

熱処理条件および無水マレイン酸の添加が野外耐久性に及ぼす影響

岩本頼子・酒井温子・増田勝則\*<sup>1</sup>・伊藤貴文\*<sup>2</sup>

減圧条件下での熱処理木材と MA 処理木材、ならびに、窒素雰囲気下での熱処理木材について、JIS K 1571 : 2010 に準拠した野外防腐性能試験を、奈良県森林技術センター明日香実験林において実施した。

無処理杭、減圧条件下での 180°C 処理杭は、2.1~2.6 年で耐用年数を迎えたが、窒素雰囲気下での 180°C 処理杭の耐用年数は 4.5 年であり、処理槽内の雰囲気の違いにより、熱処理木材の耐朽性に差が生じることが確認された。

また、減圧条件下で、処理温度を 180°C 一定として MA を添加して処理した場合、地際部の耐用年数は 7.8 年~10.3 年となり、JIS K 1571 : 2010 に定める防腐性能基準（耐朽比 3）を満たすと判定された。

一方、窒素雰囲気下で、処理温度を 180°C より高めて熱処理した場合、200°C 処理では地際部の耐用年数が 6.3 年となり防腐性能基準（耐朽比 3）を満たした。さらに、220°C、240°C 処理では 16 年経過時においても耐用年数に至らず、処理温度によって、防腐性能に大きな差があることが確認された。

1. はじめに

木材を屋外で使用する際には、長期間の安全な供用を期待して、耐朽性の高い木材、あるいは木材保存剤を加圧注入処理した木材が選ばれることが多いが、近年、寸法安定性や耐朽性等の材質を改善させた種々の化学処理木材や、熱処理木材<sup>1,2)</sup>も使用されるようになってきた。

これまで、著者らは、木材の化学処理法の 1 つとして、無水マレイン酸（以下 MA と略す）による気相処理について、一連の研究を行ってきた<sup>3-8)</sup>。そのなかで、実際の自然環境下における耐久性を評価するため、減圧条件下において 180°C の熱処理、および MA 気相処理を施した杭試験体について、奈良県森林技術センター明日香実験林において、15 年間の野外試験を実施してきた。また、熱処理木材の 1 つである、エステックウッドについても、その耐朽性や、耐蟻性等の評価を行っており<sup>9,10)</sup>、窒素雰囲気下において 180°C~240°C の熱処理を施した杭試験体について、同試験地において、16 年間の野外試験を実施してきた。

そこで、本報では、それらの長期間の野外試験調査データから、熱処理を実施する際の処理槽内の雰囲気、処理温度、および MA の添加が処理木材の野外耐久性に及ぼす影響について、得られた知見を報告する。

2. 材料と方法

2.1 材料

2.1.1 減圧条件下での熱処理木材と MA 処理木材

杭試験体はスギ辺材から作製した。木口面が 29×29mm、繊維方向が 1600mm 以上の材料から繊維方向に連続して 400mm の杭試験体を 4 体ずつ採取し、それぞれに対して、表 1 に示す処理条件により、添加する MA と木材の重量比 (MA/wood) を、7.5/100、15/100 および 30/100 とした気相反応処理を施すとともに、MA 処理の効果を確認するために、MA を使用せずに減圧条件下での熱処理 (0/100) を施した。

表 1 杭試験体の MA 処理条件と諸性質

MA/wood <sup>*1</sup>	conc. <sup>*2</sup> (mol l <sup>-1</sup> )	P <sup>*3</sup> (hPa)	MC <sup>*4</sup> (%)	WPG <sup>*5</sup> (%)	B <sup>*6</sup> (%)
0/100 <sup>*7</sup>	0	0	0	-1.5	-0.5
7.5/100	4.46×10 <sup>-3</sup>	168	0	2.8	1.3
15/100	8.97×10 <sup>-3</sup>	338	0	7.3	3.0
30/100	17.8×10 <sup>-3</sup>	670	0	16.3	8.3

反応温度 : 180°C、反応時間 : 24 時間

\*1 杭試験体の全乾総重量に対する MA の重量比

\*2 MA が完全に気化すると仮定し、理想気体とみなした場合の濃度

\*3 MA が完全に気化すると仮定し、理想気体とみなした場合の圧力

\*4 処理に供した杭試験体の初期含水率

\*5 処理による重量増加率

\*6 処理によるバルキング率

\*7 MA を添加せず、減圧条件下での 180°C の熱処理を施した場合

気相反応処理装置(容積:90L)<sup>7)</sup>を用い、1条件あたり杭試験体を5体ずつ、2回に分けて処理を行った。90°Cまで加熱した反応槽内に、MA(和光純薬工業(株)製 特級)と全乾状態とした杭試験体を直接接触しないように入

