

落石防止壁に使用されたスギ間伐材の耐久性(第3報)

増田勝則・酒井温子・伊藤貴文・染川さおり

平成16年から18年にかけて施工された落石防止壁の衝撃緩衝材として6層に重ねて並べられたスギ間伐材の丸太を対象に、平成19年から24年の間に4回の劣化調査を行った。その結果、無処理丸太には、非接地であるにもかかわらず設置2年半経過後には腐朽が発生し、5年半経過後には、ほとんどの丸太で辺材内部まで腐朽が進行した。一方、薬剤による保存処理を行った丸太は、ごく一部で設置後5年から6年経過時点で腐朽が発生したが、設置後8年経過した丸太を含め、ほとんどの丸太で健全な状態が保たれており、薬剤による防腐効果が確認された。

無処理丸太の腐朽は、落石を受ける山側最外層と2層目に位置する丸太で最初に発生した。発生位置は、隣り合う丸太が接する面ならびに落葉落枝が堆積した箇所であった。また、一本の丸太の上下で比較すると、下部の進行が速かった。腐朽は当初これらの箇所から拡大していったが、これとは別に丸太上部からも腐朽が発生し、下部に向かって拡大していく状況が3年半および5年半経過後の調査によって確認された。

1. はじめに

近年、スギ、ヒノキをはじめとする間伐材が森林土木構造物に使用される事例が多く見られる。これら構造物のうち、間伐材の丸太を落石の衝撃緩衝材とした落石防止壁は、図1に示すように、落石を受ける山側（以下山側と記す）全面に間伐材丸太を層状（今回の調査対象構造物は6層）に並べるため、かなりの量の間伐材の需要が期待される。この間伐材丸太の耐久性を明らかにし、設計およびメンテナンスの指針とするため、木材保存剤で加圧注入処理されたスギ間伐材丸太（以下、処理丸太と記す）を使用して平成16年度から18年度にかけて県内の宇陀市室生向測に施工された現場を対象に、継続的な調査を行っている。

本調査では、丸太の保存処理の効果を検討するため、



図1 調査対象とした落石防止壁

奈良県東部農林振興事務所の協力を得て、平成18年度に設置された処理丸太の一部を、保存処理されていないスギ間伐材丸太（以下、無処理丸太と記す）に置き換えた調査区を設定した。その後、工事竣工6ヶ月後の平成19年9月に初回調査、2年7ヶ月経過後の平成21年10月に2回目、3年8ヶ月経過後の平成22年11月に3回目、5年8ヶ月経過後の平成24年11月に4回目の調査を行った。1回目と2回目の調査結果は、それぞれ第1報¹⁾と第2報²⁾において報告した。本報告では、4回目の調査時点で、野外暴露期間が5年半から8年に達した丸太の劣化状況について、3回目と4回目の調査結果を合わせて報告する。

2. 方法

2.1 調査場所

現場は奈良県宇陀市室生向測集落内の南向き山腹斜面、標高約480mの場所である。図2に落石防止壁の配置図を示す。構造物は同一の等高線上に、ほぼ平行に連続して4基配置されていた。西側から順次施工されており、ここではこれら4基を西から東に向かい、順にNo.1～4と称する。No.1は平成16年度から17年度、No.2は平成17年度から18年度にかけて施工された。No.3、No.4は平成18年度に施工された。

