

加圧注入用薬剤で保存処理されたスギ正角材の金属腐食性

愛須 未紀・染川 さおり^{*1}・酒井 温子^{*2}・増田 勝則

5種類の加圧注入用薬剤で保存処理されたスギ心持ち正角材に、3種類のくぎを打ち込み、高温、水濡れおよび屋内条件下で一定期間放置して、金属腐食性を評価した。その結果、打ち込まれた鉄くぎの腐食量は、環境および保存処理薬剤によって異なることが明らかになった。すなわち、屋内条件下（通常の気温で木材の含水率が11~15%）では、1.8年の間で、いずれの鉄くぎにも腐食による質量減少は見られなかったが、水濡れ条件下（通常の気温で木材の含水率が30%以上）で24週間~1.5年間放置した時は、ACQ-1、CUAZおよびAZN処理木材で無処理木材よりも鉄くぎが腐食した。一方、高温条件下（60℃で木材の含水率が12~16%）で3~18週間放置した時は、AAC-1、BAAC、ACQ-1およびCUAZ処理木材で無処理木材よりも鉄くぎが腐食した。しかし、いずれの環境下においても、鉄に溶融亜鉛めっきを施すことで腐食が抑制される傾向が見られた。また、ステンレス鋼は環境を問わず、いずれの保存処理木材においてもほとんど腐食しなかった。

1. はじめに

木材保存剤の中には、塩化物イオンや銅イオンのように金属の腐食を促進させる成分を含むものがある。このため、保存処理された木材では無処理の木材に比べ、金属製の接合具や接合金物で腐食が進行する恐れがある¹⁾。JIS K 1571:2010「木材保存剤-性能基準及びその試験方法」の鉄腐食性能試験では、保存処理したスギ辺材に打ち込まれた鉄くぎの腐食量が無処理スギ辺材の2倍以下という基準を設けており²⁾、JIS K 1570:2013「木材保存剤」で規定されている加圧注入用薬剤は³⁾、この性能基準に適合したものである。

しかし、実際に建築用材等に利用されるスギ材は、心材部分を多く含んでいる。心材は辺材に比べ抽出成分を多く含むことから、金属の腐食に対して、辺材とは異なる性質を示す可能性がある。スギ心材の耐朽性は辺材より優れているものの、一般には中程度と評価されており⁴⁾、雨水にさらされる場所や高湿度となる場所で長期間使用する場合には、薬剤の加圧注入による保存処理が必要である。また、接合具や接合金物には鉄に防錆処理を施したものとステンレス鋼製のものもあり、スギ心材部分に薬剤が注入された保存処理木材に

おいて、それらの腐食の有無を調査することは実用上重要である。

そこで本研究では、5種類の加圧注入用薬剤で保存処理されたスギ心持ち正角材に対し、3種類のくぎを用いて金属腐食性を調べ、保存処理木材に適する接合具や接合金物についての考察を行った。

2. 材料と方法

2.1 材料

奈良県産のスギ心持ち正角材7本を使用した。正角材の寸法は、木口断面118×118mm、長さ4.2mとした。加圧注入用薬剤は、ジデシルジメチルアンモニウムクロリド剤（以下、AAC-1と記す）、ほう素・ジデシルジメチルアンモニウムクロリド剤（以下、BAACと記す）、銅・N-アルキルベンジルジメチルアンモニウムクロリド剤（以下、ACQ-1と記す）、銅・シプロコナゾール剤（以下、CUAZと記す）およびシプロコナゾール・イミダクロプリド剤（以下、AZNと記す）を使用した。これらの5薬剤は、JIS K 1570:2013「木材保存剤」に掲載されている³⁾。くぎは表1に示す通り、太め鉄丸くぎ（以下、CNくぎと記す）、溶融亜鉛めっき太め鉄丸くぎ（以下、