\*1 現 奈良県 県土マネジメント部 奈良公園事務所

\*2 現 京都府立大学

れ、反応槽内を真空ポンプで排気した後、密封して減圧状態を維持したまま、反応温度 180°Cまで加熱し、24 時間反応させた。常圧に戻して放冷した後、杭試験体を取り出し、105°Cで 72 時間加熱し、未反応物を除去した。また、処理前後の重量差から重量増加率を求めるとともに、処理による木口面積の増加率からバルキング率を求めた。

以上の処理により、条件ごとに杭試験体は 10 体ずつ作製した。また、対照として同寸法の無処理のスギ辺材杭試験体 10 体を使用した。

### 2.1.2 窒素雰囲気下での熱処理木材

エステックウッド株式会社（現 江間忠ウッドベース株式会社）により、以下の方法で作製された材料を使用した。

杭試験体はスギ辺材から作製した。木口面が 35×35mm の材料を繊維方向に 5 等分し、それぞれに対して、処理温度が 180、200、220 および 240°Cの熱処理を施し、残る 1 体は無処理とした。

耐圧耐熱容器に、含水率を 10%程度に調整した気乾状態の材料を入れ、窒素置換を行った。続いて、所定の温度まで徐々に加熱して容器内の温度むらを防ぎながら 24 時間維持して処理を行った後、処理材が冷めてから容器から取り出した。

杭試験体は、表面切削により木口面が 30×30mm となるように整え、繊維方向は 300mm または 430mm とした。熱処理条件ごとに杭試験体は 16 体ずつとした。ただし、野外試験 4 年経過時、ならびに 7 年経過時に、各条件について、それぞれ 3 体ずつ抜き取り、光学顕微鏡による観察に供した<sup>9,10)</sup>。

なお、熱処理の方法や条件によって、得られる熱処理木材の性能は異なる<sup>11)</sup> ため、今回報告する試験結果は、上記の方法で作製された材料についてであることに留意されたい。

## 2.2 方法

### 2.2.1 野外試験

JIS K 1571 : 2010 「木材保存剤一性能基準及びその試験方法」 5.2 防腐性能 5.2.3 野外試験にほぼ準拠して実施した。

試験は、奈良県高市郡明日香村の奈良県森林技術センター明日香実験林で実施した。この実験林の気候条件等は別報<sup>12)</sup> を参照されたい。また、この実験林内は、ヤマトシロアリが生息しているため、杭試験体は腐朽菌と共にヤマトシロアリによる攻撃を受ける。このため、被害度の調査基準は、表 2 に示すように、腐朽と虫害を元に、JIS K 1571 : 2010 に準じて 0~5 の 6 段階とした。

なお、今回使用した杭試験体の長さは、いずれも JIS K 1571 に定める 600mm よりも短かった。そのため、MA 処理杭、および、減圧条件下での 180°C熱処理杭については、杭試験体の長さ 400mm のうち、頂部から 100mm までを地上に出して、残り 300mm を土壌に埋め込んだ。一方、窒素雰囲気下での熱処理杭については、杭試験体の長さ (300mm または 430mm) の半分までを土壌に埋め込んだ。

表 2 被害度調査基準

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くずれる

### 2.2.2 光学顕微鏡による観察

設置後 16 年経過した 220°C処理杭のうち、激しい劣化がみられた杭の、頂部および底部から切片を切り出し、光学顕微鏡による観察を実施した。その際、観察される微生物と細胞壁の分解の様子に着目した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 処理槽内の雰囲気処理効果が処理効果に及ぼす影響

図 1 に、処理槽内の雰囲気を、減圧条件下または窒素雰囲気下として、180°Cで 24 時間処理した熱処理杭について、被害度の推移を示した<sup>8,10)</sup>。杭試験体のいずれの部位においても、減圧条件下で処理した場合は、その対照として設置した無処理杭（無処理-1）と同等、あるいは、それよりも被害の進行が速かった。一方、窒素雰囲気下で処理した場合は、その対照である無処理杭（無処理-2）よりも被害の進行が遅く、処理による耐朽性の向上がみられた。JIS K 1571 に準じて、地際部の平均被害度が 2.5 となる年を耐用年数と定義すると、表 3 に示すとおり、無処理杭、減圧条件下での熱処理杭は、2.1~2.6 年で耐用年数を迎えたが、窒素雰囲気下での熱処理杭の耐用年数は 4.5 年であった<sup>8,10)</sup>。同じ処理温度で熱処理した場合であっても、処理槽内の雰囲気の違いにより、処理木材の耐朽性に差が生じることがわかった。

