

〔報告〕 こけら屋根に用いた銅板の防腐効果について

藤原 裕子*・藤井 義久*・木川 りか

1. はじめに

こけら葺きは社寺建築に用いられる屋根葺き工法の一つであり、3 mm 程度に薄く剥いだ板を30mm ほどずらして重ね、竹釘で留めながら葺き上げてゆく。耐用年数は建物の立地条件、こけら板の樹種や材質、葺き方によって異なると考えられるが、20-25年ほどで葺替えが必要な状態になることが多い。しかし、中には30-50年の間、葺替えをしていなくても健全な状態が保たれているものもある。屋根の葺替えは大工事であるため、耐用年数を長くすることは、コストの面でも建物を維持し続けるためにも重要なことである。こけら板の腐朽を抑制し耐用年数をより長くする目的で、屋根を葺く際、図1のように薄い銅板が葺き込まれることがあるが、その効果については議論が分かれるようだ¹⁾。銅に防腐効果のあることは様々な防腐薬剤に銅が利用されていることからすでに自明のことであるが、銅板から雨水によって溶脱する程度の量でこけら板の耐久性にどの程度寄与するのかは明らかにされていない。本研究では、こけら屋根に用いられている葺込み銅板等の銅金物による屋根の防腐効果を調べるため、銅金物と接触した雨水が流れる領域とその近傍から小試片を採取しその形態を観察するとともに、蛍光X線分析装置で試料表面の銅元素量(相対量)を調べ、腐朽等による劣化の程度をあらわす指標としてせん断強さを求めて、それらの関係を検討した。

2. 実験方法

試料は平成23年3月から屋根の葺替工事が行われている重要文化財清水寺本堂(島根県安来市)のこけら屋根より平成23年5月に採取した。本堂は桁行七間、梁間七間、一重で、屋根は入母屋造のこけら葺きである。建立は明德4年(1393)であるが、その後何度かの大修理と屋根の葺替えが行われ、現在の構造形式となった²⁾。採取した試料は大半が昭和62年10月から平成4年3月の解体修理工事の際に葺かれたものであるが、その後の部分補修で差し替えられたものも含まれる。部分補修の行われた時期や場所についての詳細な記録は、残念ながら残っていない。図2は試料の採取場所および試料の一例である。東妻面側の屋根の南側(葺甲と隅の取合い付近)から北側および東(軒先)側に向かって500mm四方の区画に区切り、各区画の中央付近から幅20-30mm、長さ60mm程度の小片を採取した。区画数は南北方向に南から列1、列2・・・列5まで、東西方向に西から1段、2段・・・11段までとした。試料は風雨に暴露される面側を表、小屋裏側を裏と呼ぶ。前回の解体修理工事に伴う葺替えでは軒付や葺甲には水切銅板が葺かれているが、試料を採取した平葺きの領域には葺込まれていない。

試料に含まれる銅元素量は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDX-700、島津製作所製)を用いて試料の4箇所(表側の暴露部分と非暴露部分、それらの裏側)の $\phi 13\text{mm}$ の範囲について測定し、各測定位置のCu-K α スペクトルのピーク強度(cps/ μA)を記録した。今回の実験では銅元素含有量の定量分析は行わなかった。

*京都大学大学院農学研究科



図1 こけら屋根に葺込まれた銅板

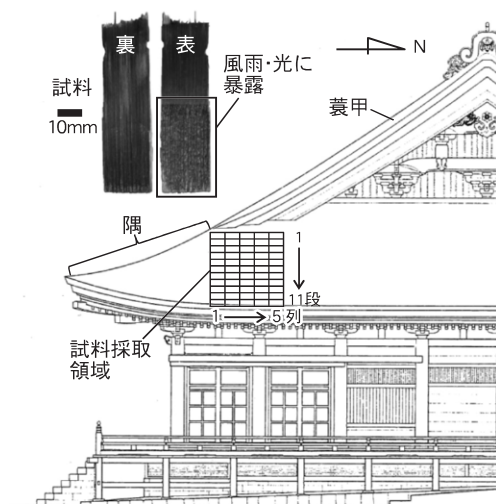


図2 試料測定場所および試料の一例（立面図は文献2）より引用）

試料の経年劣化および腐朽等の劣化の程度を判断するために、せん断破壊試験を行なった。試料の外部に暴露していなかった部分について、木材の繊維方向に約20mm、繊維直交方向に10から30mm程度の寸法に切り出し、せん断破壊試験に供した。試験には精密万能試験機（AGS-5kNG、島津製作所製）を用いた。試料は図3に示すような専用ジグの端面から5mm出した状態で固定し、0.0833mm/sでローディングブロックを降下させて板目面にせん断破壊を発生させたときの最大荷重を記録した。荷重は試料の表側に負荷した。得られた最大荷重を各試料のせん断面積で除してせん断強さを求めた。また、建物の小屋裏側のこけら板で風雨に直接暴露されておらず健全と考えられる10箇所から同寸法の小片を切り出し、同じくせん断破壊試験に供した。

