

## 〔報告〕 伝統的木造建築の屋根部にみられる生物劣化の特徴

藤井 義久\*・藤原 裕子\*・木川 りか

### 1. はじめに

日本の伝統的木造建築は、腐朽や虫害といった生物劣化のリスクにさらされており、耐久性の確保が、火災や地震による被害への備えと同様に重要である。有史以来発達してきた日本の木造建築の技術には、木部の耐久性確保のための創意工夫が認められるが、実際には生物劣化が発生している場合も多い。建物の劣化を決定づける因子としては、構造、材料や施工技術といった建物の造り手が制御できる因子のみが強調されやすいが、実際にはその建物が設置されている土地の環境や住み方（維持管理）も重要な因子である。しかし伝統的木造建築の耐久性確保の手立てを考える上で、これらの因子を整理しながら劣化の原因を明らかにし、保存修復において適切な対策が取られているかどうかは不明である。現状では少なくともその実務が体系化されているとは言い難い。

このような状況を鑑みて、本研究では筆者らが過去に実施した劣化調査の結果を整理、分類および分析し、建物の形式や部位、材料や施工技術ごとに実際に発生している劣化症状の特徴を把握することとした。本報告ではその一部として屋根部に見られる劣化の特徴の概要を報告する。

### 2. 調査方法

本研究では、伝統的木造建築について、主たる構造部材にみられる腐朽や虫害といった生物劣化の発生部位、種類、程度や範囲を調べた結果のうち、屋根部についてその構造や材料との関連で特徴的と考えられる症状を抽出し、分析した。対象とした建築物は社寺建築、農家や町屋などの民家、学校などの公共建築物などで、著者らがこれまでに調査した約150棟の建物の調査結果から抽出した。

調査は3段階から構成されており、一次診断では、主に視診によって構造部材にみられる劣化症状を抽出し、虫害や腐朽の判定をした上で、写真撮影および記録を行った。ここで抽出した症状としては、腐朽菌と関連づけられるような白い綿状や膜状の菌糸様の付着物、表面の変色(主に褐色化や灰白色化)、腐朽による収縮、割れ、ささくれや欠損や破壊、甲虫類による虫孔、シロアリによる蟻道や食痕、水分浸潤による水シミの痕跡などとした。写真撮影に際しては、症状の確認された領域をチョークでマーキングした上で撮影した。また過去において劣化部位が修理されていたり、劣化対策が施されていると判断される場合には、元の材料に残された劣化の痕跡の他、新規に挿入された後補材の劣化状態も評価した。

二次診断では、一次診断によって抽出された部位を中心に、現場用の診断機器によって部材の物性や機械的性質などを評価した。実施内容は主に、含水率の計測、超音波の伝搬時間測定による内部の空洞化の評価、穿孔抵抗測定による内部空洞や密度低下の評価などとした(図1)。また調査期間が長期に及ぶ場合には、床下、室内、小屋裏や外気について連続的な温湿度計測

\*京都大学大学院農学研究科



図1 屋根部の調査の状況（2次診断）

も実施した。

三次診断では劣化症状の判定が難しい場合など、部材から採取したサンプルについて、実験室において詳しい分析を行った。分析では主に菌類や昆虫類の種の同定および部材の強度などの物性評価を行った。

### 3. 調査結果と考察

#### 3-1 屋根部の生物劣化の一般的な特徴

屋根部に見られる生物劣化は、雨漏りによって野地や妻面から浸潤してきた水分による小屋組み部材の腐朽とシロアリおよび甲虫による虫害といえる(図2～4)。シロアリ被害については、床下で発生した蟻害が壁や柱を這い上がるようにして進展し、小屋組みにまで及んだ場合と、外界から飛来してきた羽アリが野地部などに営巣して定着したと考えられる場合がある。



