sup> 以上
	ナフテン酸金属塩系	銅を主剤としたものにあつては、銅として1.2 kg/m <sup>3</sup> 以上 亜鉛を主剤としたものにあつては、亜鉛として3.2 kg/m <sup>3</sup> 以上
クレオソート油	クレオソート油として80 kg/m <sup>3</sup> 以上	
K 5	銅・第四級アンモニウム化合物系	銅・アルキルアンモニウム化合物として10.5 kg/m <sup>3</sup> 以上
	脂肪酸金属塩系	銅として2.3 kg/m <sup>3</sup> 以上
	ナフテン酸金属塩系	銅として1.8 kg/m <sup>3</sup> 以上
	クレオソート油	クレオソート油として170 kg/m <sup>3</sup> 以上

(5) 試験資料の採取

日本農林規格では、浸潤度試験及び吸収量試験に供する試料製材は、製材の1荷口につき、アの表の左欄に掲げる本数又は枚数に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる本数又は枚数を任意に抜き取るものとされている。

ただし、製材の樹種及び製材に対する薬剤の浸潤の仕様が特定しており、浸潤度試験（切断により試験片を採取する場合に限る）の結果、薬剤の浸潤度の判定を客観的に行うことができると登録認定機関又は登録外国認定機関が認めた場合には、ほう素化合物系保存処理薬剤で処理されたものを除き、イの表によることができるものとする。

ア 切断により試験片を採取する場合		
荷口の製材の本数又は枚数		試料製材の本数又は枚数
1,000以下	2	浸潤度試験の再試験を行う場合には、左に掲げる本数又は枚数の2倍の試料製材を抜き取るものとする。
1,001以上 2,000以下	3	
2,001以上 3,000以下	4	
3,001以上 4,000以下	5	
4,001以上 6,000以下	6	
6,001以上 8,000以下	7	
8,001以上 10,000以下	8	
(注) 荷口が10,000本又は10,000枚を超える場合には、1荷口がそれぞれ10,000本又は10,000枚以下となるように分割する。		
イ 生長錐により試験片を採取する場合		
荷口の製材の本数又は枚数		試料製材の本数又は枚数
1,000以下	8	浸潤度試験の再試験を行う場合には、左に掲げる本数又は枚数の2倍の試料製材を抜き取るものとする。
1,001以上 2,000以下	12	
2,001以上 3,000以下	16	
3,001以上 4,000以下	20	
4,001以上 6,000以下	24	
6,001以上 8,000以下	28	
8,001以上 10,000以下	32	
(注) 荷口が10,000本又は10,000枚を超える場合には、1荷口がそれぞれ10,000本又は10,000枚以下となるように分割する。		

## (6) 浸潤度試験

日本農林規格では、試験片の作成、浸潤度の算出、試験方法が定められている。試験片の作成では、各試料製材の長さの中央部付近において、当該試料製材の厚さ及び幅の状態により、5 mm以上の長さの試験片を1枚ずつ採取することとされている。試験片の採取について、試料製材の中央部としている理由として、薬剤の浸潤は製材の断面が露出している木口付近で浸潤しやすく、中央付近で最も浸潤度が低下するためである。

