

落石防止壁に使用されたスギ間伐材の耐久性(第2報)

増田勝則・酒井温子・伊藤貴文・田中陽子

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について、劣化状況を調査した。その結果、保存処理された丸太では設置後5年経過したものを含め、劣化は確認されなかったが、設置後約2年6ヶ月経過した無処理の丸太の一部は、表面が木材腐朽菌の菌糸で覆われ、目視で容易に確認できる明らかな腐朽が存在した。各丸太において、落石を受ける側の面をおもて面とし、6層のうち落石を受ける層からその背後に向かってA層、B層と数えると、腐朽の発生はA層丸太の裏面と側面、B層丸太のおもて面と側面に集中していた。これらの丸太は、直立ではなく斜めに傾いた状態で設置されていたが、傾斜角の違いによっても腐朽の進行状況は異なり、35°より45°の丸太の劣化が進んでいた。また、丸太の上部と下部で比較すると、下部で劣化がより進行していた。これらの箇所において腐朽が発生する原因は、降雨を受けるA層の丸太と、それに隣接するB層の丸太において、互いに接する界面に雨水が貯留し、この部分の含水率が高い状態で保たれることに起因すると推測された。また、落石防止壁の周囲を取り囲む高木や草本に由来する落葉落枝の丸太への堆積も、雨水の蒸発をさまたげ、腐朽を促進する要因となっていた。

1. はじめに

近年、スギ、ヒノキをはじめとする間伐材が土木構造物に使用される事例が多く見られ、治山事業の森林土木構造物にも多くの施工実績がある。これら構造物のうち、間伐材の丸太を衝撃緩衝材とした落石防止壁は、図1に示すように、落石を受ける側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。しかし、木材を野外で使用すると、腐朽菌やシロアリの被害を受け、強度が徐々に低下するため、緩衝材として機能する耐用年数を明らかにしておく必要がある。そこで、木材保存剤で処理された丸太を使用して施工された県内の現場において、丸太の一部を保存処理されていない丸太に置き換えた調査区を設定した。以降、木材保存剤で処理されたスギ丸太を処理丸太、保存処理されていないスギ丸太を無処理丸太と呼ぶ。

平成19年9月から継続的に処理丸太と無処理丸太の劣化調査を開始した。第1報¹⁾では、初期値の把握を目的に、落石防止壁に使用された丸太の初回調査における含水率、ピロディンおよびレジストグラフの測定結果を報告した。

初回調査では無処理のものを含め、すべての丸太に注目すべき劣化は認められなかった。また、6層の層状に



図1 落石防止壁と調査地の状況

並べられた丸太の含水率は、外層部より内層部において高い値を示した。また、丸太の上部よりも下部において高い値を示した。

初回調査時から2年経過した平成21年10月に、丸太の劣化の進行状況を把握するため、2回目の調査を行った。その結果、処理丸太には大きな変化は見られなかったが、無処理丸太に顕著な腐朽の進行が認められたため、本報では、主として無処理丸太にみられた変化について報告する。

2. 材料と方法

2.1 調査場所

調査地および落石防止壁の配置については、第1報¹⁾に示したとおりである。

2.2 落石防止壁

調査対象の落石防止壁の構造、木材保存剤の種類等についても第1報¹⁾に示したので、参照されたい。

2.3 調査方法

2.3.1 調査区

先に示したように本調査では、平成18年度施工時に丸太の配列の一部に無処理区を設定した。設定した調査区の条件を表1に、その配置を図2に示す。調査区は薬剤による保存処理の有無、施工年度および落石面の傾斜角の各条件を変化させて6区設定した。

表1 設定した調査区の条件

調査区	施工年度	保存処理	落石面の傾斜角
1区	H16	処理	35°
2区	H17	処理	35°
3区	H18	処理	35°
4区	H18	無処理	35°
5区	H18	処理	45°
6区	H18	無処理	45°