表1 使用したくぎの種類

| 名称 | 略称 | 長さ(mm) | 胴部径(mm) | 材質 | めっき |
|---------------|------|--------|---------|----------------|-----|
| 太め鉄丸くぎ | CNくぎ | 63.5 | 3.33 | 鉄 | なし |
| 溶融亜鉛めっき太め鉄丸くぎ | ZNくぎ | 63.5 | 3.33 | 鉄 | 亜鉛 |
| ステンレス鋼くぎ | SFくぎ | 65 | 3.05 | ステンレス鋼(SUS304) | なし |

*1 現奈良県農林部林業振興課

*2 現奈良県農林部奈良の木ブランド課

ZNくぎと記す) およびステンレス鋼くぎ (以下、SFくぎと記す) を使用した。

2.2 方法

2.2.1 保存処理

図1に示すように、各正角材から木口面118×118mm、繊維方向250mmの試験体を12体ずつ採取し、同一の正角材から採取した6体を1組とした。試験体表面の心材部分を高周波式含水率計 (HM-520、(株) ケット科学研究所) で測定し、含水率が約30%以下になるまで屋内で自然に乾燥させた。その後、各組の5試験体はそれぞれ前述の加圧注入用薬剤で保存処理を行い、残り1試験体は無処理とした。処理は、製材のJASにおける性能区分K3相当の保存処理木材を製造する際に使用される濃度に調製された各薬液を用いて、加圧注入を行った。注入前後の試験体の質量の差を試験体の体積で除して、注入量を算出した。注入後の試験体は屋内で5カ月以上自然乾燥させた。

腐食試験には10組の試験体を使用し、残りは予備とした。試験に使用した処理試験体各10体の注入量の平均値、最小値および最大値を表2に示す。AZN処理については、溶媒にジクロロメタンを用いたため、その比重で除して示した。

2.2.2 腐食試験

試験は、図2に示すように、くぎを打ち込んだ試験体

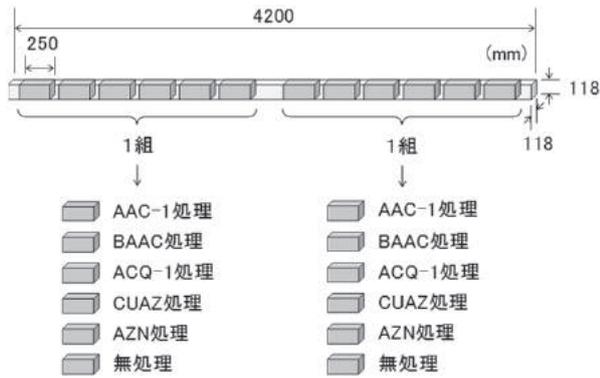


図1 試験体の採取および保存処理

表2 各処理試験体の注入量

| 保存処理 | 注入量 (kg/m ³ 、AZN 処理のみ L/m ³) | | |
|----------|---|-----|-----|
| | 平均値 | 最小値 | 最大値 |
| AAC-1 処理 | 565 | 441 | 658 |
| BAAC 処理 | 620 | 496 | 696 |
| ACQ-1 処理 | 534 | 450 | 603 |
| CUAZ 処理 | 625 | 427 | 736 |
| AZN 処理 | 533 | 456 | 642 |

を高温、水濡れおよび屋内条件下で一定期間放置し、くぎに生じる腐食を評価することによって行った。

高温条件での試験には4組の試験体を使用した。CNくぎはアセトン、ZNくぎおよびSFくぎはヘキサンで洗浄した後、乾燥させて質量を測定し、直ちに試験体の側面に各10本を頭部まで打ち込んだ。くぎを打ち込んだ試験体は、温度60℃、相対湿度80%の恒温恒湿器 (PR-4KH、エスベック (株)、18週間放置した試験体のみLHL-113、タバイエスベック (株)) に入れ、組ごとに3、6、12および18週間放置した。

水濡れ条件での試験には4組の試験体を使用した。試験体は両方の木口端部を切り落として繊維方向を200mmとした。前述の通りに洗浄し質量を測定した3種類のくぎ各10本を、試験体の3つの側面に打ち込んだ。くぎを打ち込んだ試験体は、底に脱イオン水を張った蓋付きプラスチック容器に木口面を下にして入れ、試験体の下部約50mmを水中に浸せきさせた。試験体に打ち込んだくぎは、水面から約40~130mm上部に位置していた。容器は蓋を閉めた状態で屋内に設置し、組ごとに12週間、24週間、1年間および1.5年間放置した。