図2 瓦屋根の下地部分（土居葺き）に見られる腐朽と蟻害



図3 野地から浸潤してきた水分で発生した小屋組部材の腐朽

後者については、雨樋の排水不良や、雨漏り水の木部や瓦土などへの滞留が生じて、シロアリが生息し続けるのに必要な水分供給が伴っている場合といえるが、状況によっては相当高い位置で食害が発生している場合もある。また小屋組み材には、シバンムシ類やキクイムシ類などの甲虫類やハチ類などによる食害も認められる(図5)。これらの甲虫類による被害は、多くの場合、建物建築後一定の年月が経ってから外界から小屋裏や外壁に飛来してきた成虫によって発生する。成虫は木材表面に産卵し、卵からかえった幼虫や成虫による木部の穿孔が食害部位となる。梁に用いられるマツ材や柱などに用いられるケヤキ材に発生することが多く、通常食害は辺材(白太)に留まる。しかし材内で卵から成虫にまで成長した成虫が材から脱出し、交尾の後再び小屋組材に産卵して、食害が繰り返され、長年の間に被害領域が相当拡大している場合が多い。また丸太や製材品に生材を食害するカミキリ類やクロタマムシなどが残ったまま施工され、竣工後に成虫が発生する場合がある。また軒周りの部材にはクマバチなどのハチ類の食害が発生していることも多い(図6)。

以下の考察では屋根の洋式ごとに劣化特性を解説し、その事例を紹介するが、物件名など個別の物件に関する詳細な情報は本報告では掲載しない。

### 3-2 社寺建築の瓦屋根

ここでは仏教寺院の本堂、武家屋敷や商家、城郭などの比較的大型の建築の屋根に見られる瓦葺きの屋根部の生物劣化の特徴を述べる。これらの多くは本瓦葺きである。経年で見られる瓦自身の劣化はここでは議論しないが、風雪に曝されるうちに瓦自身の破損やずれなどが生じるとそこから雨水が浸入し、瓦の下に控えている瓦土を濡らし、やがては野地板や小屋組みにまで水分が到達して、腐朽が発生している事例が見られる。また羽アリの飛来を端緒とするシロアリ食害の発生と拡大も認められることもある。しかしこの劣化



図4 小屋梁に発生したシロアリ食害



図5 マツ材の小屋梁に発生した甲虫による食害の痕跡



図6 垂木に発生したクマバチによる食害の痕跡

には屋根の勾配など構造的な特徴も影響している。照り屋根か、起り（むくり）屋根かといった屋根の形式にもよるが、一般に屋根の勾配は一様ではなく、多くの場合棟部に比べて裾部ほど勾配が緩くなっている。屋根に降った雨は勾配に沿って流れ落ちるが、裾ではその速度が落ち、滞留する傾向が見られ、結果的に裾部ほど瓦下に雨水が浸潤する確率が高くなる。特に入母屋や寄棟形式屋根の四隅には軒反りが施してあり、隅木先端部付近では、勾配が非常に緩くなっていたり、逆勾配になっている場合もあり、隅木周辺に劣化が認められることが多い（図7）。また妻面では、破風板や懸魚、桁隠などの部材が小屋組部材を雨水の浸入から護っているが、入母屋屋根では破風尻周辺を中心に雨水が浸潤しやすく、内部で劣化が生じている場合がある（図8）。これには降り棟や稚児棟およびそれらの先端にある切据え鬼の周辺での雨水の流れの複雑な変化や滞留も関与しているものと思われる。また地域や建物の方位によっては季節的に屋根を吹き上げるような風が吹くことがあり、これによって雨水が瓦の目地から入り込み、劣化が拡大している例もある。

棟部は形式によって劣化の症状が異なるが、雁振り瓦（冠瓦）とのし瓦で構成される棟部の内部に配置している棟木や箱棟は、長年の間に目地などから雨水の浸潤によって腐朽していることが多い（図9）。またシロアリ食害が発生している場合もある。さらに棟木自身に反りがある場合には、反りの根元あたりに劣化が集中しやすい。

屋根部に見られる虫害については、前節で述べたようなシロアリ食害や甲虫類による食害が認められる。小屋裏は比較的乾燥しており換気や通気も比較的良好な場合が多いので、雨漏り