2.2 落石防止壁

今回調査対象とした落石防止壁は、主要構造部がコンクリート製擁壁とH鋼で構成されている（図3）。この



図2 落石防止壁と調査区の配置図

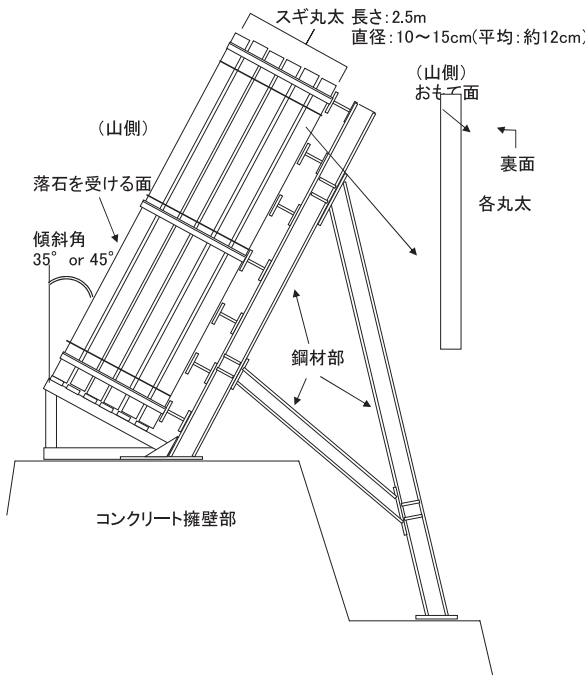


図3 落石防止壁(λ型)側面図

タイプの落石防止壁の山側面は、一定の傾きを有しており、H鋼の側面の形からλ型と呼ばれている。今回の構造物の山側面の傾きは、No.1とNo.2が垂直方向から35°、No.3とNo.4が45°の2種類（以下この傾きを傾斜角と記す）であった。主要構造部の上部に、落石の衝撃緩衝材として、長さ約2.5m、直径10cmから15cmの間伐材の丸太が6層構造で並べられている。丸太には丸棒加工は施さず、剥皮後、JISK1570に定められた銅・第4級アンモニウム化合物系木材保存剤（ACQ）の加圧注入による保存処理が施されている。

表1 設定した調査区の条件

落石防止壁	調査区	施工年度	保存処理	落石面の傾斜角
No. 1	1区	H16	処理	35°
	2区	H17	処理	35°
No. 2	3区	H18	処理	35°
	4区	H18	無処理	35°
No. 3	5区	H18	処理	45°
No. 4	6区	H18	無処理	45°

表2 目視による被害度の判定基準

- 1：評価対象部分に軽度の腐朽
- 2：評価対象部分に面積の1/2以上の軽度の腐朽かつ一部に辺材内部まで進行した腐朽
- 3：評価対象部分に面積の1/2以内の辺材内部まで進行した腐朽
- 4：評価対象部分に面積の1/2以上の辺材内部まで進行した腐朽
- 5：評価対象部分に4に加え心材まで及ぶ腐朽

※上記評価対象部分とは丸太の上部、中央部、下部のことを指す。

2.3 調査方法

2.3.1 調査区

設定した調査区の条件を表1に、配置を図2に示す。調査区は薬剤による保存処理の有無、施工年度および傾斜角の各条件を変化させて6区設定した。

2.3.2 位置の識別

図4に調査区内の丸太配列の1例を示す。各丸太の位置は、山側の面から1層目をA層、2層目をB層、順次6層目をF層とし、山側の面に向かって、右から左へ1列、2列、3列と順に標記した。また、図3に示すように、各丸太において山側に近い面をおもて面（以下単におもて面、反対の面を裏面と記す）とした。

2.3.3 調査項目

(1) 被害度

3回目と4回目の調査では、以下の各器具による測定時に、すべての丸太について目視により被害度を判定した。被害度は腐朽状態に応じて表2のように定め、これを基準とした。また、判定は、丸太を上、中、下部に区分し、それぞれの部位ごとに行った。