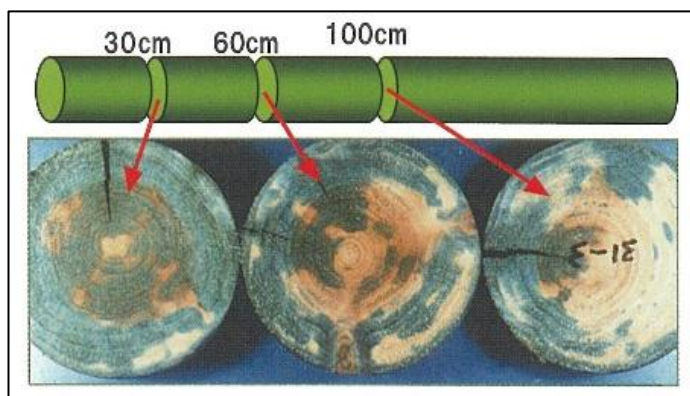


図 4-3 加圧注入による防腐処理後の断面の状況

また、浸潤度の算出では、薬剤毎に定められた方法で呈色させた面積（長さ）の割合で求められる。

浸潤度は、試験片に含有される薬剤をウに定める方法により呈色させ、次の式により算出する。

$$\begin{aligned} & \text{試験片の辺材部分の呈色面積 (mm}^2\text{)} \\ \text{辺材部分の浸潤度 (\%)} &= \frac{\text{試験片の辺材部分の呈色面積 (mm}^2\text{)}}{\text{試験片の辺材部分の面積 (mm}^2\text{)}} \times 100 \\ & \text{試験片の材の表面から深さ d (mm)} \\ \text{製材の表面から深さ d (mm) までの心材部分の呈色面積 (mm}^2\text{)} \\ \text{までの心材部分の浸潤度 (\%)} &= \frac{\text{試験片の材の表面から深さ d (mm)} \\ & \text{までの心材部分の呈色面積 (mm}^2\text{)}}{\text{試験片の材の表面から深さ d (mm)} \\ & \text{までの心材部分の面積 (mm}^2\text{)}} \times 100 \end{aligned}$$

(注) 生長錐により試験片を採取する場合には、「呈色面積 (mm<sup>2</sup>)」とあるのは「呈色長mm)」と、「面積 (mm<sup>2</sup>)」とあるのは「長さ (mm)」と読み替えるものとする。

浸潤度の算出方法

(7) 吸収量試験

日本農林規格では、前述の浸潤度試験の試験片を使用し、下図のように4箇所から深さ10mm、幅5mm及び長さ20mm(辺の長さが20mmに満たない場合にあつては、その長さとする)の木片を採取する。同一の荷口から採取された当該木片をすべて合わせて、これを細かく砕いて混合した後、全乾にしたものを試料とする。なお次の図に示す各辺の中央部の範囲に直径10mmの木工用ドリルを用いて深さ10mmまで2か所ずつ切削し、その切削片を同様に調製したものを試料とすることができる。

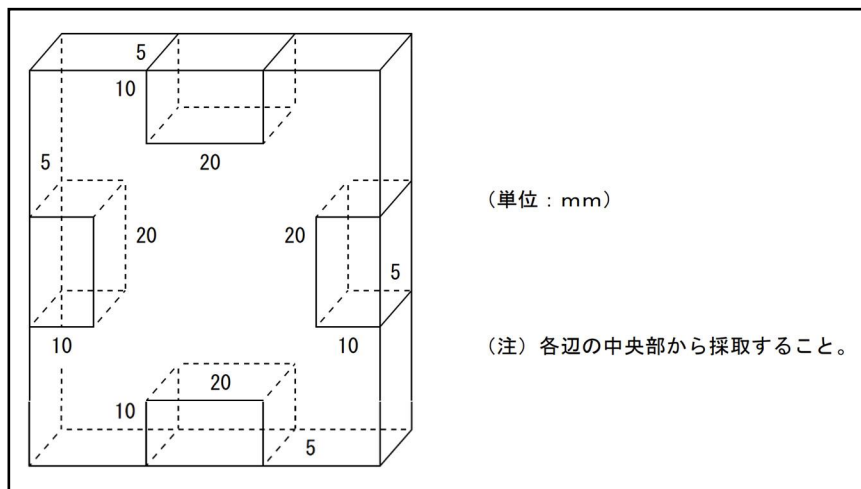


図 4-4 試験片の採取方法

## 4-2 防腐処理の課題

ここでは、これまでにまとめた既存の施工事例に収集の本調査で取り上げるべき事項や防腐処理方法を総合的に勘案し、森林土木事業における防腐処理の活用についてその課題と対策を検討する

### 4-2-1 森林土木事業における課題

#### ・木材の個体差及び環境変化

森林土木事業での木材の活用に関しては、既存の調査研究でまとめたように、生物資源である木材の個体差や、木製構造物の設置される山地環境の違いなどが課題としてあげられる。

木材は、使用する樹種や樹齢、年輪の密度などにより、その強度が大きく変化する。同じ樹種、樹齢であっても、木材により個体差が生じる。この個体差により、工業製品のような同一品質の製品とはなり難い。

また、施工箇所となる山地での環境の変化は、流水に接する場所や、落石による影響など多様であり、都市部の屋外の条件変化より大きい。特に、腐朽に影響がある水分条件が、工種設置箇所によって大きく異なる。

以上のことから、山地における木材の腐朽による影響や、防腐処理の効果を定量的に把握することは困難である。

#### ・防腐処理に関する技術的情報

これまで、森林土木事業では、様々な工法で木材が使用されてきた。しかし、その多くは、防腐処理を行っていない無処理のものが多く、木材を使用した工法も限定的であった。

また、木材は腐朽による機能低下と併せて、資材としての強度が他の資材と比較し低い。特に、鋼材やコンクリートなどと比較すると強度と耐久性に劣る。ことから、高い防災機能が求められる構造物としての活用頻度が少ない。