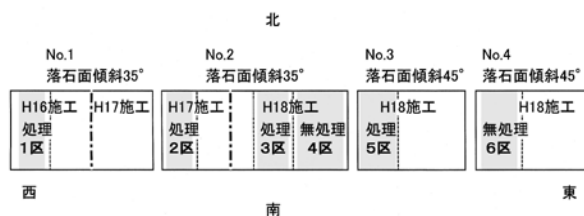


図2 試験区の配置

H鋼の1ユニット(1スパン)には丸太が落石面に向かい、行(横)方向に13~15本、列(奥行き)方向に6本並べられている。各調査区内の丸太にはヒノキが混入しており、これを除外したので、各調査区内の各層(行)に最低6本のスギ丸太を含むよう、調査区を設定した。その結果、各調査区の列の数は、1区が18列、5区が14列、6区が12列、2、3、4区は9列となった。

2.3.2 位置の識別

各丸太の位置は、落石を受ける面から1層目をA層、2層目をB層、順次6層目をF層とし、落石面に向かい、右から左へ1列、2列、3列と順次識別した。また、各丸太において落石を受ける側に近い面をおもて面(以降

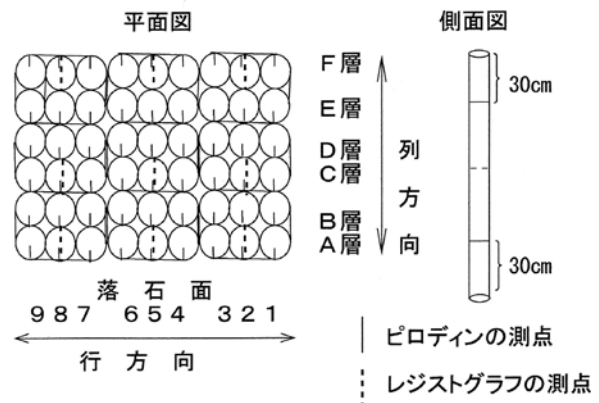


図3 調査区の丸太の配列と測点の位置

単におもて面、反対の面を裏面という。)とした。丸太の配列の一例を図3に示す。

初回の調査では、落石防止壁施工後の経過時間、保存処理の有無、6層中の丸太の位置、1本の丸太における高さ方向の位置(上部と下部)および落石面の傾斜角に着目し、これら因子が丸太の劣化に及ぼす影響を検討した。今回は初回と同様、上記因子に着目しながら、2年経過した各年度施工の丸太の劣化状況について検討した。なお、今回の調査および平成18年度施工時における無処理区の設定は奈良県東部農林振興事務所の協力を得て行った。

2.3.3 調査項目

(1) 目視による劣化の確認

以下の各器具による測定時にすべての丸太について、目視により劣化の状況を確認した。

(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所製タークH)を用いた。1本の丸太における測定位置は、次に示すピロディンの測定位置のすぐ近くとした。また、初回調査時の測定位置に可能な限り近い位置とした。

(3) ピロディン

スイス proceq 社製のピロディン6J(測定法の詳細は第1報を参照のこと。)による測定を1調査区中の全丸太に対して行った。以降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。1本の丸太について測点は2カ所設定した。図3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接線方向にずらすことによりほとんど無いことが分かっているため²⁾、今回の測点は初回調査時の測点から接線方向に少し移動した位置とした。

(4) レジストグラフ

ピロディンによる測定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、補足的にレジストグラフ（ドイツIML社製M-300）による測定を行った。測定箇所は、丸太の中央1カ所とした（図3の側面図点線）。測定対象とした丸太は図3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本について行った。

(5) 木材腐朽菌の同定

6区の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。これらの腐朽菌は子実体の形態から同一種と推定されたが、子実体とその直下の木材を4箇所採取して持ち帰り、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5体の木片を掻き取り、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。その後、単離された木材腐朽菌について、対峙培養を行ったところ、いずれも和合したため同一種株と判定した。

