

伝統的木造建築物の維持保全のための木材劣化診断手法の提案

三 谷 一 房 堀 長 生

A New Method for Diagnosing Wood Deterioration for Maintenance of Historic Wooden Buildings

Hitofusa Mitani Nagao Hori

Abstract

A great number of historic wooden buildings have been built in Japan. Thus, there is a large potential demand for seismic diagnosis and seismic reinforcement for these buildings. However, wood deterioration needs to be diagnosed before a building's seismic resistance capacity is evaluated. However, no practical technique has yet been developed. We have been involved in seismic resistance and deterioration diagnosis of a lot of historic wooden buildings, and have investigated the deterioration of structural timber. This report describes investigation items and methods and some cases of wood deterioration in historic wooden buildings, based on knowledge obtained from experience. It also describes a highly reliable wood deterioration diagnosis method utilizing appropriate investigation and the diagnosis techniques, and their application in determining an allowable extent of wood deterioration.

概 要

日本には現在も膨大な数量の伝統的木造建築物が蓄積されている。このような木造建築物の耐震診断や耐震補強に対する潜在的な需要は少なくない。しかしながら、建物の耐震性を構造耐力の要素で決定する以前の問題として木材劣化の診断が必要であるが、その実務的な手法についてはいまだ未整備である。このような状況の中、筆者らは多数の伝統的木造建築物の耐震・劣化診断に携わり、構造材である木材の材料劣化調査を実施してきた。本報告では、これら多くの実務経験で得た知見に基づき、伝統的木造建築物の木材劣化に関する調査項目、方法、および診断結果事例を詳述した。さらに木材損傷の許容程度という観点から、適切な調査・診断手法を選定し、それらを組み合わせて適用することで、より信頼性の高い木材劣化診断を行うことができるとの考えを述べた。

1. はじめに

日本の伝統的な建築物を構成する主たる材料は木材であり、その大きな特徴は、木材そのものに施された継手・仕口と呼ばれる接合方法によって組み立てられていることである¹⁾。本報告では、このような日本固有の建築技術によって培われてきた木造建築物を伝統的木造建築物と呼称している。

伝統的木造建築物に対しては、近世以前の社寺建築を中心に文化財保護の理念が確立されていることもあり、近代の歴史的建造物のように保存そのものは是非が社会問題になることは少ない²⁾。重要なのは地震、火災、風水害など偶発的に発生する災害からいかに建物を守り、また部材補修・交換や解体修理が容易であると言った構法上の利点を活かし、いかに維持保全するかである。

先の兵庫県南部地震では、多くの社寺建築も甚大な被害を受けた³⁾。このため歴史的・文化的価値を有する伝統的木造建築物の耐震安全性が再認識されたが、例えばまちづくり上の文化的拠点として不特定多数の人々に公開されている場合(Photo 1)には人命保護の観点からも、



Photo 1 一般公開されている伝統的木造建築物の例
Example of Historic Wood Building
Opened to the Public

伝統的木造建築物に対する耐震安全性の確保は、極めて重要な課題である。

日本には法隆寺に代表される古建築を始め、近代に至るまで膨大な数量の伝統的木造建築物というストックが

蓄積されている。したがって、このような木造建築物を対象とした耐震診断、さらには耐震補強に関する潜在的な需要は少なくないと考えられる。

伝統的木造建築物における耐震診断の判断基準は、もとより構造耐力的要素で決定されるが、それ以前の問題として、構造部材である木材が健全であるかどうか、あるいはどの部材のどの部分が、どの程度傷んでいるのが判明しなければならない⁴⁾。しかしながら様々な制約条件の中で実際に建物調査を計画する場合、どのような調査項目・方法が適用可能で、そのためにはどのような調査機器が適切で、またその測定結果をどのように判断すればよいかという具体的な劣化診断手法に関しては情報が非常に乏しいのが現状である。

このような状況の中、筆者らは過去7年間にわたり、建物規模の大小はあるものの50棟を超える一連の伝統的木造建築物(主に江戸末期から昭和戦前)の耐震・劣化診断に携わり、構造材である木材の材料劣化調査を実施してきた。個々の調査建物の概要については割愛するが、本報告では多くの実務経験で得た知見に基づき、木材劣化に関する調査項目、方法、および診断結果事例を詳述した。これらの知見が、木材劣化診断手法に関する調査研究を推進する上での糸口となり、伝統的木造建築物の維持保全に役立てることができると確信する。