以上のことから、山地での使用を想定した防腐処理に関する技術的な情報は少ないといえる。

- ・山地における木材の腐朽による影響や、防腐処理の効果を定量的に把握することは困難
- ・森林土木技術では防腐処理に関する情報が少ない

#### 4-2-2 防腐処理方法における課題

##### ・防腐処理の性能区分

一般的に木材加工の段階で防腐処理を発注した場合、JASの性能区分に応じた防腐処理が行われる。しかし、このJASの性能区分の場合、屋外での適応を想定したK4以上の木材であったとしても、木材の表面全体に薬剤が浸潤していない場合がある。

「3-2 耐久性の試験地」で示したように、加圧注入のみの場合10年後にはいくつかの木材で腐朽が広がっていた。よって、その割合は少ないが、JASの性能区分で屋外対応とされているK4の木材であっても10年ほどで腐朽する可能性がある。

特に施工後長期にわたって放置される森林土木の構造物の場合、薬剤が浸潤していない面積割合が低くても、そこから腐朽菌が侵入し、心材部分を含む部材全体に腐朽が進むことが想定されることから、その影響を無視できない。

よって、山地での防腐処理では、「3-2 耐久性の試験地」で比較した圧縮処理を行った木材のように全体に薬剤が浸潤していることが重要であると考えられる。

##### ・圧縮処理の方法と効果

「3-2 耐久性の試験地」と「3-3 防腐処理技術の開発」で示したように、通常の薬剤注入を行う前に、圧縮処理を行い木材の表面細胞を一度破壊することで、薬剤の浸潤度を向上させる方法がある。その効果は、耐久性試験において、加圧注入のみの場合と比較して高いことが示されている。また、防腐処理技術の開発においても、前処理として一般的なインサイジングと圧縮処理を合わせて行うことで、薬剤の浸潤度が向上する結果が報告されている。

しかし、この方法は、日本農林規格や日本産業規格等で示された方法でないことから、通常の性能区分を指定する方法で防腐処理木材を発注した場合には行われないう処理である。また、広く周知された方法や効果でないことから、計画や設計段階での検討が行われていない

- ・山地での防腐処理では木材全体に薬剤が浸潤していることが重視される
- ・圧縮処理の方法が標準化されていない

#### 4-2-3 課題に対する対策の検討

##### ・森林土木事業における課題

森林土木事業における課題は、山地における木材の腐朽度合いや、防腐処理の効果を定量的に把握することは困難であることと、森林土木技術では防腐処理に関する知見が少ないことであった。

これに対する対応策として、「3 既存の施工事例の収集」でまとめた様々な機関で実施されている防腐処理に関する研究や試験結果を収集し、**現時点で分かっている知見などを積極的に広く周知する**ことが挙げられる。

##### ・防腐処理方法における課題

山地での防腐処理では長期間放置されることから、薬剤の浸潤度を割合で示している日本農林規格の性能区分ではなく、木材の表面全体に薬剤が浸潤していることが重要となる。また、薬剤を表面全体に浸潤させる方法の一つに圧縮処理があるが、この方法が標準化されていないことから、広く周知された技術とは言い難い。

これに対する対応策として、山地での使用を目指した防腐処理方法およびその具体的な方法の一例として、本業務で確認した圧縮処理を取り上げ、森林土木技術者に広く周知することがある。具体的には、**森林土木木製構造物設計指針の解説等に参考として掲載する**。

## 5 防腐処理の工法への適用

### 5-1 防腐処理と工種工法の区分

防腐処理を森林土木事業で実施されている工法への適用を検討するため、防腐処理と工種工法の区分を行う。

#### 5-1-1 防腐処理の区分

防腐処理には、塗布や吹付といった木材表面への処理方法、浸漬や加圧注入など木質内部への薬剤の浸潤を行う方法、薬剤処理を行う前に薬剤の浸潤を促す処理を行い、薬剤処理を行う方法等がある。これら異なる方法により処理された木材は、それにかかるコストや防腐効果が大きく異なってくる。

よって、防腐処理について求められる成果をもとに区分わけを行い、工種への適用を検討する。以下に、防腐処理について、その方法別に区分した。

表 5-1 防腐処理別の区分

処理区分			説明
無処理			防腐処理を行っていない
防腐処理	表面処理	塗布	刷毛等により表面に塗る
		吹付	スプレー等により表面に吹き付ける
	表層処理	浸漬	薬液内に木材を漬ける
		加圧注入	薬液につけた状態で加圧(減圧)する
	前処理	インサイジング	木材表面に傷を付ける方法
		圧縮処理	木材表面を圧縮し細胞を破壊する方法

