保存処理した木柵の野外暴露試験 —メンテナンスによる耐久性向上効果の検証—^{*1}

安田 淳一^{*2}, 須貝与志明^{*2}, 北田 正司^{*2}, 有馬 孝禮^{*3},
荒武 志朗^{*4}, 岩崎 新二^{*4}, 上杉 基^{*3}

1. はじめに

屋外で使用される木材は、使用される用途や環境に基づく物理的な劣化、木材腐朽菌・シロアリ等による生物劣化に晒されている。これらの劣化のうち、特に生物劣化に着目してメンテナンスについて検討を行った。

生物劣化を防ぐには、長期間利用できる性能を確保するため、木材保存剤による加圧注入処理が有効である。しかし、保存処理した木材であったとしても、横木においては干割れにより薬剤未浸潤部分が露出し、雨水が侵入することで腐朽が生じる事例や、柱においては地際部分で水分と酸素が常時供給され、土壌に生息する細菌類による木材保存剤の分解¹⁾、または物理的な溶脱により薬剤吸収量が損耗し、最終的には腐朽が生じる事例が報告されている。

そのような事例を抑制するために、適切な期間に応じた木材保存剤による塗布処理・スプレー処理によるメンテナンスが効果的ではないかと考えられる。

そこで我々は、上記の現状を鑑み、有効なメンテナンスの基準を設定する上でのデータを取得することを目的とし、①加圧注入処理材の干割れ部分の塗布剤付加処理、②地際部分の塗布剤付加処理の2点に着目した。

この塗布処理について加圧注入処理材の耐用年数延長に及ぼす影響、また、実施する頻度・期間との組合せから、メンテナンスの有効性を調査することとした。

本研究では、木柵における屋外暴露試験の5年経過時までの調査結果を報告する。

2. 材料と方法

2.1 試験地

試験地は宮崎県木材利用技術センターの暴露試験地（宮崎県都城市花繰町20，図1）において、木柵を想定して設置した。試験地はかつて稲作圃場であったことから土壌水分が多く、シロアリの存在は現在まで確認されていない²⁾。

図1 暴露試験地

*1 本研究の一部は第61回日本木材学会大会（2011年3月，京都）および，第27回日本木材保存協会年次大会（2011年5月，東京）において発表した。

*2 株式会社ザイエンス

*3 前・宮崎県木材利用技術センター

*4 宮崎県木材利用技術センター

Corresponding author: Junichi Yasuda (j-yasuda@xyence.co.jp)

2.2 材料

試験体は直径が90mm、長さが1,500mmの宮崎県産スギ材で、材面をロータリー加工で仕上げ、JIS A 9002:2005「木質材料の加圧式保存処理方法」に準じて加圧注入処理を行った。

使用した木材保存剤はJIS K 1570に規定されているAAC-1（第四級アンモニウム化合物系）、CUAZ（銅・アゾール化合物系）、NCU-O（ナフテン酸銅塩系）の3種類とした。

試験体の半数は水平部材として用い、干割れを想定して注入処理後に背割加工（深さ45mm）を施した。対照材として無処理材を加え、各処理材および無処理材の繰返し数は水平部材を6本、垂直部材を7本とした（図2）。

また、屋外暴露による塗布剤の薬剤残存量を経時的に把握するため、直径が90mm、長さが250mmの分析用試験体（無処理材のみ）も同時に作成した（図3）。

図2 試験体設置図

図3 分析用試験体

図4 水平部材のメンテナンス

図5 垂直部材のメンテナンス

2.3 メンテナンス方法

最適なメンテナンス方法を検討するため、木柵における①水平部材・背割加工部分をスプレーによる処理、②垂直部材・地際部分を刷毛による処理の2箇所です塗布処理を行った（図4、5）。

塗布処理用の木材保存剤として、木材保存剤A（主成分：ナフテン酸亜鉛，Znとして3%）、木材保存剤B（主成分：ナフテン酸銅，クレオソート油，Cuとして3%）の2種類とした。木材保存剤Bについては、クレオソート油に含まれるベンゾピレン等の有害物質を家庭用品規制法で指定されている濃度基準以下に設定してある。

なお、劣化状況が厳しいとされる地際部分のメンテナンスには、それを想定して開発した木材保存剤Bのみとした。

メンテナンスの頻度及び期間は、①全く実施しない試験体、②設置時及び1年目の計2回実施する試験体、③設置時及び1年目に加え3年毎の複数回実施する試験体の3区分で計画していたが、③における4年目は天候の都合により5年目に変更した。