(2) 含水率

測定は4本の金属製のピンを木材中に数ミリ打ち込んで測定する電気抵抗式含水率計（株式会社ケット科学研究

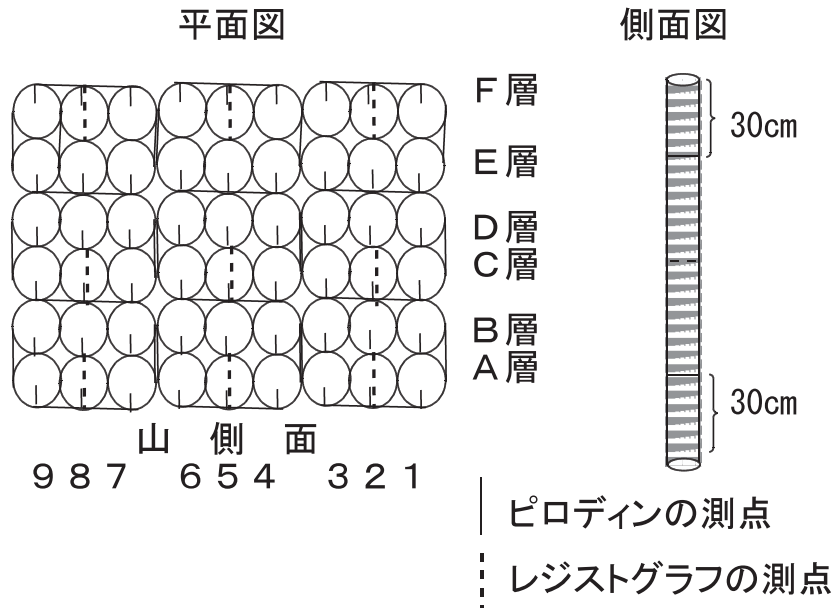


図4 調査区の丸太配列の1例と測点の位置

究所製タークH)を用いた。1本の丸太における測定位置は、後述するピロディンの測定位置の近くとした。また、前回調査の測定位置に可能な限り近い位置とした。

(3) ピロディンによるピンの貫入深さ

スイスproceq社製のピロディン6J(測定法の詳細は第1報¹⁾を参照のこと)による測定を調査対象とした全丸太について行った。以下ピロディンの測定によるピンの貫入深さの値をP値と呼ぶ。また、一本の丸太について測点は2カ所設定した。図4の側面図に示すように、丸太の上端と下端からそれぞれ30cm離れた位置で、かつ平面図に実線で示す位置、すなわち、AからE層はおもて面、F層は裏面とした。また、同じ箇所にも複数回ピロディンの測定を行う場合、ピンの貫通による材の損傷の影響は測点を外周方向に10mmずらすことによりほとんど無視できることが分かっているため³⁾、今回の測点は初回調査時の測点から外周方向に約10mm移動した位置とした。

(4) レジストグラフによる穿孔抵抗値

ピロディンによる測定可能範囲である丸太表層から40mm以上の材内部の劣化情報を得るため、レジストグラフ(ドイツIML社製M-300)による測定を行った。測定対象の丸太および測定箇所は、図4の平面図に点線で示すようにA層、C層、F層の2、5、8列に相当する位置にある丸太9本の中央1カ所を基本とした(図4の側面図点線)。これに加え、目視で劣化が進行していると確認された丸太については、測定対象とし、各部の腐朽状況に応じて測定箇所も適宜追加した。

(5) 木材腐朽菌の同定

6区は無処理の丸太の一部には複数の箇所の子実体の発生が見られた。子実体の形態が異なる3種について、子実体とその直下の木材をそれぞれ3~4箇所ずつ採取して持ち帰り、木材腐朽菌の単離作業を行った。

まず、クリーンベンチ内で子実体の直下の木部から、それぞれ少量の木片を掻き取り、寒天培地に植え付けて25℃で培養を行った。木片から寒天培地上に生育した微生物を顕微鏡で観察し、クランプを有する等、担子菌の特徴を持つ菌糸を見つけ、寒天培地に再度植え付ける作業を2回繰り返した。

単離された3体のうち1体は、子実体の特徴からカララタケと推定されたが、残る2体は子実体の特徴からは種の判定ができなかったため、DNAによる同定を行った。

DNA分析は、ITS-5.8S rDNA塩基配列で行った。相同性検索および簡易分子系統解析は、国際塩基配列データベース(GenBank/DDBJ/EMBL)により実施した。

3. 結果

3.1 目視評価

3.1.1 無処理丸太

図5に平成22年調査時の4区、すなわち平成18年度施工、傾斜角35°の無処理丸太の層別被害度を上下部別別に示す。先に述べたように、平成21年調査時に確認された腐朽は、層中の位置では、山側の最外層と2層目の丸太が互いに接する面で発生し、上下の位置では主に下部