2. 木材劣化調査フローの概要

一般的な木材劣化調査フローの概要をFig. 1に示す。調査ステップとしては、関連資料を収集し調査計画を立案するための事前調査、次いで現地での非破壊による基礎調査、さらには破壊試験を含む詳細調査となる。

事前調査では、建物の概要、図面の有無、調査可能な範囲等について予め確認し、木材劣化に係る調査項目および方法を決定し、必要な検査機器や人員調整等の準備を行う。基礎調査では、目視観察や簡易な機器を中心とした非破壊試験によって、短時間で定性的な木材劣化の傾向を把握する。基礎調査の結果、必要と判断されれば全数柱の目視観察や含水率測定、微小なサンプリング、部材採取を伴った破壊試験等の詳細調査を行い、定量的な劣化傾向の把握に努める。なお調査期間の制約により基礎調査と詳細調査は同時に計画されたり、建物の実状に応じて調査項目も見直される。

3章では、フィールドでのデータ取得を主体とする現地調査と現地での部材採取を前提とした木材の力学的性質に関する調査において、これまで適用してきた調査項目および方法を概説し、4章ではその代表的な調査・診断結果の事例を紹介する。

3. 調査項目および方法

3.1 現地調査

3.1.1 目視観察 各部材の劣化現象を目視によって観察・記録する。確認すべき主な現象を整理したものを

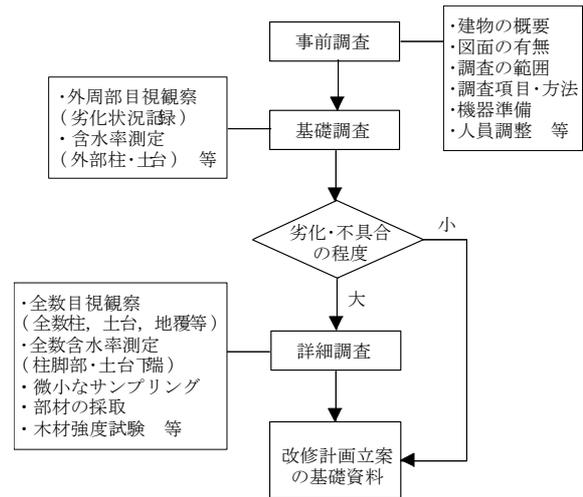


Fig. 1 一般的な調査フローの概要
Outline of General Investigation Flow

Table 1 目視観察で確認すべき現象⁵⁾
Phenomenon that should be Confirmed by Watching Observation

略称	現象の説明
こけ	木材の表面にこけが付着している状態
変色	木材の腐朽が表面化した場合に見られる茶褐色の変色
菌	菌類による木材の腐朽が表面化した状態で、通常は白色、綿状の物質が付着した状態
亀裂	腐朽が長期に及んだ場合に見られる亀甲状の亀裂
虫食い	昆虫類により食害された点状の小欠損
腐朽欠損	腐朽が原因で木材表面の脆弱部が欠損した状態
乾燥割れ	乾燥に伴う収縮によってできた割れ

Table 1に示す。これ以外の異常等についてもそのつど記録する。また柱材の腐朽等の履歴および修理状況を把握するために、根継ぎ(腐朽した柱脚のみを部分的に除去し新材で補填すること)の有無も記録する。

この段階で樹種は見付面の外観等から経験的に判断し、部材採取が可能な場合に限り、後述するように木口面等の肉眼による識別、さらにはより厳密な識別として木材組織の顕微鏡観察を行う。

3.1.2 含水率の測定 木材の腐朽は、木材腐朽菌の胞子が木材表面に付着・発芽し、発芽した菌糸が木材中に侵入し、分泌された酵素によって木材成分であるセルロースあるいはリグニンが分解される現象である。その結果、腐朽した木材は、木材成分が分解されることによって最終的には茶褐色に変色するとともに、亀甲状の亀裂、質量の減少、強度の低下などの現象が現れる⁵⁾。