屋内条件での試験には2組の試験体を使用した。高温条件の場合と同様にくぎを試験体に打ち込み、水濡れ条件の容器を設置したのと同じ屋内で組ごとに1および1.8年間放置した。

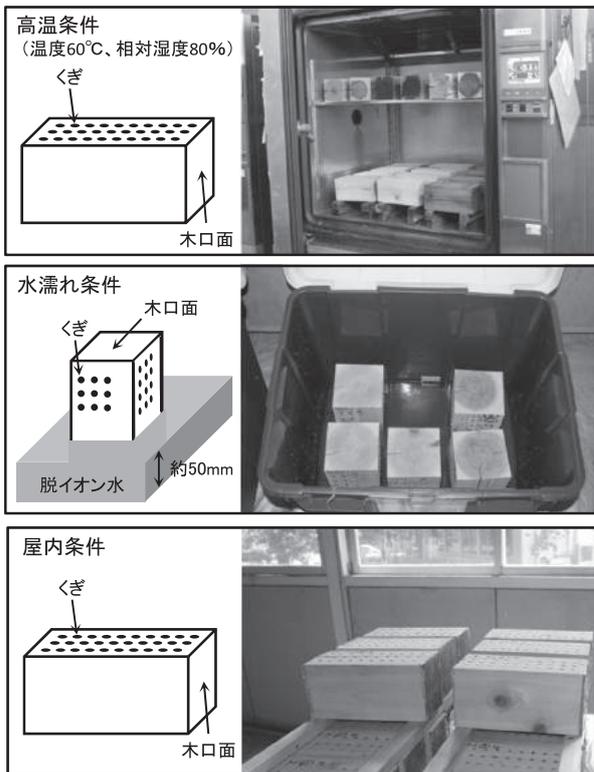


図2 くぎを打ち込んだ試験体と各条件での試験の様子

屋内および水濡れ条件での試験を行った2014年1月から2015年11月までの期間のうち、2014年5月からの1年間、同屋内および水濡れ条件の容器内の温湿度を、温湿度データロガー（RTR-53A、(株)ティアンドデイ）により1時間ごとに測定した。

2.2.3 腐食性の評価

所定期間経過後、試験体を割り、くぎを傷つけずに取り出し、JIS K 1571:2010「木材保存剤－性能基準及びその試験方法」5.4鉄腐食性能5.4.1注入処理用に準拠した方法で²⁾、さびの除去を行った。手順は以下の通りである。取り出したくぎを10%くえん酸水素二アンモニウム水溶液中で20分間煮沸した後、水洗し薬液を除去した。この時、くぎにさびや木片が残存していた場合は、ステンレス製のヘラを用いて、できる限りそれらを除去した。その後、直ちに40℃の送風乾燥器内で乾燥させ、10分程度室内に放置してから質量を測定した。試験前後のくぎの質量から、式（1）によりくぎの質量減少率 L （%）を算出し、腐食性を評価した。

$$L = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 m_1 ：試験前のくぎの質量（g）、 m_2 ：試験後のくぎの質量（g）。

また、腐食試験に供していない未使用のCNくぎ、ZNくぎおよびSFくぎ各10本に対しても、同様の操作を実施したところ、それぞれ0.2%、5.8%および0%の質量減少が見られた。CNくぎとZNくぎで質量が減少したのは、さび除去の操作により、くぎの表面やめっきの一部が溶解したためと考えられる。CNくぎについては、この質量減少がわずかであり、腐食性の評価にほとんど影響がないと判断されたため、質量減少率は算出された通りの値を使用することにした。しかし、ZNくぎについては、この質量減少が大きく、質量減少率から腐食性を正確に評価することができないと判断されたため、試験体から取り出した時のくぎの状態を目視観察することで腐食性を評価することにした。