で発生していたが、平成22年調査時にはこれら腐朽は山側から3層目まで拡大し、4層目の丸太の一部にも軽度の腐朽が発生していた。丸太の上部においても、軽度ではあるが全層の丸太に発生していた。中央部では、山側最外層の丸太を除き、腐朽はほとんど確認されなかった。

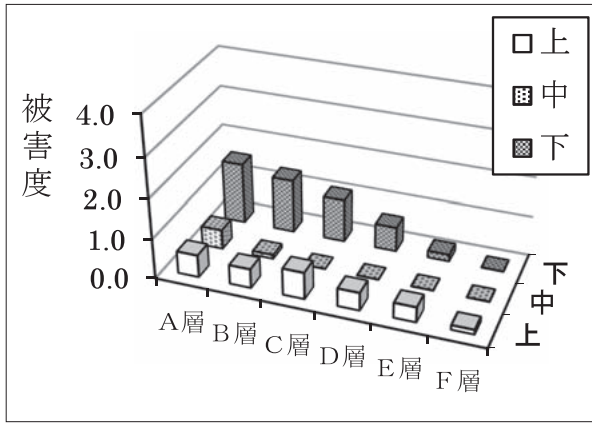


図5 平成22年調査時における平成18年度施工無処理丸太（傾斜角35°）の目視評価による層別被害度

図6に平成22年調査時の6区、すなわち平成18年度施工、傾斜角45°の無処理丸太の層別被害度を上下部位別に示す。傾斜角45°の無処理丸太では、35°の丸太より被害が広範囲に及び、2層目丸太の腐朽が進行していた。また、上部より下部の被害が大きく、中央部にも腐朽が確認された。

図7および図8に平成24年調査時の4区と6区の無処理丸太の同様の層別被害度を示す。設置後5年半経過した平成24年には両区とも、丸太の腐朽は被害度、範囲ともにさらに増大し、全層の全丸太に及んだ。上下部位別の被害度についてみると、山側最外層から3層目までは下部の被害度が大きい傾向が認められた。4層目より外側の丸太下部では6層目（F層）に向かうに従い、被害度は減少する傾向にあった。一方、上部では層別の差異に一定の傾向は無く、全層同様の被害度を示した。そのため、4層目以下では丸太上部のほうが被害度が大きい傾向にあった。傾斜角による被害度の差異はほとんど無くなった。一本の丸太における各部位別の被害度の最高値を、その丸太の被害度とみなして求めた無処理丸太全体における被害度の割合は、被害度4の丸太が43%、3の丸太が52%、2の丸太が5%であった。