木材腐朽菌が生育するためには、酸素、温度、水分、栄養分が不可欠で、特に木材中の水分すなわち含水率は20~30%程度以上であることが必要である。建築物中の造作材が腐朽しないのは、常に含水率が15%前後であり、上記の値を下回っているためである。また木材が腐朽していく過程では、加水分解が生じるため、一般に含水率は高くなる。このような性質を利用して腐朽の可能性を診断するのが含水率の測定である。



Photo 2 水分計による含水率の測定
Measurement of the Water Content with a Moisture Meter

含水率の測定は、木部表面を傷つけないよう高周波容量式木材水分計を用いる。表面が風化し目痩せを生じた部分、配管や設備等の設置部分、柱脚の見付面が狭い部分、あるいは丸柱等では、高周波容量式での測定が困難であるため、電気抵抗式木材水分計を補助的に用いる。前者ではケット科学研究所製の水分計(測定範囲: 2~150%程度)が適する。後者ではプロティメーター社製の水分計(測定範囲: 6~23%, 目安として24~約100%も可)等があり、フィールド測定に耐えられるよう2本の電極針が本体に強固に取り付けられていることや狭隘部も測定できるようコード検束器が付属している機器を選定する。含水率の測定状況をPhoto 2に示す。

柱部材の含水率測定位置は、土台あるいは基礎石にできるだけ近い柱脚見付面とする。初期腐朽を判断する目安は、含水率の値で20%と設定する。

3.1.3 成長錐による小コア材の採取 先端にネジを持つ中空管を木材中に所定の長さ(材種により異なるが最大8cm程度)までネジ込み、中空中の円筒状木材片を取り出して、これを試料とし腐朽の程度を知るもので、この器具を成長錐という。立木の樹齢等を調べることからこの名称がついている。部材を傷つけるため非破壊調査ではない。また柔らかい木材部分ではコアは圧縮されてしまうので、得られたコアと実際の部材内の適正な位置関係を得ることは困難である。

建物調査では、目視観察や含水率の測定結果から選定したいいくつかの柱脚部等で小コア材の採取を行い、内部状態を目視観察で確認する。採取後ただちに電気抵抗式木材水分計を用いて採取コア材の含水率も測定する。成長錐は、ビット長200~250mm程度、外径10mm程度の三条溝式あるいは二条溝式を使用する。三条溝式は針葉樹用(軟材)であるが、二条溝式は広葉樹用(硬材)にも適用できる。フィンランドのスイン社製あるいはスウェーデンのハグロフ社製が良く知られている。

採取後のコア穴は、埋木による補修を行う。Photo 3に成長錐による小コア材の採取状況を、Photo 4に採取した小コア材を示す。

3.1.4 レジストグラフによる貫入抵抗の測定 レジストグラフは、一定速度で貫入針(長さ300mm, 軸径1.5mm, 先端部3mm)を木材内に挿入させ、その抵抗値を測定することにより木材内部の腐朽、空洞、割れ、年輪などの状態を調べる器具である。非破壊検査ではないが貫入針が



Photo 3 成長錐による小コア採取
Sampling a Small Wood Core with a Increment Borer



Photo 4 採取した小コア材
Sample of a Small Wood Core



Photo 5 レジストグラフによる測定
Measurement of the Drilling Resistance with a Resistograph

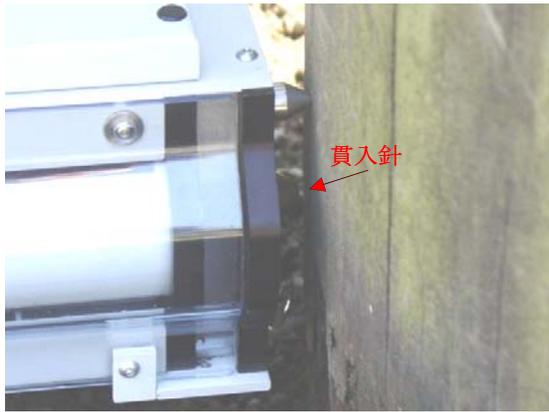


Photo 6 レジストグラフの先端部
a Drilling Needle of a Resistograph

細いため穿孔痕が非常に小さく、木材の損傷を最小限に留めることができる。外観からは確認できない木材の内部に存在する腐朽や空洞等の異常部の位置(表面からの深さ)を定量的に確認できることが最大の特徴である。ドイツで開発され⁶⁾、国内では街路樹等に対する倒木危険度診断などの分野で使用されている。建築分野での適用例は知られていない。