以上の区分の中で、はじめに区分されるものは、無処理と防腐処理である。既存の調査研究や耐久性の試験地においても、防腐処理をしていない部材は、10年以内で腐朽によりその形状が保てない状況となることが確認されている。

#### 区分1 無処理と防腐処理を区分する

次に防腐処理の中での区分となる。本業務において確認されたものとしては、耐久性の試験地において、前処理として圧縮処理を行い加圧注入した木材と、加圧注入のみの木材では10年後(13年後と合わせて)、腐朽による影響の差が確認された。このことから、防腐処理の中で、前処理を行い加圧注入したものと、それ以外の前処理を行わないものを区分することとする。

#### 区分2 前処理後に加圧注入したものと前処理を行っていないものを区分する

次に前処理を行っていない処理方法であるが、本業務においてこれを区分する研究又は試験地による成果を得ていない。また、山地で使用する木材の防腐処理方法として、塗布や吹付による表面処理の事例は少ない。よって、本業務においては、前処理を行っていない防腐処理については、表層処理の浸漬と加圧注入を取り上げることとして、表面処理の塗布と吹付は取り上げないこととした。以下、本報告書においては、この表層処理のみのものを「薬剤処理のみ」とする。

よって、本業務においては、3つの区分とすることとし、「無処理材」、「薬剤処理のみ」、「前処理と薬剤処理」とした。

防腐処理区分： 無処理材 ・ 薬剤処理のみ ・ 前処理と薬剤処理

#### 5-1-2 工種・工法の区分

森林土木事業で行われている工法について、様々な工法が木製で実施されている。本業務では「森林土木木製構造物施工マニュアル」に記載されている「木製土木木製構造物施工事例」に示されている工種を対象として区分する。

対象とする工種は以下に示す20の工種である。

表 5-2 木製構造物対象工種

番号	工 種	番号	工 種
1	治山ダム工	11	丸太筋工
2	護岸工	12	防風工
3	水制工	13	静砂工・覆砂工
4	流路工	14	落石防護工
5	土留工・擁壁工	15	路面・路盤工
6	型枠工	16	路肩・防護柵工・視線誘導等
7	水路工	17	排水施設
8	法面保護工	18	木橋工
9	補強土工	19	階段・歩道工
10	柵工	20	標識工

以上の工種の中で、防腐処理を必要としない工種、構造物の規模に応じて防腐処理が必要となる工種、維持管理のため防腐処理を行う工種、施設の機能上防腐処理が必要となる工種として区分する。

ただし、取り上げた工種の機能以外の景観（見た目）等の目的で防腐処理を行う場合には、この区分の限りではない。具体的な事例としては、木製残存型枠では、型枠としての機能はコンクリートを打設した時点で終了しているが、ダム工の景観

及び腐朽した木材の流下を防ぐために、防腐処理を行う場合がある。

#### (1) 防腐処理を必要としない工種

防腐処理を必要としない工種は、腐朽によりその機能が失われても問題とならない工種に適用される。具体的に示すと以下の工種が挙げられる。

##### **型枠工、柵工、丸太筋工、法面保護工、水制工、水路工**

木製の型枠工には残存型枠があり、施工段階でその役割を終えていることから、長期間形状を維持する必要が無い。

また、柵工、丸太筋工、法面保護工、水路工等は、植生が回復するまでの期間、機能を維持することが求められるが、その後腐朽しても問題ない。一般的に植生回復までに5年から10年程度と考えると、防腐処理の必要性は低い。ただし、林道に用いられる視距確保を目的としたものは、維持管理の都合上防腐処理が必要な区分となる場合がある。

水制工に区分される木製沈床工は、溪床に埋設されることから、腐朽により部材の強度を失ったとしてもその影響が低い工種といえる。

#### (2) 維持管理の都合上防腐処理が必要となる工種

維持管理の都合上防腐処理が必要となる工種では、腐朽しても保全対象に影響が及ばない工種や、部材を交換することで機能を維持することが可能で、その交換頻度を長期化することでコスト縮減を図る場合などがある。防腐処理の性能区分も維持管理（部材交換等）にかかる費用と比較検討して決定する必要がある。