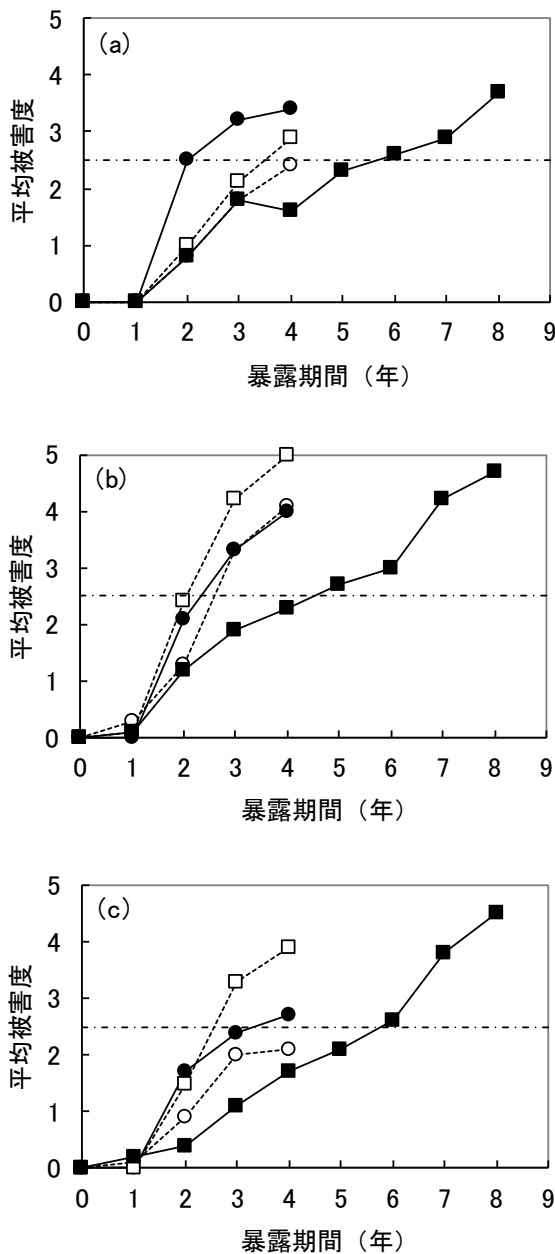


図1 処理槽内の雰囲気異なる熱処理木材の被害経過 (明日香実験林) (a) 頂部, (b) 地際部, (c) 底部  
 ○: 無処理-1、●: 減圧条件下 (180°C)  
 □: 無処理-2、■: 窒素雰囲気下 (180°C)  
 注: 試験地にはヤマトシロアリが生息しており、被害度は腐朽と虫害を総合して評価している。調査基準は表2のとおり。

JIS K 1571 : 2010 では、木材保存剤が加圧注入された杭について、野外試験における耐用年数が無処理杭の3倍以上の場合に、その薬剤は防腐性能基準を満たすと定義されている。今回供試した杭試験体は、木材保存剤で処理されたものではないが、この基準に準じて評価すると、耐用年数と耐朽比は表3のとおりとなり、減圧条件下よりも処理効果の高い窒素雰囲気下であっても、180°C

の熱処理では防腐性能基準を満たすような耐朽性は得られない<sup>9)</sup>。熱処理木材は、養分が豊富で菌の活性が高い場所では容易に分解されるため、接地条件での使用は薦められないという報告もあるが<sup>13,14)</sup>、熱処理の方法や条件によって、得られる熱処理木材の性能は異なる<sup>11)</sup>という報告もある。

そこで、次節以降は、減圧条件下で処理温度を 180°C一定として MA を添加、すなわち、MA 気相処理を施した場合、および、窒素雰囲気下で処理温度を 180°Cより高めて熱処理した場合について、それぞれの野外試験の結果について報告する。

表3 処理槽の雰囲気が異なる熱処理杭試験体の耐用年数と耐朽比(地際部)