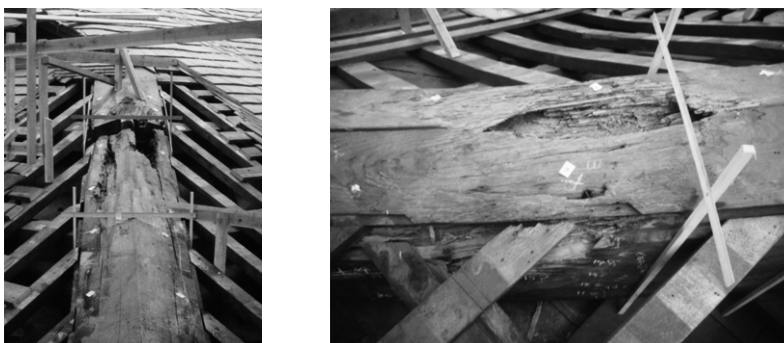


図7 隅木に見られる腐朽（左）と蟻害（右）の例



図8 隅木周りに見られる腐朽の例



図9 棟木（左）および箱棟（右）の腐朽事例

とそれに由来する腐朽や虫害がなければ、小屋組み部材が劣化することはあまりないと思われる。シバンムシなど甲虫類による食害も梁材などの大断面材の辺材に留まる場合が圧倒的に多いが、例外的に甲虫類による食害が心材にまでおよび強度低下をもたらしている場合もある。また軒周りの部材では、クマバチによる食害が発生している場合もあり、その穿孔は比較的部材の奥にまで及んでいることがある。

### 3-3 民家の瓦屋根

大型の堂建築に比べて屋根は小さく、棧瓦葺きのものが多く、瓦土も少ない。しかし、施工後の経過年数が長い場合や、屋根の流れが複雑な場合、維持管理が十分でない場合には腐朽や虫害が甚大化していることがある。劣化の様式や特徴は堂建築の場合とほぼ同様といえる。

民家や農家にみられる土蔵についても劣化が認められる。土蔵は、城郭建築などによく見られる壁構造である大壁形式となっている。土台や柱などが壁の内部に塗り込められており、壁も厚く堅牢な構造となっているが、長年の間に外壁の傷みを端緒に雨水が浸潤し、壁内部の木部が腐朽したり、シロアリ食害が発生している場合がある。またシロアリ食害は小屋組にまで及んでいることも多い(図10)。盗賊対策として床下空間が碎石や土で充填されている場合にはより劣化しやすく、また調査しにくい。また現在では土蔵が手入れされず放置されている場合が多く、劣化が甚大化している場合が見られる。



図10 土蔵の外壁の劣化と小屋組材の蟻害の例

### 3-4 こけら葺き屋根

こけら葺きは社寺建築や数奇屋建築に用いられる屋根葺き工法の一つであり、最も一般的な葺き方は、長さ1尺(30cm)で厚さが1分(3mm)程度に薄く剥いだ柿(こけら)板を1寸(30mm)づつずらして重ね、竹釘で留めながら葺き上げてゆくものである(図11)。こけら板にはサワラ、スギ、クリやヒノキが用いられ、材料には地方ごとの特色がある。こけらよりも厚い板を用いた板葺きは切妻屋根に限定されるが、こけら葺きは曲面にも適しているため、寄棟や入母屋の屋根にも用いられる。

こけら屋根の劣化の特徴は、こけら板の先端部が、太陽熱や雨水などによって物理的に損耗し、櫛の歯のように欠けたり、短くなることで、その結果葺き替えを要するようになる。こけら屋根の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、30年ほどで葺き替えが必要な状態になることが多い。しかし、中には30から50年の間、葺き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。またこけら層の内部は表層に比べて健全に保たれている場合が多い。その一方で表層部のこけら板の損耗に先行して内部のこけら板が腐朽する場合もあり、「芯腐れ」と呼ばれることがある(図12)。これにはこけら板を葺く際の締め方、釘の位置や本数などに起因して生じる内層での水分浸潤と滞留が関与していると考えられるが、詳しくは分かっていない。



図11 葺き替え後40年以上経過したこけら屋根(左)と妻面におけるこけら屋根の内部の状態(右)

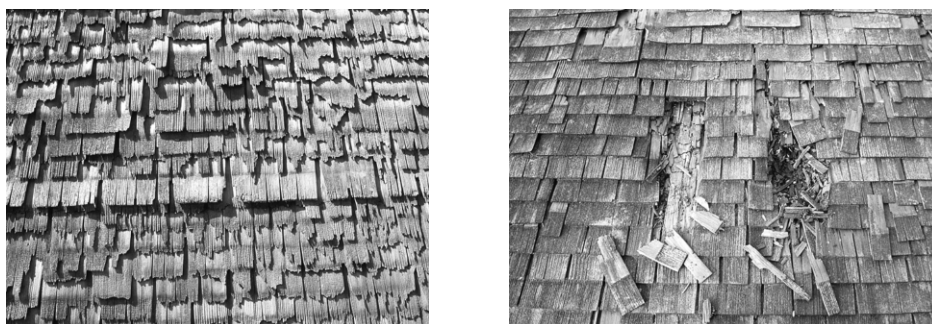


図12 一般的なこけら板の劣化状況（左）と「芯腐れ」（右）

雨水の浸潤を防ぐために軒先では上下のこけら板のずれ幅を小さくしたり、隣接するこけら板の間隔が上下段で通らないようにしたり、摩耗しやすい隅部では厚めのこけら板を用いたりするなどの工夫がなされる。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、薄い銅板が葺き込まれることがある。銅の木材に対する防腐効果は一般的に知られており、こけら板についても雨水によって溶脱し、残存する銅成分に関する検討もあるが<sup>1,2)</sup>、こけら屋根の劣化のメカニズムや銅板の防腐効果については不明な点が多い。