菌種のDNA分析による同定は、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. 結果と考察

3.1 目視による劣化の確認

処理丸太は、いずれの施行年度においても腐朽は認められなかった。一方、平成18年度に施行した無処理丸太は、以下の条件下にある丸太に腐朽が発生していた。

3.1.1 丸太の傾斜角による影響

無処理丸太は、落石面が45°の傾きを有する6区において、表面が菌糸に覆われ、明らかに褐色腐朽が進行している丸太が61本中19本存在した（図4）。なかには子実体が発生しているものもあった（図5）。落石面が35°の4区の丸太においても、腐朽は発生していたが、本数は42本中6本と少なく、腐朽の状態も軽度であった。

3.1.2 高さ方向の位置による影響



図4 腐朽の進行した丸太



図5 子実体の発生した丸太



図6 丸太下部を被覆する植物群落

上記の腐朽は、丸太の上下の部位別では、下部に多く発生していた。先にも述べたが、初回調査の時から丸太の下部は含水率が高かった。これは、図6に示すように、下部は植生の被覆を受けやすいこと、上部に比べて風通しが悪く、降雨後の乾燥が遅れることなどの理由が考えられた。同様の現象は、和歌山県日高町内において過去に我々が行った同じ落石防止壁を対象とした調査³⁾においても認められた。

3.1.3 6層内の丸太の位置の違いによる影響

6層内の位置でみると、6区では腐朽は主にA層とB層に発生しており、19本のうちA層とB層が8本ずつ、C層で3本であった。同様に4区においても、腐朽の発生箇所はA層とB層であった。また、丸太中の位置は、A層丸太の裏面と側面、それに接するB層丸太のおもて面と側面であった。これらの位置は降雨を直接受けるA層丸太とそれに隣接する丸太が互いに接する面であるが、この箇所には雨水が貯留しやすく、含水率が高い状態で保たれることが腐朽の原因と推測された。

A層丸太については、図7に示すように、側面に腐朽の発生が多かった。この原因は図8に示すように、周囲のスギ林および竹林から発生する落葉落枝が、丸太が接



図7 側面に発生した腐朽と子実体



図8 隣接する丸太の隙間に堆積した落葉

する側面の溝に堆積したためと推測された。これは、落石面が35°の傾きを有する4区よりも落葉が堆積しやすい傾き45°の6区において、腐朽が多く発生した原因としても考えられた。

3.2 含水率

平成18年度施工の無処理丸太の含水率の平均値について、各層ごとに丸太の傾斜角かつ上下の部位別に表した今回の調査結果を図9に、初回調査の結果を図10に示す。

含水率の平均値も、目視による腐朽度合いが高かった傾き45°の6区のB層の丸太下部において特に高い値を示した。この箇所では20%から60%まで、測定値のばらつきも大きかった。これ以外の層では、A層下部の丸太の含水率が若干上昇している他は、初回調査の値とほぼ同じか若干低下していた。

傾き35°の4区の丸太においても、B層の丸太の下部が一番高い値を示した。B層以外の丸太は乾燥が進行し、含水率は15%前後に低下したが、B層丸太の含水率は、初回調査時とほとんど変化はなく、20%以上の値を示した。