2.2.4 試験体の含水率の推定

BAAC、ACQ-1、CUAZ処理試験体および無処理試験体について、高温および屋内条件下で放置した時の含水率の変化を推定した。くぎを取り出す際に試験体を割ったことにより、試験体の全乾質量を測定できなかったため、以下の方法で推定した。

屋内条件下で1.8年間放置した試験体について、くぎを取り出す前に質量を測定し、その質量から試験開始時にその試験体に打ち込んだくぎの総質量を減じて、試験

体の質量を算出した。くぎを取り出した後、直ちにその試験体の一部を切り出し、全乾法によりその含水率を求めた。この含水率と前述の試験体の質量から、試験体の全乾質量を推定した。そして、試験開始時の試験体の質量から、試験開始時の含水率を算出した。同じ保存処理を行った各試験体は、高温条件下で18週間放置した試験体を除いて、保存処理から試験を開始するまでの期間がほぼ同じであったことから、試験開始時の含水率は同程度であったと考えられる。このため、屋内条件下で1.8年間放置した試験体の試験開始時の含水率を、同じ保存処理の各試験体の試験開始時の含水率とみなし、各試験体について、試験開始時の質量から全乾質量を推定した。そして、各条件下で所定期間放置した時の試験体の質量から、その時の含水率を算出した。

高温条件下で18週間放置した試験は、屋内条件下での試験を開始して約1.4年経過した時に試験を開始した。試験を開始するまで試験体は屋内条件下で保管していたことから、屋内条件下で1年間放置後の試験体の含水率と1.8年間放置後の試験体の含水率を平均した値を、試験開始時の試験体の含水率とみなし、試験開始時の試験体の質量から試験体の全乾質量を推定した。そして、高温条件下で18週間放置した時の試験体の質量から、その時の含水率を算出した。

また、水濡れ条件下で1および1.5年間放置した試験体の含水率を測定した。水濡れ条件下で放置した試験体は、くぎが打ち込まれている水面より上部の部分と水中に漬かっている部分で含水率が異なると考えられる。このため、くぎを取り出した後、直ちにくぎが打ち込まれていた部分の木材を切り出し、全乾法によりその含水率を求めた。

2.2.5 析出成分の分析

水濡れ条件下で所定期間放置したACQ-1およびCUAZ処理試験体から取り出したCNくぎの中には、表面の一部が銅色に変色したものが含まれていた。さびの除去を行った後、銅色の部分を採取して、蛍光X線分析装置（RIX2000、理学電機工業（株））により元素の定性分析を行った。測定は、X線の出力を50kV、50mA、測定径を10mmとし、真空中で行った。