### 3-5 檜皮葺き屋根

檜皮葺きは薄いヒノキの樹皮を重ねて葺く方法で、西日本を中心に社寺建築や貴族の邸宅などに見られた屋根の葺き方であるが、現在では社寺建築でのみ見られる屋根の葺き方といってよい。檜皮の厚さは1.5から1.8mm程度（一部軒では3mm）で、長さは平葺き部で2尺5寸（75cm）、隅、箕甲や軒の一部では1尺2寸（36cm）である。檜皮葺きでは、口幅が10から15cm、尻幅が2から10cmほどの細長い台形状に仕立てた檜皮を、4分（12mm）づつずらして竹釘で留めながら、葺き上げる。檜皮自身の耐水性と、葺き上げ部の厚みによって屋根を雨漏りから護る構造となっている。

檜皮葺きの屋根に見られる劣化の特徴としては、経年による檜皮の損傷や抜け落ちに起因するものが多く、隅や箕甲あたりで檜皮が激しく抜け落ちている事例が多い。鳥類が巣造りの材料として軒付あたりから檜皮を啄んで持ち去り、穴が開いてしまう事例も見られる。また水切りや劣化対策のために銅板を葺き込む事例もあるが、檜皮が水にぬれ、溶け出す抽出成分が銅を著しく腐食させる例もあり、実務家の間では一般的にはこけら屋根のように劣化対策としての銅板は用いないものとされている（図13）。銅板の腐食の機構については不明な点が多く今後の課題である。また長年の間に檜皮の表層部に土や砂が付着し、ここに供給される雨水によって藻類やコケ類が繁殖する例が認められる。実務家によってはこれらの植物は屋根を保護すると思う人がいるようであり、一例であるが著者が調べた例では、厚く繁茂したコケ類の下地の檜皮については大きな損傷が認められなかった。

### 3-6 茅葺き屋根

茅葺き屋根はススキ、ヨシや藁などの材料（茅）を用いた草葺き屋根の総称で、農家の屋根などを中心に全国的に分布し、現在でも相当数残っている。茅葺き屋根の形式としては寄棟、入母屋、切妻および甲屋根形式が見られるが、地域によって特色がある。雨や雪に耐えるように相当厚く茅を葺いており、葺き終わりにあたる棟の部分では特に雨水の浸入を阻止する工夫



図13 檜皮葺きの例（左）とコケ類が付着した例（右）

が施されており、それが地方ごとの特色にもなっている。茅葺きを共同で行うための村民の組織である結（ゆい）で葺かれる場合と、専門の職人によって葺かれる場合とで、仕上がり耐久性に差があるとされているが、現在では後者の手によって伝承されてゆくものが多数を占めていると思われる。

著者らの既往の調査物件にしめる茅葺き屋根は少ないが、劣化の特徴としては以下のようなものがある。茅材にはその保管および施工後に甲虫類などによる虫害が発生しやすいが、竣工後に室内の囲炉裏などで火を使うとその煙によって屋根内側の表面に煤などが付着し、虫害が発生しにくくなると思われる。しかし現在では室内で煙を出すような生活をしないため、このような防虫効果は期待できないと思われる。また現存している農家などでは、茅葺き屋根の母屋にトタンや瓦葺き屋根の増築部分が結合している例も多く、この場合既存部分と増築部分と境界での雨仕舞に問題があることが多く、腐朽が発生している例があった。また棟部の茅を抑えるために置き千木や箱棟を棟に置くことが多いが、時にこの部分を瓦で仕上げる例が見られる。この場合、箱棟や瓦葺きの棟部の重量が重く、長年の間に棟に変形が生じ、雨漏りによる腐朽が発生している事例があった（図14）。