調査の様子をPhoto 5およびPhoto 6に示す。建物調査では樹木診断の事例を参考とする。例えば大断面の丸柱の場合、任意の断面において、部材表面から半径方向に穿孔する。穿孔数は4~8箇所が適当である。測定結果としては、貫入深さと貫入抵抗の関係が波形で表され、抵抗が無い部分を異常部分と判断する。測定した総線分長に対する総異常部線分長の割合を異常部線分比率とし、木材の任意断面における腐朽程度の指標とする。

なお貫入抵抗の大きさは木材の強さを表すが、両者の定量的な相関を関連付けるには至っていない。

3.2 力学的性質に関する調査

3.2.1 木材の採取場所 ほとんどの場合、強度試験に供する木材の採取場所は小屋裏に限られる(Photo 7)。枯木あるいは横架材端部の構造上支障のない部分を切断する。可能な限り大きい寸法が好ましいが、実際には圧縮・せん断試験体の加工が可能な部材寸法が限度で、曲げ試験体の加工がきるほどの部材確保は難しい。また和小屋であれば採取できる部分も多いが、洋小屋に耐震改修されている場合は、採取場所も非常に限られる。

3.2.2 採取材の樹種 強度試験結果から健全性を判断するためには、予め樹種を特定しておく必要がある。小屋裏で採取する部材にはマツ材が多く、ヒノキ材、スギ材が見受けられる。一般には下記から肉眼により樹種を判断する。

- 1) マツ材の場合(アカマツとクロマツの区別は困難)
 - a) 早晚材の移行が急である(木材の成長は春から夏にかけて活発(早材)となり、秋に鈍くなり(晩材)、冬に止まる)。
 - b) 肉眼で確認できる垂直樹脂道(軸方向細胞間道、成熟材では早材から晩材への移行部から外側に散