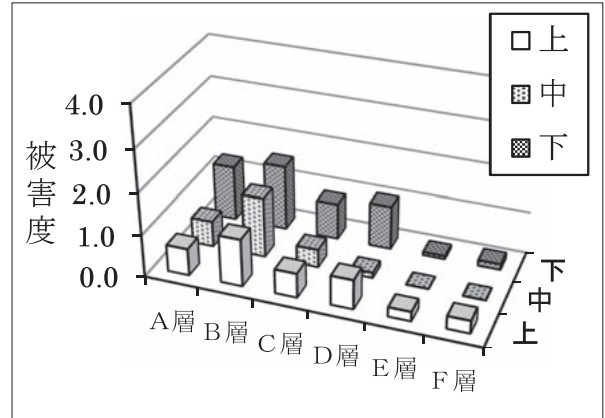


図6 平成22年調査時における平成18年度施工無処理丸太（傾斜角45°）の目視評価による層別被害度

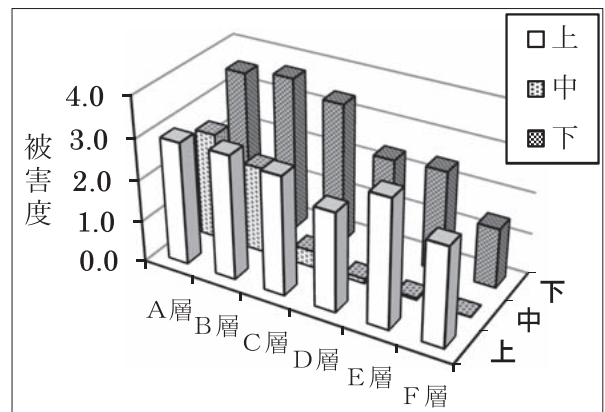


図7 平成24年調査時における平成18年度施工無処理丸太（傾斜角35°）の目視評価による層別被害度

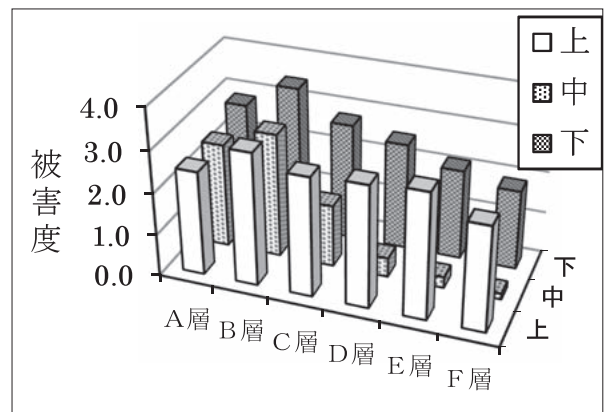


図8 平成24年調査時における平成18年度施工無処理丸太（傾斜角45°）の目視評価による層別被害度

3.1.2 処理丸太

処理丸太は、平成22年の調査時点で1区と2区に3本ずつ、3区と5区に1本ずつ、合計8本の丸太に軽度の腐朽が認められた。その後、平成24年時点でも、上記8本の丸太以外はすべて健全であった。また、この8本の丸太のうち、6本には被害の進行はなく、2本（1区と2区の各1本）で腐朽の進行が認められた。腐朽が進行していた処理丸太の例を図9に示す。

3.2 含水率

図10に傾斜角35°と45°を合わせた平成18年度施工処理丸太の4回の調査における含水率の平均値の推移を示す（ここでいう平均値は、一本の丸太の上部と下部2カ所で測定した値全体を各層別に平均したものである）。初回調査時の含水率は6層中、内層部において高く、外層部で低い値を示した。その後もこの傾向を示しながら各丸太の含水率は減少し、層別変異は時間経過とともに減少した。しかし、平成24年調査の時点では各丸太の含水率は上昇傾向を示し、特に山側最外層と2層目の丸太の下部では、平均値で約20%、中には30%を越えるものも数本存在した。

図11に傾斜角35°と45°を合わせた平成18年度施工無処理丸太の含水率の平均値の推移を示す。無処理丸太は当初処理丸太と同様に内層部において高い傾向を示していたが、先に示した平成21年に確認された腐朽の発生以降、含水率が上昇し、山側の3層、特に2層目の丸太の含水率が高くなった。

3.3 P値

図12に、平成24年の調査における処理丸太のP値の度数分布を示す。初回の調査におけるP値は99%以上の丸

太において25mm以下の値であったが、平成24年調査の時点においても、図12に示すように、97%以上の丸太において25mm以下にあった。よって、処理丸太ではP値の測定によって判断される劣化はほとんど進行していなかった。一方、無処理丸太は当初、処理丸太と同様に99%以上の丸太が25mm以下の値であったが、図13に示すように、平成24年調査時点では25mm以下の値を示した丸太は約62%に減少した。図14に各調査時における無処理丸太の層別P値の平均値の推移を示す（ここでいう平均値は、含水率と同様に、一本の丸太の上部と下部2カ所で測定した値全体を各層別に平均したものである）。平成24年調査の時点では腐朽の激しい山側最外層から3層目までの丸太は平均値で25mmを越え、これら層内