杭試験体	耐用年数 (年)	耐朽比
① 無処理-1 (②の対照材)	2.6	—
② 減圧条件下での熱処理	2.3	0.9
③ 無処理-2 (④の対照材)	2.1	—
④ 窒素雰囲気下での熱処理	4.5	2.1

処理温度 : 180°C、処理時間 : 24 時間

### 3.2 減圧条件下での MA 処理木材

図2に、減圧条件下で、処理温度を 180°C一定として MA を添加した、MA 処理杭について、15年間の被害度の推移を示した。当試験地のように、湿潤な土壤に埋設された杭試験体では、杭の底部の被害が遅れる傾向にあり、地際部の被害が顕著となる<sup>15)</sup>。また、杭試験体は草で覆われると、湿度の高い状態が続きやすく、地上部の劣化が早くなる傾向にある<sup>12)</sup>。今回も同様の傾向が認められ、地際部での劣化が最も顕著であった。既報<sup>8)</sup>および前節で述べたとおり、無処理杭の耐用年数は 2.6 年、MA を使用せずに 180°Cの熱処理のみを施した杭 (0/100) は 2.3 年であった。それに対して、MA 処理杭は処理濃度の上昇に伴い、耐用年数が 7.8 年、9.8 年、10.3 年と増加した。当試験地では、各種の木材保存剤を加圧注入したスギ辺材杭についても、同様に接地暴露を行い被害経過や耐用年数を報告してきたが、JIS K 1570「木材保存剤」に記載のある薬剤を使って、製材の JAS に示される K3 や K4 に該当する処理を行った試験体の中には、当試験地における耐用年数が 10 年前後のものもある<sup>16,17)</sup>。今回供試した MA 処理杭は、それらに匹敵する野外耐久性を有するといえる。

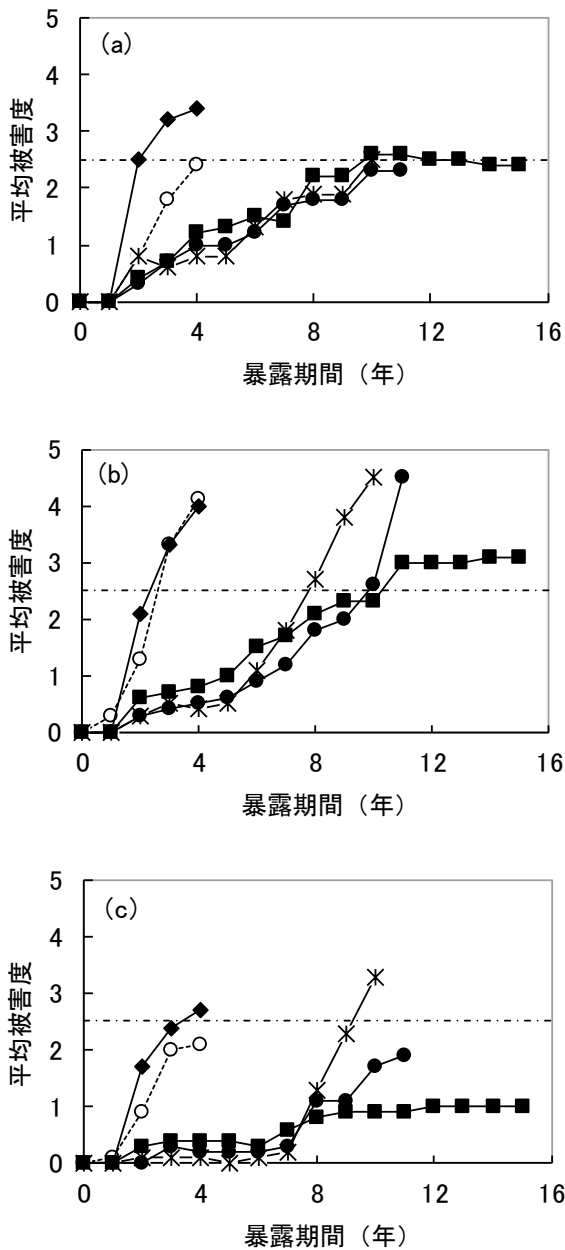


図2 MA処理木材の被害経過（明日香実験林）  
 (a) 頂部, (b) 地際部, (c) 底部  
 ○：無処理、◆：0/100、\*：7.5/100、●：15/100、■：30/100  
 注：図1に同じ