3. 結果と考察

3.1 腐食試験の環境と試験体の含水率

屋内の日平均温度、日最高温度および日最低温度と、日平均相対湿度（以下、相対湿度を湿度と略す）、日最高湿度および日最低湿度の変化を図3に示す。1年間の

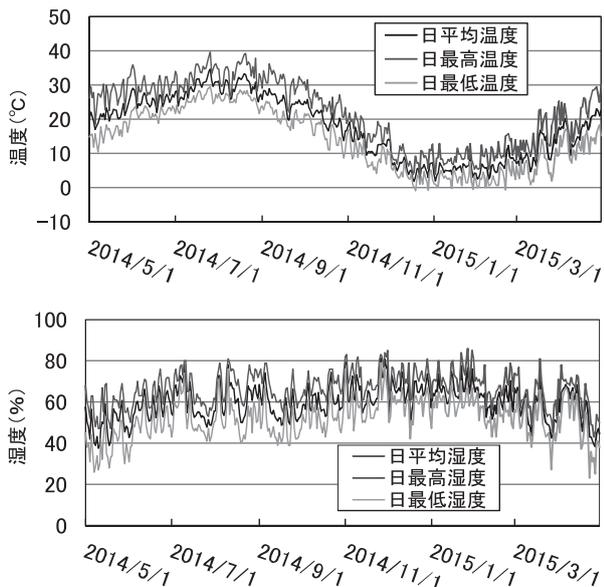


図3 屋内の温湿度の変化

平均温度は18℃、平均湿度は60%であった。水濡れ条件の容器内の温度は屋内とはほぼ同じ変化を示し、湿度は1年を通して概ね99%であった。

高温および屋内条件下で放置したBAAC、ACQ-1、CUAZ処理試験体および無処理試験体の推定含水率を表3に示す。いずれの試験体も、試験開始時の含水率は12~15%で気乾状態と推定された。また、高温条件下に放置した後も、含水率は12~16%であった。AAC-1およびAZN処理試験体については、今回測定しなかったが、吸湿性が特に高いとは考えられないことから、これらの試験体も試験開始時はほぼ気乾状態となっており、高温条件下での含水率の変化はほとんどなかったと推察される。以上のことから、高温条件は屋内条件と比較して、試験体の含水率は同程度で、温度が約40℃高いという条件であったと言える。化学反応は温度が上昇するほど速く進み、その速度は温度に比例する以上に大きくなる。高温条件下での試験は、気乾状態の木材に打ち込まれたくぎの屋内環境下での腐食を促進した試験と考えることができる。

できる。

水濡れ条件下で1および1.5年間放置後の試験体の含水率を、図4にくぎの質量減少率と共に記した。1試験体でくぎが打ち込まれていた範囲においても、場所によって含水率は異なると考えられ、今回の測定値は参考程度であるが、水濡れ条件は屋内条件と比較して、温度は同じで、試験体の含水率が高く、自由水を含んでいるという条件であった。

3.2 腐食性

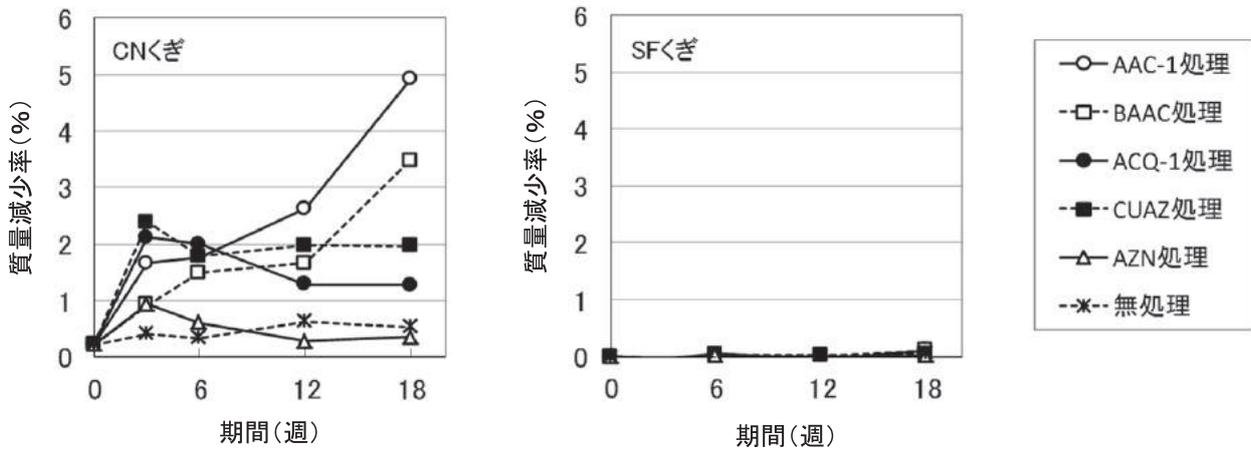
各処理試験体に打ち込んだ状態で、高温、水濡れおよび屋内条件下に一定期間放置したCNくぎおよびSFくぎの質量減少率を図4に示す。また、試験体から取り出した直後のくぎの状態の一例として、高温条件下で18週間放置した試験体と水濡れ条件下で24週間放置した試験体から取り出したCNくぎおよびZNくぎを図5~8に示す。