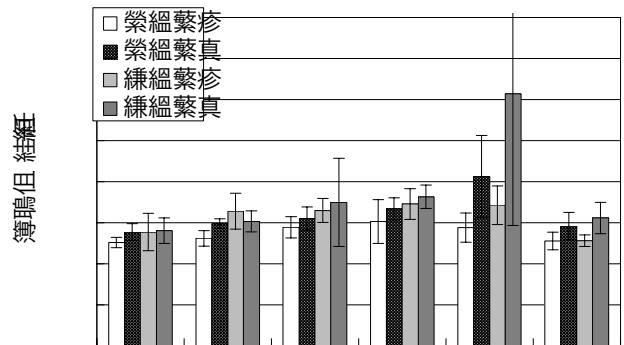


図9 平成18年度施工のスギ無処理丸太における傾斜角と上下部位別の含水率（平成21年10月調査時点）

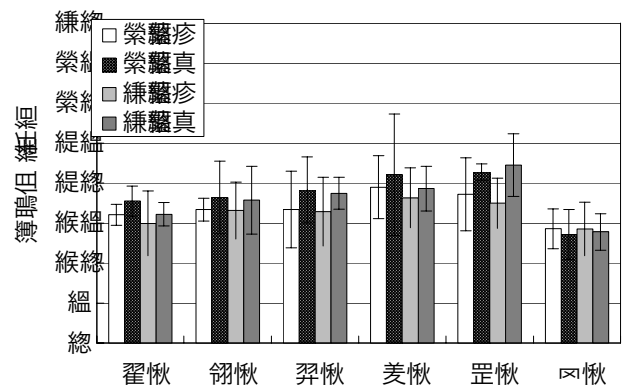


図10 平成18年度施工のスギ無処理丸太における傾斜角と上下部位別の含水率（平成19年9月調査時点）

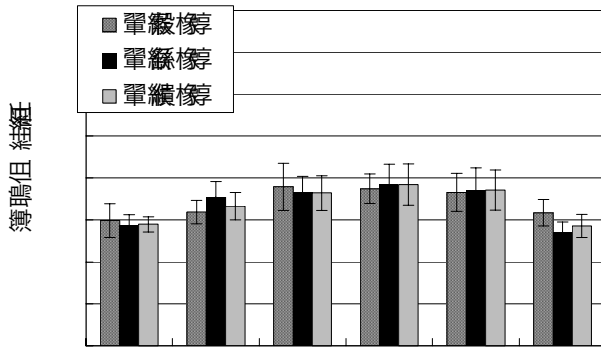


図11 各年度に施工されたスギ処理丸太の層別含水率 (平成21年10月調査時点)

丸太の上下の位置で見ると、初回調査時と同様、各層とも丸太の下部のほうが含水率は高い傾向にあった。B層以外の丸太の含水率は、傾斜の違いによる一定の差は認められなかった。

図10に示すように、初回調査時から45°、35°傾斜の丸太ともB層とC層の含水率は高かったことから、この箇所の丸太は当初より湿潤状態に保たれていたと推測される。そこへ、A層丸太のおもて面から腐朽菌の胞子が雨水とともに侵入することにより、B層おもて面とそれに接するA層裏面から腐朽が発生したものと推測された。

今回の測定はF層以外の層は丸太のおもて面で行ったため、上記測定値にA層腐朽箇所の含水率は反映されなかった。処理丸太の含水率は、図11に示すように、施工年度による差がほとんどなくなり、外層部と内層部の差も縮小していた。

3.3 P値

平成18年度施工の無処理丸太のP値の平均値について、丸太の傾斜角かつ上下の部位別に表した今回の調査結果を図12に、同様に初回調査の結果を図13に示す。

P値についても、今回の調査では含水率の結果と同様、腐朽が進行していた傾斜角45°のB層丸太のおもて面下部で大きな値を示した。初期調査時と比較して、平均値は約5mm上昇しており、腐朽の進行がピロディンの測定結果からもうかがえた。個々の測定値も、健全材と変わらない値のものからピロディンの測定限界の40mmに達するものまで大きなばらつきを示した。一方、この他の条件では、初回調査、今回の調査とも、層別、傾斜角別、上下の部位別にみてP値に明らかな差は認められなかった。