さらに、JIS K 1571：2010 に定められた木材保存剤の防腐性能基準に準じて MA 処理を評価すると、耐用年数と耐朽比は表 4 のとおりとなり、MA/wood が 7.5/100 以上の MA 処理杭は、耐朽比 3 以上の防腐性能を有すると判定された。このように MA を添加することで、180℃ の処理でも、高い耐朽性が得られることがわかった。

また、MA/wood が 7.5/100、15/100 の MA 処理杭については、それぞれ 10 年、11 年で、そのほとんどが地際部で激しく崩壊し、野外試験を終了したが、30/100 で処

理した場合については、15 年経過時においても、ヤマトシロアリによる食害痕や、地際部の早材部が落ち込む様子がみられるものの、10 体中 5 体の杭試験体が残存していた（図 3）。なお、残存する 5 体の杭の処理による重量増加率の平均値は 16.7%、バルキング率の平均値は 7.9%であり、既に試験を終了した 5 体に比べて、それらの値が特に高いわけではなかった。なぜ、このような差が生じたのか、原因は不明である。

表 4 MA 処理杭試験体の耐用年数と耐朽比（地際部）

杭試験体	耐用年数 (年)	耐朽比	備考	
無処理	2.6	—		
減圧条件下での MA 処理	0/100*	2.3	0.9	
	7.5/100	7.8	3.0	防腐性能基準を満たす
MA 処理	15/100	9.8	3.8	防腐性能基準を満たす
	30/100	10.3	4.0	防腐性能基準を満たす

\* MA を添加せず、減圧条件下で 180℃ の熱処理を施した場合。



図3 明日香実験林において設置後 15 年経過した MA 処理杭（残存分）  
 MA/wood：30/100

### 3.3 窒素雰囲気下での熱処理木材

図 4 に窒素雰囲気下で処理温度を 180～240℃とした熱処理杭について、被害度の推移を示した。また、図 5 に、16 年経過時の杭試験体の様子を示した。

まず、地際部については、既報<sup>10)</sup> および前節で報告したとおり、無処理杭の耐用年数は設置後 3 年までに、地際部の平均被害度が 2.5 を超え、耐用年数を迎えた。また、180℃および 200℃処理杭では、設置後 7 年までに地際部の平均被害度は 4.2 および 2.7 となり、無処理杭に比べると生物劣化の進行は遅れたものの、最終的には杭の内部まで腐朽が進み耐用年数を迎えた。これに対して、

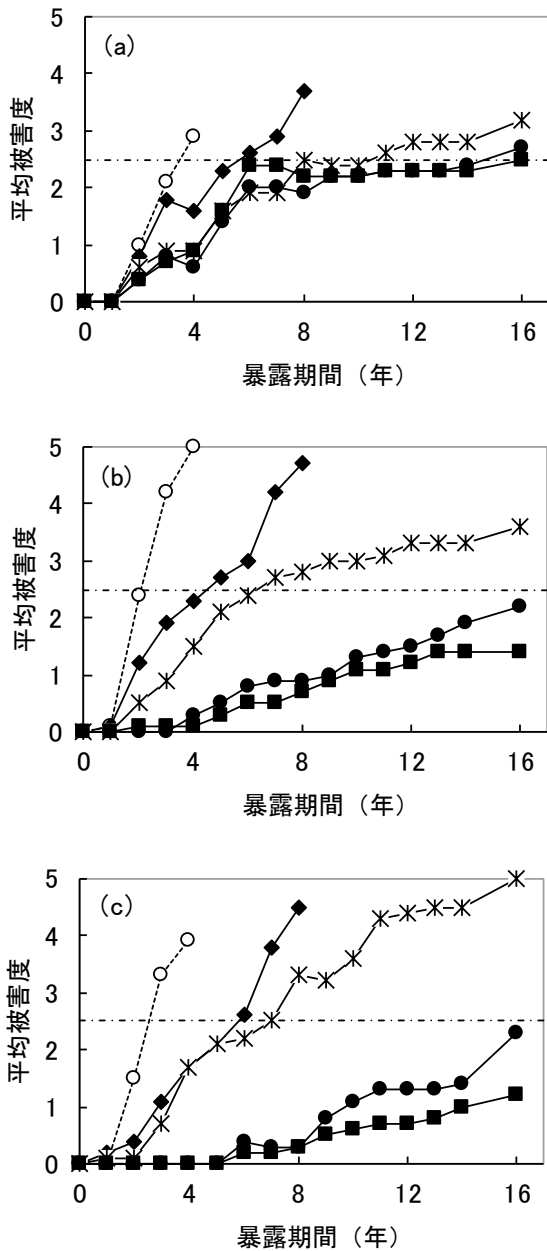


図4 熱処理木材の被害経過 (明日香実験林)  
 (a) 頂部, (b) 地際部, (c) 底部  
 ○: 無処理、◆: 180°C、\*: 200°C、  
 ●: 220°C、■: 240°C  
 注: 図1に同じ