また、試料と同じ領域で採取した白い綿状の物質が付着したこけら板から小片を取り、PDA培地に置いたものを30℃で一日放置して生育した菌糸を顕微鏡で観察し、一部の試料については菌類を分離して木材腐朽菌であるかどうかを調査した。

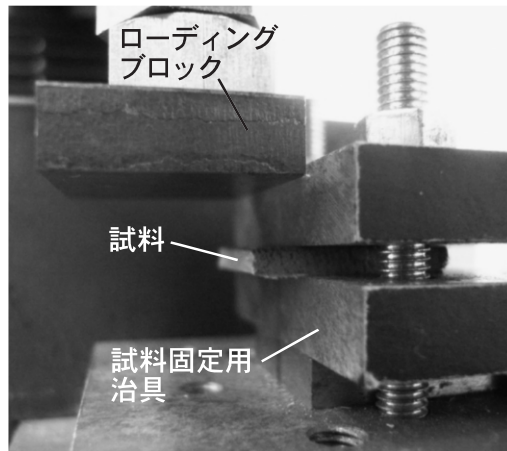


図3 セン断破壊試験の様子

3. 結果と考察

図4は試料表側の非暴露部分について蛍光X線分析で検出された銅元素のピーク強度の分布である。ピーク強度が大きいほど銅元素の含まれる量が多いことを表している。分析は試料の表側非暴露部分の裏側、および表側暴露部分およびその裏側でも行なったが、いずれの場所でも同様の傾向を示した。銅元素の検出量は列1および2で他の区画に比べて多かった。また、葺甲と隅の取合いに近いほど検出量が多い傾向も認められた。これは南面平葺の東端の葺甲(図2)に敷設された銅板から雨水によって溶脱した銅イオンが葺甲を伝って隅まで下り、それが東側の屋根に流れて列1および2のこけら板に付着したためと考えられる。列1の5段付近から銅イオン検出量の多い区画が北側の列2にシフトしているのは、この付近から東側では屋根の南東隅の反りによって屋根が北側に傾斜しているため、雨水の通過経路がそれに応じてシフトしたと考えられる。

図5はこけら板小片のせん断強さの分布である。いずれの試料のせん断強さも健全部の平均値 $1020\text{mN}/\text{mm}^2$ (S.D. $251\text{mN}/\text{mm}^2$) より小さい値であったが、列1の1-10段、すべての列の1段、列1, 2, 3, 5の2段から採取した試料は他の区画より大きい値を示した。これらのうち1および2段については、妻面に近く西側から雨が吹き降る場合のように風雨の方角によって雨がかりしにくくなるとともに夏の強い西日が遮られる場所であ