含水率と同様、P値の測定もF層以外は丸太のおもて面で行ったため、上記測定値にA層腐朽箇所の値は反映されなかった。処理丸太のP値の平均値は、すべての施

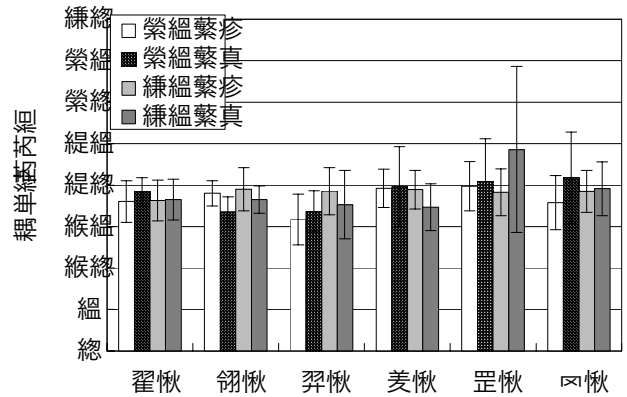


図12 平成18年度施工のスギ無処理丸太における傾斜角と上下部位別のP値 (平成21年10月調査時点)

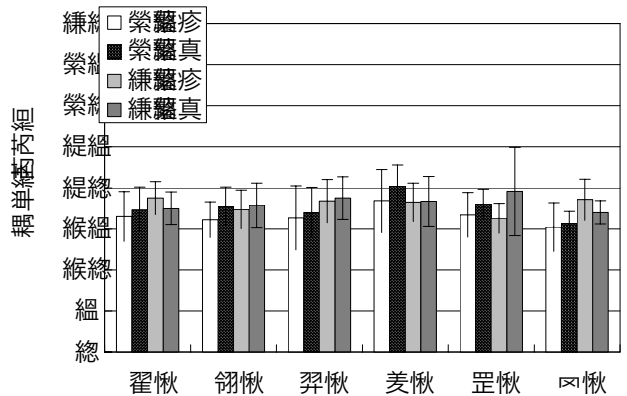


図13 平成18年度施工のスギ無処理丸太における傾斜角と上下部位別のP値 (平成19年9月調査時点)

工年度において、初回調査時とほとんど変化はなく、劣化の兆候は認められなかった。また含水率にみられたような6層中の丸太の位置による明らかな差は認められなかった。

3.4 レジストグラフの波形

今回測定対象とした丸太および測定箇所においては、腐朽またはその他の劣化を示す波形は認められなかった。測定箇所に存在した腐朽がごく軽微なものであったか、測定したA層の丸太に存在した顕著な腐朽箇所が丸太の側面であったためと考えられた。

3.5 木材腐朽菌の種の特定

単離された木材腐朽菌は、DNA分析により *Trametes versicolor* (イドタケ科オガサワハラハリヒラタケ) と同定された。国際塩基配列データベース (GenBank/DDBJ/EMBL) に登録されている複数の菌株との相率は、99.0%以上であった。

オガサワラハリヒラタケは褐色腐朽菌で、建築物の腐朽菌としても知られている。

4. おわりに

今回の調査時点で、処理丸太については施工年度により約2年6ヶ月から約5年、無処理丸太については施工後約2年6ヶ月経過している。処理丸太に腐朽は発生していなかったが、無処理丸太は一部で腐朽が進行し始めていた。これらの腐朽が発生した丸太は、初回調査時にすでに含水率が高く、注目すべき丸太であった。次回調査時には腐朽がかなり進行すると予測されることから、腐朽の発生した丸太を中心に、レジストグラフによる内部の腐朽状況の観測を強化する予定である。

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朽性（第1報）. 奈良県森技セ研報. **37**, 43-47 (2008)
- 2) 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インの貫入深さと材の破壊範囲. 奈良県森技セ研報. **36**, 27-36 (2007)
- 3) 増田勝則ほか：落石防護柵の緩衝材として利用された間伐材の劣化調査. 日本木材学会第4回木質科学シンポジウム「土木分野における木材利用の復興」要旨集. 28-29 (2009)

(2011年1月12日受理)