220°Cおよび240°C処理杭では、7年経過時に平均被害度は0.9および0.5であり、耐用年数は10年を越えると予想されていた<sup>10)</sup>が、16年経過時の平均被害度は2.2および1.4となり、耐用年数は16年を超えることがわかった。また、JISK 1571: 2010に定められた木材保存剤の防腐性能基準に準じて熱処理木材を評価すると、耐朽比は表5のとおりとなり、200°C以上で耐朽比3以上の基準を満たすとはいえ、200°C処理と220°C処理、240°C処理では、その防腐性能に大差があることが確認された。さら

表5 熱処理杭試験体の耐用年数と耐朽比 (地際部)

杭試験体	耐用年数 (年)	耐朽比	備考	
無処理	2.1	—		
窒素雰囲気下での熱処理	180°C	4.5	2.1	
	200°C	6.3	3.0	防腐性能基準を満たす
	220°C	16.0以上	7.6以上	防腐性能基準を満たす
	240°C	16.0以上	7.6以上	防腐性能基準を満たす

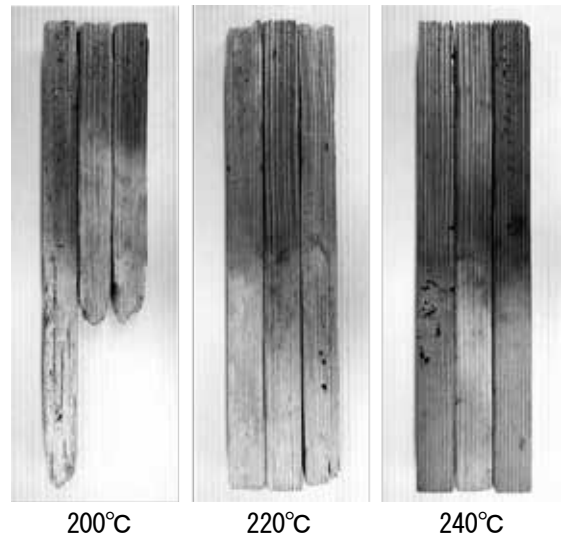


図5 明日香実験林において設置後16年経過した熱処理杭

に、220°C処理杭は、16年で概ね耐用年数を迎つつあるが、240°C処理杭は、被害度が1.4と小さいことから、さらに長期の耐用年数が期待できる。

一方、頂部については、無処理杭と180°C処理杭で被害の進行がやや速かったが、それ以外は、処理温度による被害度の差はなかった。既報<sup>10)</sup>で報告したとおり、被害の主因は虫害と思われる小さな孔で、頂部の木口面および側面に直径1mm程度の孔が複数存在した。さらに、年経過と共に、試験体の頂部の木口面において早材部の落ち込みが顕著となり、頂部の角が欠ける等、いわゆる目やせや風化が見られた。さらに、16年経過時には220°C処理であっても、一部の試験体においては、図6に示すような激しい劣化(白矢印)が見られた。劣化部分から、木口面の切片を切り出し、光学顕微鏡により観察した結果、図7に示すように、木材腐朽菌等による細胞壁の分解痕が見られた。既報では、培養瓶内での腐朽試験結果<sup>9)</sup>、ならびに、7年経過時の地際部の光学顕微鏡による観察結果<sup>10)</sup>から、220°C以上の熱処理木材では、腐朽は極めて進行しにくいと報告されていたが、さらに9年間、暴露を継続することにより220°C処理では部分的に激しい生物劣化が確認された。しかしながら、240°C処理では、