### 3-7 煉瓦造の屋根

煉瓦造の建築物は、明治期に欧州などから日本に導入され、それ以後、学校、公共建築物や企業のオフィスなどとして建築され続けた。それらの一部は現在も保存活用されている。煉瓦造建築の屋根の形式は、切妻か寄棟のものが多く、またその構造は木造の洋小屋組（トラス構造）のものがほとんどである。屋根葺き材料としては銅板、スレートの他に洋瓦や和風の棧瓦



図14 瓦棟の載った茅葺き屋根（左）と小屋組材の破損および補強状態（右）



が用いられている場合が多い。しかし、雨除けや日除けとして機能する庇がなく、屋根の流れの終端は煉瓦壁の上縁までしかない。通常、この上縁には雨どいを配置してあるものの、長年の間にこの付近の防水の仕組みに劣化が生じ、雨水が小屋組部材に浸潤し、腐朽が発生したり、羽アリの飛来を端緒とするシロアリ食害が認められることが多い(図15)。教会では屋根部のシロアリ食害が鐘樓の塔にまで及んでいる事例もあった(図16)。煉瓦造が発達してきた欧州などと比較して、日本では温暖な季節に集中的に雨量が多いため、煉瓦造は耐久性確保の観点からみてわが国では弱点のある構造となってしまったといえる。また洋風造りの木造建築物には煉瓦積の暖炉が設けてある場合がある。煙道の煉瓦積み目地には隙間があり、シロアリが土壌からこの隙間を這い上がって木部を食害している例が見られる。暖炉が使用されている冬場は煙道は適度に暖められシロアリにとっても生息しやすい環境となってしまう、食害が煙道を伝って小屋裏にまで及んでいる事例が認められた。同様のシロアリ食害は現在ではもはや使われることはないものの鉄釜方式の風呂などで、釜周囲に煉瓦などを積みタイルなどで表面を仕上げた場合にも認められる。

#### 4. おわりに

本報告では、伝統的木造建築に対して実施した劣化調査の資料を整理し、屋根部に見られる特徴についてとりまとめた。調査件数が限られることや、調査手法とその結果の取りまとめ方に変動があるため、緻密で定量的な分析にまでは至っていないが、概ね屋根部の劣化を屋根の構造や材料との関連で把握することができた。

今後これらの調査を継続し、データを収集、整理および分析し、関係者に公開することによって文化財建造物をはじめとする伝統的木造建築の保存修復の実務に役立つデータベースが構築されるものと期待される。



図15 煉瓦造の壁上縁での小屋組材の劣化事例



図16 煉瓦造の教会礼拝堂での腐朽事例(左)と鐘樓にまで伸びた蟻道(右)

## 謝辞

本調査を実施するに当たり、調査対象となった建造物の所有者、管理者、保存修理に関わる行政関係者や技術者の各位には多大なご協力を賜りました。ここに深甚な感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤原裕子, 藤井義久, 木川りか: こけら屋根に用いた銅板の防腐効果について, 保存科学 51, 313-319 (2012)
- 2) 藤原裕子, 藤井義久, 和田朋子, 木川りか: こけら屋根に用いた銅板の防腐効果についての考察 第36回文化財の保存および修復に関する国際研究集会 文化財の微生物劣化とその対策 要旨集, 2012年12月5日-7日, 東京, pp.60 (2012)
- 3) (財)竹中大工道具館: 『葺く 草と木でつくる屋根』(2011)

キーワード: 歴史的木造建築 (historic wooden architecture); 生物劣化 (bio-degradation)  
; 菌害 (fungal attack); 虫害 (insect attack); 屋根 (roof structure); 瓦 (roof tile)  
; こけら (Japanese shake); 檜皮 (cypress bark); 萱 (thatch)

## **Features of Bio-degradation Found in the Roof Structures of Traditional Japanese Wooden Buildings**

Yoshihisa FUJII\*, Yuko FUJIWARA\* and Rika KIGAWA

Features of bio-degradation found in the roof structures of traditional Japanese wooden buildings are summarized. Bio-degradation such as those caused by insect and fungal attack is generated in association with rainwater permeation. The distribution and degree of bio-degradation is often influenced by the variation of the flow of rainwater on the roof which is closely associated with the shape and structure of the roof. Degradation is also influenced by the material and method of roofing. Fungal attack on the roofing and the framework sometimes becomes serious and is accompanied by termite attack which is caused by swarming rather than crawling up of termites from the ground. Insect attack caused by beetles is also found mainly in the sapwood of structural members.

---

\*Graduate School of Agriculture, Kyoto University