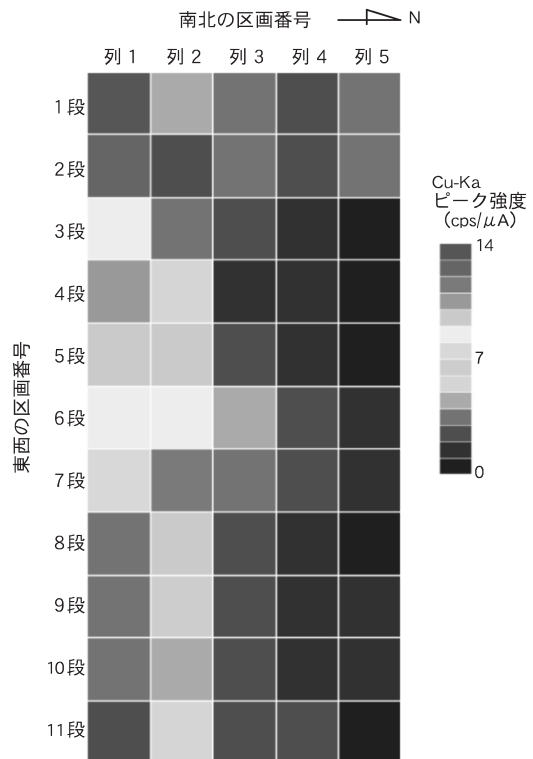


図4 試料採取領域における銅元素に関する蛍光X線のピーク強度分布

り、他の区画よりも風雨・日光による劣化や腐朽およびそれに伴う強度低下が軽微であったと推察される。

菌の簡易培養試験では木片上に白い綿状の菌糸が生育し、菌糸の顕微鏡観察で担子菌に特徴的なクランプが認められた。さらに詳しい解析の結果、一部の試料から分離した菌は分子系統学的解析により、木材基質などに生息することが知られている担子菌門アカキクラゲ目のアナモルフ菌類 *Cerinosterus luteoalbus* に近縁であることが示唆された。また、別途、南面大屋根より採取した試料から分離した菌は分子系統学的に担子菌門ハラタケ目のエノキタケ *Flammulina velutipes* と考えられた。これらの結果より、本堂の屋根が置かれている環境においては複数の木材腐朽性の菌が生育可能であり、今回試料を採取した領域にも木材腐朽性の菌が生育していたことが明らかになった。

以上の結果と試料の目視観察結果から、銅板の防腐効果について考察する。図6は銅元素のピーク強度、せん断強さの異なる試料の表面および断面の写真の例である。銅元素のピーク強度とせん断強さのどちらも大きい値を示した列1の1-7段は、試料表面の目視観察で白い綿状の菌糸の付着が認められず、表面