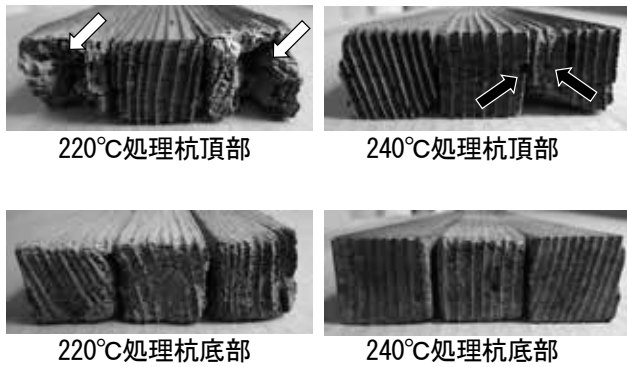


図6 設置後16年経過した熱処理杭の頂部および底部の様子

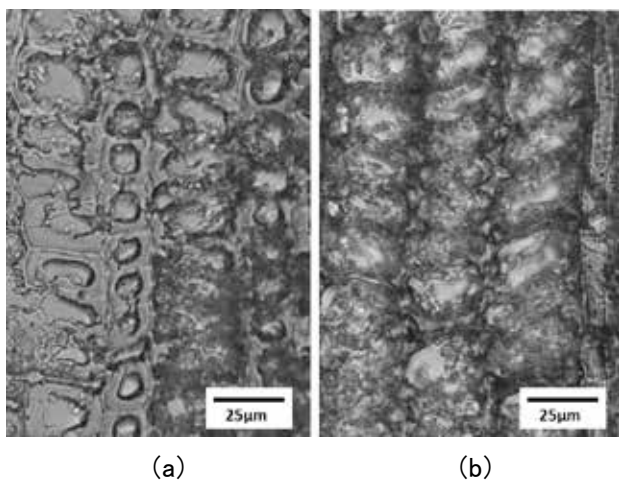


図7 設置後16年経過した220°C処理杭に見られた分解痕

- (a) 頂部の劣化部位(木口面)  
木材腐朽菌等による細胞壁の分解
- (b) 底部の劣化部位(木口面)  
木材腐朽菌等による細胞壁の分解

図6に示すような虫害と思われる孔(黒矢印)や、落ち込んだ早材部に軟化がみられるものの、生物劣化による欠損は少なく、杭試験体の形状は概ね維持されていた。

また、底部については、図4に示すように、地際部と同様の被害経過を示した。180°Cおよび200°C処理杭では、設置後7年までに底部の平均被害度は3.8および2.5となり耐用年数を迎えたのに対して、220°Cおよび240°C処理杭では、16年経過時において、平均被害度は2.3および1.2であった。図6に示すように、240°C処理よりも220°C処理の方が、劣化が進行している様子がみられ、図7に示すように、木材腐朽菌等による細胞壁の分解痕が見られた。

熱処理によって、ヘミセルロースの分解とセルロース結晶化度の増加、リグニンの解重合と再結合といった木材構成成分の変性が生じ、木材腐朽菌が分解しにくい構

造(結晶化セルロースやリグニン(様)化合物)を形成することが耐朽性向上に寄与すると報告されている<sup>13)</sup>が、それらの形成物が、長期間の自然界暴露、すなわち日光の照射や風雨による乾湿くりかえし等により、木材腐朽菌が分解しやすい構造に徐々に変化する可能性もあると考えられる。

#### 4. まとめ

減圧条件下での熱処理木材とMA処理木材、ならびに窒素雰囲気下での熱処理木材について15~16年の野外試験を行い、それぞれの調査データから、熱処理を実施する際の処理槽内の雰囲気、処理温度、およびMAの添加が処理木材の野外耐久性に及ぼす影響について考察した。

その結果、無処理杭、減圧条件下での180°C処理杭は、2.1~2.6年で耐用年数を迎えたが、窒素雰囲気下での180°C処理杭の耐用年数は4.5年であり、同じ処理温度で熱処理した場合であっても、処理槽内の雰囲気の違いにより、処理木材の耐朽性に差が生じることが確認された。

また、減圧条件下で、処理温度を180°C一定として、添加するMAと木材の重量比(MA/wood)を、7.5/100~30/100としてMA処理した場合、地際部の耐用年数は7.8年~10.3年となり、7.5/100であっても耐朽比3以上の防汚性能を有すると判定された。熱処理のみで耐朽性を付与するには、窒素雰囲気下で熱処理をした場合に200°Cを超える温度が必要であるが、MAを添加することで、180°Cの処理でも、それと同等の耐朽性が得られることがわかった。