高温条件下での試験においては、図5に示すように、AAC-1、BAAC、ACQ-1およびCUAZ処理で、CNくぎが著しく腐食し、無処理木材よりも質量減少率が高くなった。AAC-1とBAACには塩化物イオンが、CUAZには金属を可溶化する成分や銅イオンが、ACQ-1にはこれらいずれも含まれているため¹⁾、これらの保存処理木材では鉄が腐食しやすかったと考えられる。また、AAC-1およびBAAC処理では、木口端部に近い位置にあったCNくぎほど、質量減少率が高くなる傾向があった。木口面は他の材面に比べ薬液の浸透性が高く、木口端部付近は薬剤量が非常に多くなっていたと考えられる。防錆処理として溶融亜鉛めっきが施されたZNくぎでは、図5と図6の比較より、CNくぎで腐食量の多かったAAC-1、BAAC、ACQ-1およびCUAZ処理において、腐食が軽減されていた。SFくぎは、いずれの保存処理においても、ほとんどのくぎで腐食が見られなかったが、18週間放置した試験では、AAC-1およびBAAC処理の木口端部に近い位置にあったくぎで、図9に示すように部分

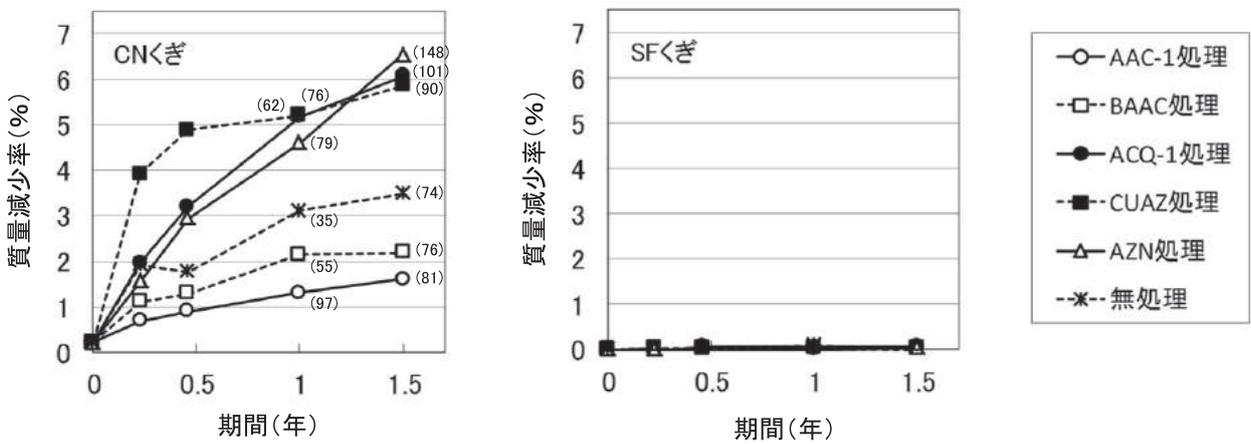
表3 高温および屋内条件下に放置したBAAC、ACQ-1、CUAZ処理試験体および無処理試験体の推定含水率

| 保存処理 | 試験体の含水率(%) | | | | | | | |
|---------|------------|--------|---------|-------|---------|-------|--------|----------|
| | 高温条件 | | | 高温条件 | | 屋内条件 | | |
| | 試験開始時 | 3週間放置後 | 12週間放置後 | 試験開始時 | 18週間放置後 | 試験開始時 | 1年間放置後 | 1.8年間放置後 |
| BAAC処理 | 15 | 13 | 14 | 12 | 15 | 15 | 13 | 11 |
| ACQ-1処理 | 15 | 13 | 13 | 13 | 15 | 15 | 14 | 11 |
| CUAZ処理 | 14 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 13 | 12 |
| 無処理 | 15 | 14 | 14 | 13 | 16 | 15 | 14 | 12 |