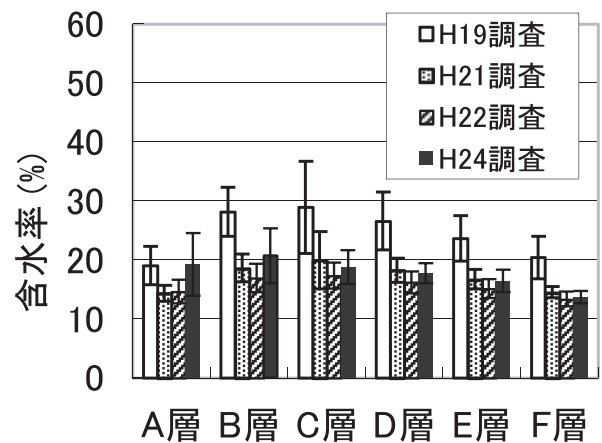


図10 各調査時の平成18年度施工処理丸太の層別含水率の推移

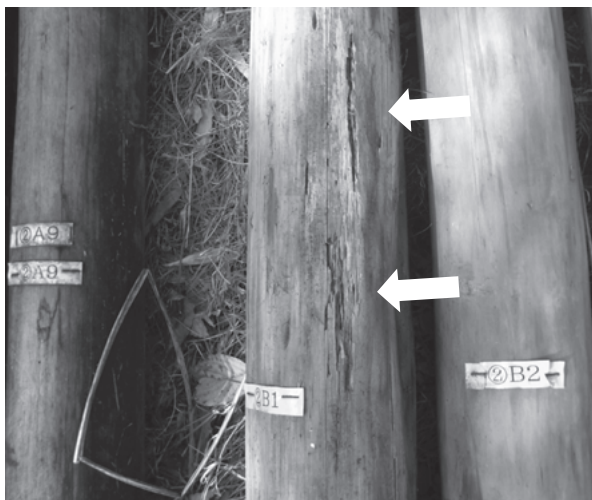


図9 平成24年時点で腐朽が進行していた平成17年度施工処理丸太

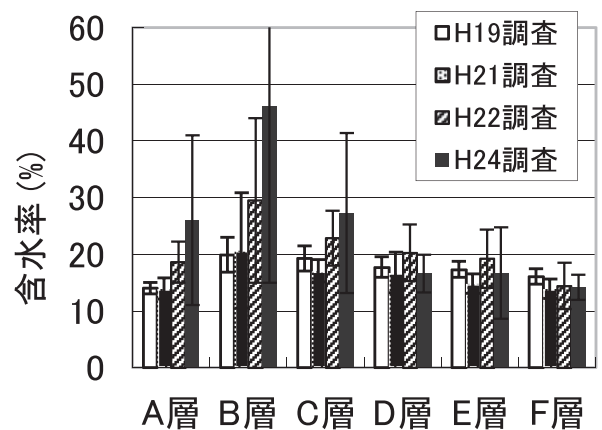


図11 各調査時の平成18年度施工無処理丸太の層別含水率の推移

は、45%の丸太がピロディンの測定可能範囲の上限である40mmを示し、丸太の腐朽が内部にまで及んでいることがP値からも裏付けられた。

3.4 レジストグラフによる穿孔抵抗値

図15は、傾斜角35°の無処理丸太の山側最外層から2層目の位置にあった一本の丸太において、平成22年と平成24年調査時点で測定された、丸太の上部と下部のレジストグラフによる穿孔抵抗値である。図中最上段の、平成22年時点の丸太上部では、健全なスギ丸太で一般的にみられる、晩材部での抵抗値の大きな立ち上がりが見られた。その後、上から2段目で示されるように、平成24年時点では抵抗値の立ち上がりが見られない部分があり、腐朽の可能性があった。同様に、丸太下部の平成22年調査時の測定結果である図中上から3段目と平成24年時の結果である図中最下段を比較すると、同じ部位の丸太の中心付近の抵抗値の立ち上がりがこの2年間で失わ