一方、窒素雰囲気下で、処理温度を180°Cより高めて熱処理した場合、200°C処理では地際部の耐用年数が6.3年であるのに対し、220°C、240°C処理では、16年経過時においても耐用年数に至らず、処理温度によって防汚性能に大きな差があることが確認された。さらに、220°C処理杭は、16年で概ね耐用年数を迎つつあるが、240°C処理杭は、被害度が1.4と小さいことから、さらに長期の耐用年数が期待できる。また、頂部、底部ともに240°C処理よりも220°C処理の方が、劣化が進行しており、220°C処理の劣化部位を光学顕微鏡により観察した結果、木材腐朽菌等による細胞壁の分解痕が見られた。なお、熱処理木材の野外耐久性について検討するにあたり、今回は樹種をスギ辺材に限定し、熱処理時の水分条件や熱処理の時間を一定とし、窒素雰囲気下で処理した材料を使用した。これらの条件が変われば処理木材の性能も異なることが知られている<sup>11)</sup>。また、処理温度によって

得られる木材の性能が大きく変化することから、製造時の温度管理は特に重要といえる。

### 謝 辞

熱処理木材の野外試験の遂行に際し、エステックウッド株式会社（現 江間忠ウッドベース株式会社）からエステックウッドをご提供いただきました。心より感謝いたします。

### 引用文献

- 1) 佐藤敬之：熱処理による木材の耐久性向上に関する技術開発. 木材保存. 30(6), 269-272 (2004).
- 2) 小淵義照：サーモウッド処理によるスギポーチ柱の開発. 木材保存. 37(1), 27-32 (2011).
- 3) Iwamoto, Y., and Itoh, T. : Vapor phase reaction of wood with maleic anhydride. Part 1. Dimensional stability and durability of treated wood. *J Wood Sci.* 51(6), 595-600 (2005).
- 4) Iwamoto, Y., Itoh, T., and Minato, K. : Vapor phase reaction of wood with maleic anhydride. Part 2. Mechanism of dimensional stability. *J Wood Sci.* 51(6), 601-606 (2005).
- 5) 岩本頼子, 伊藤貴文, 湊 和也：木材と無水マレイン酸の気相反応における条件の最適化と処理木材の特性評価. 材料. 56(4), 332-338 (2007).
- 6) 岩本頼子, 伊藤貴文, 結城成広, 小西隆次, 湊 和也：セルロース及び木材と無水マレイン酸の不均一系気相反応に対する動力学的考察. 材料. 56(9), 867-871 (2007).
- 7) 岩本頼子, 伊藤貴文：無水マレイン酸による木材の気相反応（第3報）スギ辺材および MDF に対する防腐効果と寸法安定効果. 奈良県森林セ研報. 35, 11-18 (2006).
- 8) 岩本頼子, 酒井温子, 増田勝則, 伊藤貴文, 今村祐嗣：無水マレイン酸による木材の気相反応（第4報）野外試験による生物劣化抵抗性の評価. 木材保存. 35(1), 9-15 (2009).
- 9) 酒井温子, 岩本頼子, 伊藤貴文, 佐藤敬之：窒素雰囲気下で熱処理された木材の耐朽性、耐蟻性および吸湿性. 木材保存. 34(2), 69-79 (2008).
- 10) 酒井温子, 佐藤敬之, 金沢吉昭：窒素雰囲気下で熱処理された木材の野外耐久性. 木材保存. 38(3), 111-116 (2012).
- 11) 伊藤貴文, 増田勝則：過熱蒸気処理による木材への耐朽性付与. 奈良県森林セ研報. 38, 45-51 (2009).
- 12) 酒井温子, 矢杉瑠美, 岩本頼子, 増田勝則：銅・第四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 25 年間の被害経過. 奈良県森林セ研報. 48, 43-48 (2019).
- 13) 桃原郁夫：熱処理と耐久性. 木材保存. 31(1), 3-11 (2005).
- 14) Welzbacher, C. R. and Rapp, A. O. : Durability of different heat treated materials from industrial processes in ground contact. IRG Document IRG/WP 05-40312 (2005).
- 15) 酒井温子：明日香実験林・野外杭試験報告（第7報）試験地、樹種および防腐処理による被害状況の違い. 奈良県森林セ研報. 30, 27-38 (2000).
- 16) 酒井温子, 岩本頼子, 中村嘉明：日本農林規格認定の木材保存薬剤を加圧注入した杭の被害経過. 木材工業. 56(1), 17-22 (2001).
- 17) 酒井温子, 岩本頼子, 中村嘉明：銅あるいは亜鉛を含有する木材保存薬剤を加圧注入した杭の被害経過. 木材保存. 27(3), 114-120 (2001).

(2020年4月1日 受理)