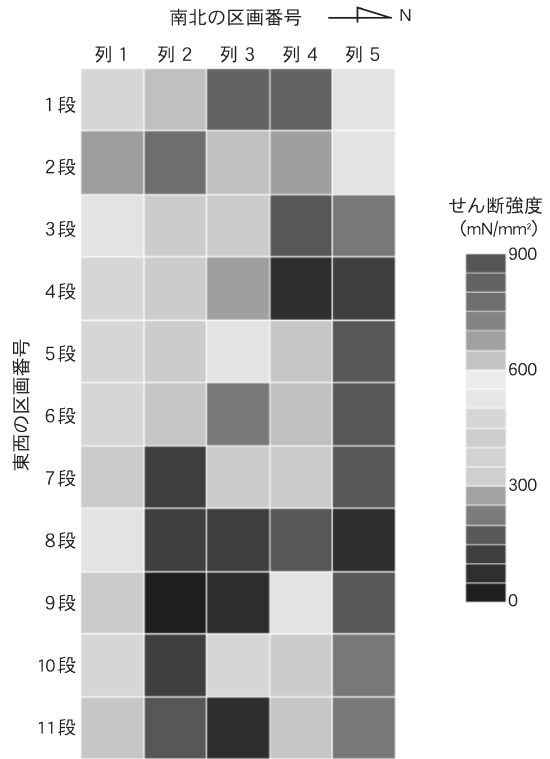


図5 試料採取領域におけるせん断強さの分布

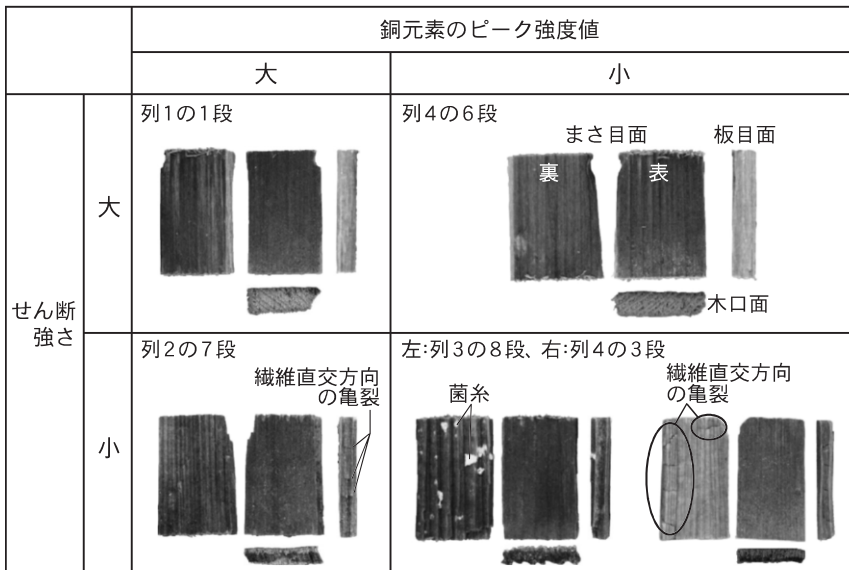


図6 銅元素のピーク強度、せん断強さの異なる試料の表面および断面写真の例

および断面に明らかに腐朽していることを示す繊維直交方向の割れも認められなかった(図6, 列1の1段)。せん断強さが健全部の3-15%程度の小さい値を示したが銅元素のピーク強度が大きい値を示した列2の7-9の段は, 図6の列2の7段の木口面写真で示すように厚き方向の中央部分が茶褐色に変色し, せん断試験による破断面(板目面)には腐朽の終盤状態に特徴的な繊維直交方向の割れが認められたが, 試料表面に菌糸の付着や割れ等の明らかな劣化の兆候は認められなかった。一方, 列2の7-9段と同程度のせん断強さであるが銅元素のピーク強度が小さな値を示した試料(列2の10段, 列3の8, 9, 11段, 列4の3, 4段, 列5の4, 5, 8段)は, 表面に菌糸の付着や繊維直交方向の割れが認められ, 木口面や板目面は板の表または裏側から内部にかけて茶褐色に変色している領域が認められた(図6の列3の8段, 列4の3段)。このことから, 銅元素のピーク強度が大きい値を示した試料において少なくとも表面に明らかな劣化の兆候が現れていなかったことについては, 銅板から溶脱し試料表面に留まった銅成分が試料表面に対して防腐効果を発揮している可能性が考えられる。こけら板の表面が銅成分によって腐朽しにくくなっているということは, 屋根で重なった状態にある板と板の間での腐朽菌の侵攻が妨げられるという点では有利に働くが, こけら屋根の耐久性の観点から考えるとそれだけでは不十分であり, 板の内部でも防腐効果が認められ, 腐朽しにくい状態であることが望ましい。銅板の防腐効果が板の内部にまで及んでいるのかどうかを確認するためには, 試料の厚さ方向について銅元素の分布と劣化状態の関係を検討する必要がある。最後に, 銅元素のピーク強度が小さい値を示した列3-5において, 列3の5, 7, 10の段および列4の6, 9の段のように比較的大きなせん断強さを示す区画があった。これらについては, 試料が補修材である, こけら板がもともと大きなせん断強さであった, 葺き方等で腐朽が生じにくい状態にあったなど, 様々な理由が考えられるが, 補修の履歴や葺き方などが明らかでないため, 残念ながらせん断強さが大きな値を示した理由は推察できなかった。

4. おわりに

こけら屋根における銅板の防腐効果を調べるため, 蛍光X線分析によってこけら板表面の銅元素のピーク強度を測定するとともに, 板の劣化の指標としてせん断強さを求め, 両者の関係を調べた。銅元素のピーク強度が大きい試料のせん断強さが必ずしも大きい値を示すわけではないが, そのような試料の表面には腐朽菌の白い綿状菌糸の付着や腐朽の終盤状態を示す木材繊維直交方向の割れは認められず, 板の内部が腐朽している場合でも表面は健全であった。このことは, 少なくとも試料表面については銅板の防腐効果があらわれた可能性のあることを示唆している。この効果が板の表面や表層だけでなく内部でも認められるのかどうかを確認するためには板の厚さ方向における銅元素の分布を調べ, それと板内部の腐朽の有無の関係を調べる必要がある。さらに, こけら屋根の耐久性と銅板の防腐効果の関係を明らかにするためには, 他の立地条件や平葺き面に銅板が葺き込まれた場合などサンプル数を増やして検討を重ねることも必要である。

謝辞

こけら板の採取にあたり, 清水寺貫主 清水谷善圭様, 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会 大阪支部副支部長 岡信治様, 村上社寺工芸社 代表取締役 村上英明様, 伊藤延行様に多大なるご協力を賜りました。また, 木材腐朽菌の同定につきましては, (株)テクノスルガ・ラボの杉山純多様, 喜友名朝彦様にご協力をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 原田多加司；檜皮葺とこけら葺，学芸出版社，京都，1999，pp.161-162
- 2) 文化財建造物保存技術協会編，重要文化財清水寺本堂保存修理工事報告書（1992）

キーワード：こけら板 (shingle)；腐朽 (decay)；銅板 (copper plate)；防腐効果 (preservative effect)

Preservative Effect of Copper Plates on Wooden Shingles Used for a Traditional Japanese Style Shingle Roof

Yuko Fujiwara*, Yoshihisa Fujii*, Rika Kigawa

The preservative effect of copper plates against the decay of wooden shingles used for a traditional style roof was studied. Copper (Cu) plates sheeted under wooden shingles are expected to be a source of Cu elements when the shingles and plates are exposed to rain. Small pieces of shingles were collected as samples from the area where water containing Cu flowed and its neighborhood. Intensity of Cu-K α on surfaces of the samples was measured with an energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer. Shear strength of the samples, which can be related to the degree of decay, was also assessed. Surface of the samples that showed high intensity of Cu-K α was sound, but some of such samples decayed under the surface and showed low shear strength. This suggests that Cu elements spread by rain water covered the surface of the shingles and produced preservative effect on it but could not permeate deep inside the samples. Further experiment should be performed to determine whether Cu is present inside the decay samples.