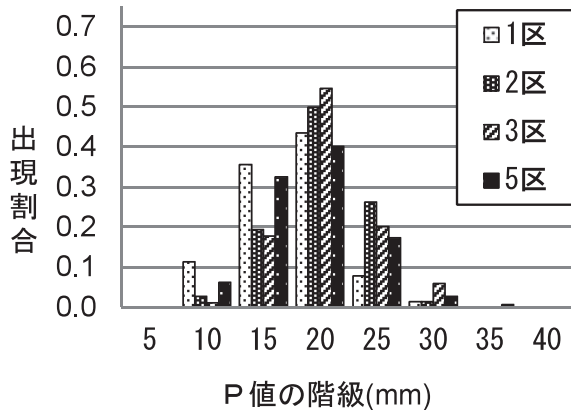


図12 平成24年調査時における処理丸太P値の度数分布

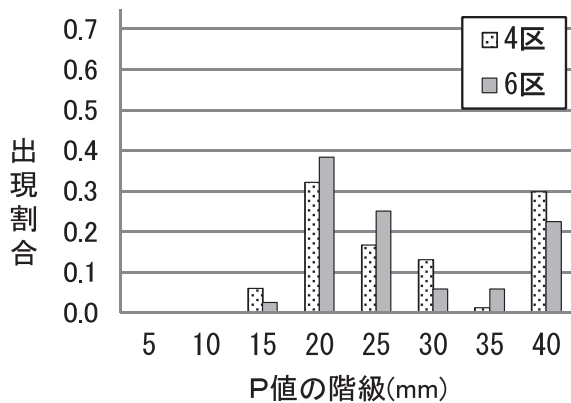


図13 平成24年調査時における無処理丸太P値の度数分布

れ、心材部にまで腐朽が及んでいることが推測された。

3.5 木材腐朽菌の種の特定

単離された木材腐朽菌のうちの1種は、国際塩基配列データベース (GenBank/DDBJ/EMBL) に登録されている8菌株との相同率が99.0%以上で、*Gloeophyllum abietinum* (コゲイロカイガラタケ) と判定された。しかし、もう1種の菌は、高い相同率を示すものがなく、種は不明であった。