また、ここで挙げる工種で維持管理の必要性が無い場合には、防腐処理が必要ない工種となる。

##### **防風工、静砂工・覆砂工、補強土工、落石防護工、路面・路盤工、路肩・防護柵・視線誘導等、階段・歩道工、標識工**

防風工や防護柵、視線誘導、標識工等は、部材の交換が容易であること、また、部材が腐朽した場合でも工種全体にその影響が及ばないことから、維持管理の費用等によって防腐処理の判断が出来る。その他の工種とて、落石防護工や補強土工などは、防災施設としての機能と合わせて設置箇所の状況に応じて防腐処理の検討を行う必要がある。

#### (3) 構造物の規模に応じて防腐処理が必要となる工種

植生の根系の影響が及ぶ範囲の構造であれば、林地回復後には部材が腐朽し強度が低下しても良い。しかし、根系の影響を超えた規模の構造物の場合は、防災

施設としての機能維持等を検討して、防腐処理を検討する必要がある。具体的に示すと以下の工種が挙げられる。

#### **護岸工、流路工、土留工・擁壁工**

背面の土圧を受ける構造である土留工等の工種については、高さ 2mまでであれば、施工後成立する樹木の根系の緊縛力により、機能代替することが可能であることから、防腐処理の必要性は低い。ただし、規模が大きくなり根系の緊縛力では機能代替が困難な場合は、施設の機能を確保するため、腐朽する前に部材の交換もしくは施設を更新する必要がある。よって、防腐処理を行い長期間の機能維持を図ることが効率的となる。

#### **(4) 施設の機能上防腐処理が必要となる工種**

施設の機能上防腐処理が必要となる工種としては、腐朽等の影響により施設の機能が失われることが許されない工種となる。具体的に示すと以下の工種が挙げられる。

#### **治山ダム工、木橋工**

治山ダム工は、溪流部に設置される構造物で、溪床の縦横侵食を防止して、溪床の安定、山脚の固定および土砂の流出の防止・調整を図ることを目的として設置されている。このことから、治山ダム工の構造が腐朽により決壊した場合には、背面に堆砂している土砂が不安定土砂となり、豪雨などにより増水した場合に土砂災害となる危険性がある。

また、木橋工についても、人や車両が通行するものであることから、腐朽により構造が破壊した場合には、人命に直結する施設である。

よって、治山ダムや木橋については、規模の大小にかかわらず腐朽による影響が現れたときには必ず補修を行う必要がある。よって、防腐処理により長期間その機能を維持させることがより効率的となる。また、施設点検等の調査間隔内（5年程度）で急速に腐朽による影響が施設全体に波及することを防止するためにも防腐処理の実施が望まれる。

表 5-3 工種区分別工種一覧

工種区分	工種
防腐処理を必要としない工種	型枠工、柵工、丸太筋工、法面保護工、水制工、水路工
維持管理の都合上防腐処理が必要となる工法	防風工、静砂工・覆砂工、補強土工、落石防護工、路面・路盤工、路肩・防護柵・視線誘導等、階段・歩道工、標識工
構造物の規模に応じて防腐処理が必要となる工種	護岸工、流路工、土留工・擁壁工
施設の機能上防腐処理が必要となる工種	治山ダム工、木橋

## 5-2 防腐処理区分と工種区分の結合

これまでまとめた、防腐処理の区分と工種区分をそれぞれ合わせることで、適正な防腐処理の活用にあ資することとする。

表 5-4 防腐処理区分と工種区分

工種区分	工種	防腐処理区分
防腐処理を必要としない工種	型枠工、柵工、丸太筋工、法面保護工、水制工、水路工	無処理材
維持管理の都合上防腐処理が必要となる工法	防風工、静砂工・覆砂工、補強土工、落石防護工、路面・路盤工、路肩・防護柵・視線誘導等、階段・歩道工、標識工	維持管理が容易：無処理材 維持管理の頻度を減らす：薬剤処理のみ 維持管理が困難：前処理と薬剤処理
構造物の規模に応じて防腐処理が必要となる工種	護岸工、流路工、土留工・擁壁工	2m以下の小型構造：無処理材 維持管理が容易：薬剤処理のみ 維持管理が困難：前処理と薬剤処理
施設の機能上防腐処理が必要となる工種	治山ダム工、木橋	維持管理が容易：薬剤処理のみ 維持管理が困難：前処理と薬剤処理

※なお、上記区分は工種の機能に応じた区分であり、無処理材として区分された工種等の防腐処理の実施を妨げるものではない。