また、分析用試験体は塗布処理を1回のみ（設置時）とした。

2.4 調査方法

評価方法は、目視による被害度評価と打撃音による非破壊定量的評価の2方法で行った。

目視被害度は測定箇所を規定して、垂直部材は①頭頂部、②地際部（GLから10cm地中を測定）とし、水平部材は③背割内部、④背割内部以外の

材表面の4箇所として、森林総合研究所の基準に沿った6段階評価法に基づき調査した³⁾。但し、試験体は全面又は部分的に心材露出しているものも含まれているため、全断面で評価することとした（表1）。測定は設置後1年、2年、4年、5年で実施した。

表1 被害度の評価基準

被害度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の虫害または腐朽
2	全面的に軽度の虫害または腐朽
3	2の状態のうえに部分的に激しい虫害または腐朽
4	全面的に激しい虫害または腐朽
5	虫害または腐朽により形が崩れる

打撃音分析による評価は、共同研究先の宮崎県木材利用技術センター主体で継続して実施している。この方法は木口面をハンマーによって打撃し、発生する音の周波数をFFT（Fast Fourier Transform：高速フーリエ変換）スペクトルアナライザーにより測定することで、得られた固有振動数と重量からヤング係数を算出する方法である⁴⁾。また、この方法は本試験のように、丸太の振動が拘束された条件下であっても、3次以上の固有振動数を用いることで、製材品の強度及び静的ヤング係数の簡易な強度等級区分を可能にする方法として報告されている⁵⁾。本研究では、固有振動数を木材劣化の評価に適用して、設置時、設置後1年、3年、4年、5年で実施した。

2.5 吸収量試験

2.3と同様に水平部材の背割部分に設置時のみ木材保存剤A及びBを処理して、約5年経過した分析用試験体を回収した。

回収した試験体を木口面から背割加工に沿って縦割りし、背割内部の表面を1mmほどノミ工具でサンプリングした。この分析用試料片をミキサーで木粉化し、全量（約5g）に濃硫酸2ml、濃硝酸2ml添加し、過酸化水素水を適宜添加して、320℃の砂浴上で湿式分解した。分解が終了した試料をペーパーフィルター（5C，0.12mg/circle）で濾過した後、脱イオン水で100mlにメスアップした。この希釈した試料を1ml採取し、さらに脱イオン水で100mlにメスアップし、分析試料（木材保存剤A塗布材はZn，木材保存剤B

塗布材は Cu を分析) とした。

ICP 分析の条件は下記の通りである。

測定装置：ICP 発光分析装置
(HITACHI P-4000)

[プラズマ条件]

高周波出力：1.0 Kw
プラズマガス (Ar)：16.0 L/min
キャリアガス (Ar)：0.7 L/min
補助ガス (Ar)：1.0 L/min

[装置条件]

積分時間：5 secs
試料繰り返し回数：3 times

3. 結果と考察

3.1 垂直部材

3.1.1 地際部

垂直部材の地際部についてメンテナンス未実施の試験体では、CUAZ 及び NCU-O 処理材では全て無被害であったが、AAC-1 処理材は5年経過時の平均被害度が0.8、無注入材では3.0と耐用年数を超過していた(図6)。また、無注入材の腐朽箇所で試験地に生育する植物根が入り込んでいることも観察された(図7)。

しかし、木材保存剤 B によりメンテナンスを実施した試験体は、無注入材を含めてほぼ無被害であることから、設置時及び設置後1年目の塗布処理によるメンテナンス効果が確認された(図6, 8)。

3.1.2 頭頂部

頭頂部についてはメンテナンスを実施していないため、その効果は確認できなかった。被害度としては加圧注入処理材では全く認められず、無注入材では4年目から太陽光、降雨等の影響により

図6 垂直部材・地際部の被害経過

図7 無注入メンテナンス未実施材

図8 無注入メンテナンス実施材

図9 無注入材

図10 NCU-O 処理材

図11 垂直部材・頭頂部の被害経過

割れが発生し、割れ内部の劣化が見られ始めていた。5年経過時では、触診により簡単に崩壊するほど割れ内部の腐朽が進行し、平均被害度は2.0であった（図9、10、11）。

3.2 水平部材

3.2.1 背割内部

無注入材は平均被害度が0.7であったが、その他の加圧注入処理材及びメンテナンスを実施した無注入材では全て無被害であった。無注入材であってもメンテナンスにより無被害であることから、干割れ部分へ処理することで腐朽を防ぐことができるかと期待される結果を得た（図12）。