高温条件



水濡れ条件



屋内条件

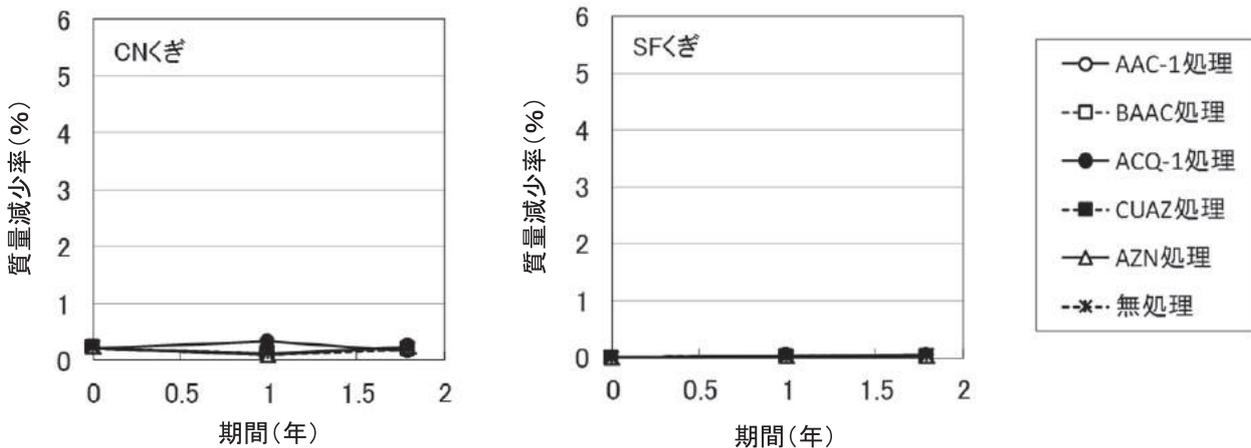


図4 各処理試験体に打ち込んだ状態で各条件下に放置したCNくぎおよびSFくぎの質量減少率
括弧内の数字は、水濡れ条件下で1および1.5年間放置後の試験体の含水率 (%) を示す

的に腐食が観察された。しかし、これらのくぎの質量減少率は0.2~0.4%であり、顕著な質量減少には至ってなかった。

水濡れ条件での試験では、高温条件と異なる傾向と

なった。すなわち、CNくぎの質量減少率は、ACQ-1、CUAZおよびAZN処理では無処理より高く、AAC-1およびBAAC処理では無処理より低くなった。AAC-1およびBAACには塩化物イオンが含まれていることから、



AAC-1処理



BAAC処理



ACQ-1処理



CUAZ処理



AZN処理



無処理

図5 高温条件下で18週間放置した各処理試験体から取り出したCNくぎの状態



AAC-1処理



BAAC処理



ACQ-1処理



CUAZ処理



AZN処理



無処理

図6 高温条件下で18週間放置した各処理試験体から取り出したZNくぎの状態



AAC-1処理



BAAC処理



ACQ-1処理



CUAZ処理



AZN処理



無処理

図7 水濡れ条件下で24週間放置した各処理試験体から取り出したCNくぎの状態



AAC-1処理



BAAC処理



ACQ-1処理



CUAZ処理



AZN処理



無処理

図8 水濡れ条件下で24週間放置した各処理試験体から取り出したZNくぎの状態



図9 高温条件下で18週間放置したAAC-1処理試験体から取り出したSFくぎの状態
矢印は腐食した部分を示す

これらの保存処理木材では鉄の腐食が予想されたが、無処理木材よりもCNくぎの質量減少率が低かった。この原因については、現時点では不明である。ZNくぎは、図8に示すように、AAC-1、BAAC、AZN処理および無処理では、CNくぎに比べ腐食が抑制されているように見受けられたが、ACQ-1およびCUAZ処理では他の保存処理や無処理に比べ、めっき層の腐食が進行しているようであった。ベイツガ材を用いて実施された屋外暴露試験や水濡れ条件での試験では、ACQおよびCUAZ処理が、他の保存処理や無処理に比べ、溶融亜鉛めっきが施された鋼板を腐食させる傾向があり^{5, 6)}、今回の試験でも同様の傾向が確認されたと言える。SFくぎは、いずれの保存処理木材においても、腐食した様子は見られなかった。

屋内条件での試験では、AAC-1およびBAAC処理でCNくぎがやや変色したが、腐食による質量減少は認められなかった。また、他のくぎでは、腐食した様子が見られなかった。屋内環境下での腐食を評価するには、さらに長期間が必要と言える。