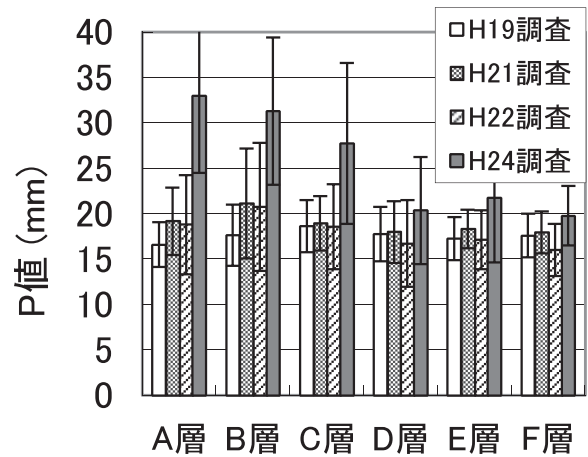


図14 各調査時における平成18年度施工無処理丸太の層別P値の推移

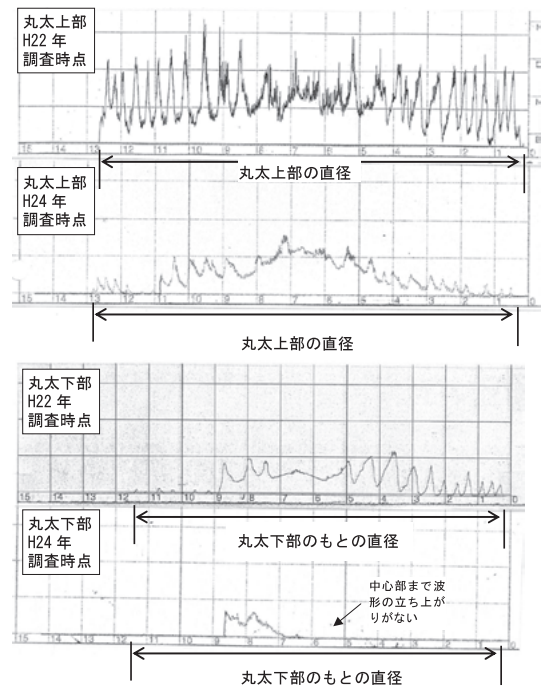


図15 心材に腐朽が及ぶと推測された無処理丸太のレジストグラフの波形

4. 考察

4.1 保存処理の効果

平成24年11月の調査時点で、平成16年度施工の処理丸太については約8年間、野外で暴露状態にあったが、ほとんどの丸太に腐朽は確認されなかった。一方、5年半経過した無処理丸太はすべての丸太で腐朽が発生し、落石を受ける山側の最外層から3層目までのほとんどの丸太には辺材内部に及ぶ腐朽が進行していたことから、保存処理の効果が確認された。しかし、一部の処理丸太に平成22年以降の調査で腐朽が確認された。この丸太の保存処理に使用された薬剤はACQであるが、当センターで行った野外杭試験における結果から、この薬剤によって加圧注入処理された杭の設置環境による耐用年数はK3相当の注入量があれば15年、K4相当であればそれ以上であることが分かっている⁴⁾。このことから、この腐朽の発生原因として、これら丸太木部への薬剤の浸潤不足、あるいは処理後の丸太の割れ等が考えられた。

4.2 腐朽の促進要因

過去4回の調査で丸太の腐朽は、山側最外層から2層目までの隣り合う丸太が接する面と、落葉落枝が堆積した箇所、かつこれら丸太の下部で最初に発生し、そこから谷側の外層に向い、拡大していく状況が確認された。この進行形態とは別に、平成22年、24年の調査では、新たな腐朽発生の傾向として、丸太上部において、層の位置に関係なく腐朽が進行する状況が確認された。この理由としては、丸太上部では、晴天や降雨などの気象変化に伴う乾湿繰り返しによる木口割れの発生、落葉落枝の堆積などが層の位置に関係なく発生し、雨水の滞留をまねくためと推測された。

平成24年調査時点の処理丸太の含水率は、それ以前の傾向に反し、山側最外層と2層目において、20から30%の高い含水率を示していた。この原因も主として、落ち葉の堆積と周囲の植生繁茂による風通しの悪さなどによるものと考えられた。特に、丸太隣接部の窪みには、落ち葉が侵入し、長期にわたり堆積していく。この部分は腐朽菌にとって好適な環境下にあるため、繁茂の場となる。この落ち葉に接していた処理丸太の表面には図16に示すように、腐朽菌のものと推測される菌糸が繁茂し、それを除去した箇所には変色部分が確認された。これらの丸太にも平成24年調査時点では、明らかな腐朽は認められなかったが、今後、これらの箇所を注意深く観察する必要がある。



図16 処理丸太の表面に出現した菌糸を除去した後の変色部分（図中白色部分）

4.3 レジストグラフ

図15にレジストグラフによる測定結果を示した丸太の平成22年調査時における目視評価は、下部が被害度2、上部は0であった。同様に平成24年調査時には、下部は辺材内部に及ぶ腐朽が広範囲に存在する状態である被害度4、上部は3であった。しかし、図中最下段のレジストグラフの測定結果をみると、この丸太下部の直径である117mmのほとんどの領域において穿孔抵抗値の立ち上がりが観測されておらず、腐朽は心材部にまで及んでいたことが推測された。このように、目視評価と同時にレジストグラフを用いた測定を行うことで、目視では確認できない木材内部の状況を把握することが可能であった。

引用文献

- 1) 増田勝則ほか：落石防止壁に使用されたスギ間伐材の耐久性(第1報). 奈良県森林七研報. 37,43-47 (2008)
- 2) 増田勝則ほか：落石防止壁に使用されたスギ間伐材の耐久性(第2報). 奈良県森林七研報. 40,11-16 (2011)
- 3) 増田勝則：ストライカーピンの径を変化させた時のピロディンの貫入深さと材の破壊範囲. 奈良県森林七研報. 36,27-36(2007)
- 4) 酒井温子ほか：銅・第4級アンモニウム化合物系木材保存剤(ACQ)を加圧注入した杭の野外耐用年数の推定. 奈良県森林七研報. 38,57-60(2009)

(2013年4月10日受理)