3.2.2 背割加工部以外の材表面

3.2.1と同様、無注入材では平均被害度が1.3であり、その他の加圧注入処理材では全て無被害であった（図12）。

本実験では背割加工部分にのみメンテナンスを実施しているが、興味ある点として、背割加工部にメンテナンスを実施していない試験体の材表面は被害が確認され、背割加工部にメンテナンスを実施した試験体は無被害であった。

この被害度差の要因として、水分及び酸素が充分確保された背割加工部分では腐朽菌の温床となり、そこから木材内部へと侵食し、材表面まで影響した可能性が示唆された。背割加工部にメンテナンスを実施しなかった一部の無注入材において、ツノマタタケ (*Guepinia spathularia* (Schw.: Fr.)) と思われる子実体が観察された。

3.3 打撃音分析

各試験体の設置前の固有振動数初期値に対する経過時（1年、3年、4年、5年）の測定値との比率平均値グラフを図13に示した。水平部材と比

図12 水平部材の被害経過

較して垂直部材は比率低下の傾向が大きく、メンテナンス未実施の無注入材では1年目から低下が示された²⁾。

3.4 打撃音分析及目視被害度との関連性

打撃音分析及目視被害度で劣化傾向が一番高かったメンテナンスを実施していない無注入材について、両指標の関連性グラフを図14に示した。

経過年数により被害度が上昇するに従い、初期固有振動数に対する比率低下が示され、5年目までの当該材では関連性があるという可能性が示された。しかし、加圧注入処理材及びメンテナンス実施材の被害度上昇はほとんど観察されておらず、関連性を示すにはこれら試験体を含めて示す必要がある。

※複数回メンテナンス予定の試験体

図13 初期測定値に対する各経過年数の測定値の比率

図14 打撃音分析と目視被害度との関連性

3.5 吸収量試験結果

分析結果を表2に示した。いずれの試験体も5年間の暴露により、理論値と比較してCu, Znともに検出量は極微量（回収率：数%）であり、屋外環境による様々な影響で残存薬剤量が低下していることを確認した。

表2 分析結果

木材保存剤	供試体 No.	薬剤塗布量 g/m ²	5年経過試料測定値	
			回収量 mg	対理論値%
木材保存剤 A (3% Zn 含有)	1	95.0	4.0	1.51
	2	92.2	1.0	0.39
木材保存剤 B (3% Cu 含有)	1	75.2	5.2	2.47
	2	117.3	6.9	2.10

対理論値%：塗布量から算出した各分析薬剤量に対して5年目の測定値から算出した回収率

4. 結論

宮崎県木材利用技術センターの暴露試験地にて木柵の野外暴露試験を5年間にわたって行った結果、メンテナンス未実施である無注入材において垂直部材および水平部材ともに4年目から腐朽が進行していることが目視で確認された。一方、メンテナンスを実施した無注入材および加圧注入処理材（メンテナンス未実施も含む）は腐朽がほとんど確認されなかった。

目視以外での評価方法として採用した打撃音に

よる評価では、メンテナンス未実施である垂直部材の無注入材では、目視被害度よりも早期である2年目から初期固有振動数に対する固有振動数の低下が確認された。

現段階では5年経過時という、短い期間のため、残念ながら耐久性向上に関する十分な情報が得られていない。しかしながら、加圧注入材にメンテナンス用の木材保存剤を定期的に付加処理する方法の有効性が本報告では確認された。今後どの程度まで耐用年数延長効果が期待できるのかについて、情報を蓄積しながらさらなるメンテナンスの有効性の検証を継続調査していきたい。

引用文献

- 1) Nishihara, T., Okamoto, T. and Nishiyama, N.: Biodegradation of didecyltrimethylammonium chloride by *Pseudomonas fluorescens* TN4 isolated from activated sludge, *Journal of Applied Microbiology*, **88**, 641-647 (2000).
- 2) 有馬孝禮, 上杉基, 岩崎新二, 荒武志朗: 第61回日本木材学会大会要旨 (2011).
- 3) 雨宮昭二: 林業試験場研究報告, **150**, 143-156 (1963).
- 4) 岩井哲, 大林眞: 広島工業大学紀要教育編第6巻, 15-18 (2007).
- 5) 荒武志朗, 有馬孝禮, 迫田忠芳, 持永和郎, 久保国弘: 特開平7-103945 (1995).
(2011.7.29受付)