3.3 析出成分

水濡れ条件下で放置したACQ-1およびCUAZ処理試験体から取り出したCNくぎの一部には、図10に示すように、銅色に変色した部分があったが、この部分について蛍光X線分析を行った結果、銅が検出された。銅イオン



図10 水濡れ条件下で1.5年間放置したCUAZ処理試験体から取り出したCNくぎの状態
矢印は銅色に変色した部分を示す

は水濡れ条件下でCNくぎの腐食を促進し、その腐食反応により還元された銅が、CNくぎの表面に析出したと考えられた。この現象は、ACQ-1およびCUAZ処理木材において無処理木材よりCNくぎが腐食した要因の1つが、両処理木材に含まれている銅イオンであったことを示唆している。

4. まとめ

5種類の加圧注入用薬剤で保存処理されたスギ心持ち正角材について、高温、水濡れおよび屋内条件下での金属腐食性を評価した。その結果、環境および保存処理薬剤によって金属の腐食に異なる傾向が見られた。

水濡れ条件下においては、ACQ-1、CUAZおよびAZN処理木材でCNくぎの腐食量が多かった。溶融亜鉛めっきを施すことで、腐食が抑制される傾向があったが、ACQ-1およびCUAZ処理木材では他の保存処理木材や無処理木材に比べ、めっき層の腐食が進行した。

高温条件下、すなわち、屋内環境下での腐食を促進させたと考えられる条件下においては、AAC-1、BAAC、ACQ-1およびCUAZ処理木材で、無処理木材よりもCNくぎが腐食した。溶融亜鉛めっきを施すことで、これらの保存処理木材において腐食は抑制される傾向があった。SFくぎは高温および水濡れ条件下で、いずれの保

存処理木材においてもほとんど腐食しなかった。

屋内条件下においては、1.8年の試験期間においてAAC-1およびBAAC処理木材でCNくぎがやや変色したが、他のくぎでは腐食した様子は確認されなかった。通常の気温下で気乾状態にある木材では、接触している金属の腐食速度は遅く、初期は保存処理木材と無処理木材で金属の腐食に大きな差は見られないと言える。しかし、長期間経過すると、高温条件での試験で示されたように、保存処理木材では腐食が進行する可能性がある。

以上のことから、これらの保存処理木材に使用する接合具や接合金物には、例えばステンレス鋼製のものを選択することが望ましいと言える。保存処理薬剤によっては鉄に溶融亜鉛めっきを施した接合具や接合金物を使用できる場合もあると考えられるが、正確な判断を行うためには、より長期間にわたる試験の実施が必要である。

謝辞

加圧注入用薬剤による保存処理については、(株)ザイエンス、越井木材工業(株)、(株)コシイプレザービング、兼松日産農林(株)にご協力いただきました。また、腐食試験の実施にあたっては、元奈良県森林技術センター嘱託職員 辻勝美氏、与熊文郎氏にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 桃原郁夫：“4.3.4 抗金属腐食性能”。木材保存学入門。日本木材保存協会編。改訂3版。東京，日本木材保存協会，2012，156-158。
- 2) JIS K 1571:2010. 木材保存剤－性能基準及びその試験方法。日本規格協会。
- 3) JIS K 1570:2013. 木材保存剤。日本規格協会。
- 4) 原口隆英：“1・5・2 主要樹種の耐朽性”。木材保存学。日本木材保存協会編著。大阪，文教出版，1982，65-67。
- 5) 日本木材防腐工業組合長寿命化住宅仕様書作成委員会：“3.1 加圧注入薬剤が接合金物、接合具の防錆処理に与える影響に関する検討”。長寿命化住宅仕様書作成委員会報告書。2008，9-37。
- 6) 石山央樹：“第8章 接合金物の耐久性に関する検討”。木造長期優良住宅の総合的検証委員会 耐久性分科会 平成25年度成果報告集。日本木材保存協会，2014，215-261。

(2016年4月22日 受理)