Photo 7 小屋裏での部材採取
Cutting a Part of Wood Member in Attic Space

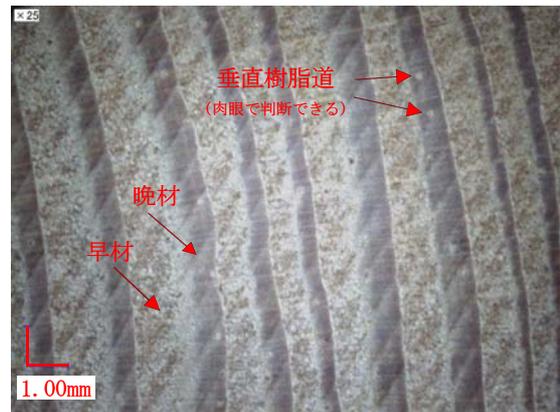


Photo 8 マツ材の木口面
End Grain of a Pine



Photo 9 マツ材木口面の青変菌
Blue-Stain Fungi of a Pine

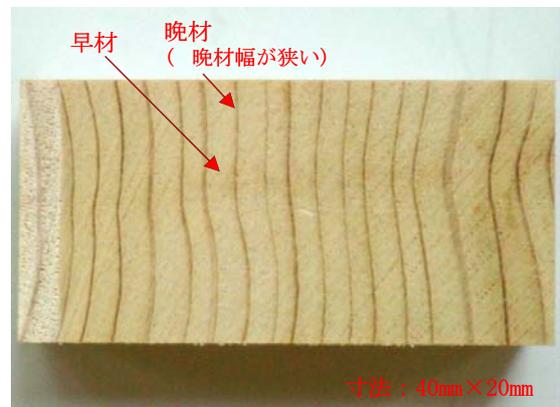


Photo10 ヒノキ材の木口面
End Grain of a Japanese Cypress

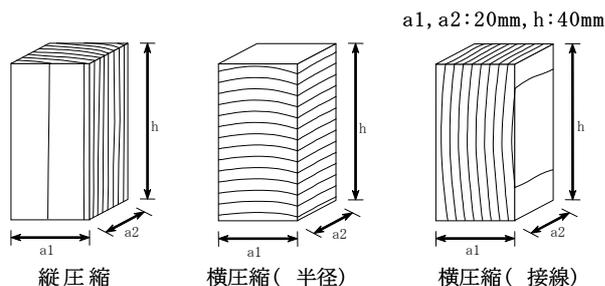


Fig. 2 圧縮試験体の形状・寸法
Shape and Size of Compression Specimen

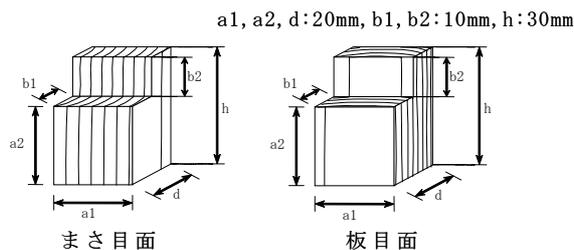


Fig. 3 せん断試験体の形状・寸法
Shape and Size of Shear Specimen

点状に分布)が多数存在する(Photo 8)。

c) 青変菌に侵されている(Photo 9)

2) ヒノキ材の場合

a) 晩材幅が狭い(Photo 10)。

b) 肉眼で確認できる垂直樹脂道が存在しない。

c) 特有の芳香がある。

3) スギ材の場合

a) 早晚材の移行が比較的急である。

b) 肉眼で確認できる垂直樹脂道が存在しない。

c) 芳香・臭気がない。

3.2.3 試験体の作製 採取部材からJIS Z 2101(木材の試験方法)に準じ、無欠点材の圧縮試験体(Fig. 2)およびせん断試験体(Fig. 3)を切り出す。その後、試験体の含水率が平衡状態(12±1.5%)に達するまで調整する。試験体個数は、JISでは試験体個数は12個以上とされているが、採取部材の寸法に制限があり、また採取部材内部の虫食いの可能性もあるため、6個とする。

3.2.4 試験項目および方法

(1) 平均年輪幅、含水率および密度 各試験はJIS Z 2101(木材の試験方法)に準じる。含水率の測定は、圧縮およびせん断試験後、試験体を直ちに105℃の恒温槽内で恒量まで乾燥し全乾質量を求める。なお圧縮試験体ではひずみ測定をしない試験体で含水率を測定する。

(2) 圧縮試験 JIS Z 2101(木材の試験方法)に準じ、縦圧縮試験および横圧縮試験(年輪に対し半径方向および接線方向)を行い(Photo 11)、縦圧縮強さ、縦・横圧縮比例限度、および縦・横圧縮ヤング係数を求める。試験装置はオートグラフを使用する。平均荷重速度は予備試験を行い、定められた範囲内(縦圧縮試験: 毎分9.80N/mm²以下、横圧縮試験(軟材): 毎分0.49N/mm²以下)となる速度を求める。圧縮比例限度は、荷重-変位図において比例域の上限荷重から算出する。また各試験において3体にひずみゲージ(東京測器研究所, LFLA-10-11-3L, ゲージ長10mm)を相対する2面に貼り付け、圧縮ヤング係数を求める。

(3) せん断試験 JIS Z 2101(木材の試験方法)に準じ、まさ目面および板目面のそれぞれについて、せん断強さを求める(Photo 12)。試験装置はオートグラフを使用する。平均荷重速度は予備試験を行い、定められた範囲内(軟材: 毎分5.88 N/mm²以下)となる速度を求める。



Photo 11 圧縮試験
Compression Test



Photo 12 せん断試験
Shear Test

4. 調査・診断結果の事例

4.1 現地調査

4.1.1 目視観察・含水率・成長錐 調査結果の事例を抜粋してTable 2に示す。柱全数に番号を付し、その樹種、屋内の柱と外周の柱の別、根次ぎの有無、柱脚部の現象、柱脚の含水率、成長錐で採取した小コア材の状況と含水率、柱脚近傍の地長押下端の含水率、その他の補足事項を記録している。

また表中においては含水率20%を超えるものを色分けし、さらに含水率20~30%とそれ以上とを区別している。ここでは略すが、建物平面図の柱位置に柱脚含水率を、色分けによってマッピングし、平面的に含水率の分布傾向を表し、腐朽しやすい環境にある範囲の特定とその理由について考察を行う。

4.1.2 顕微鏡による樹種の識別 耐震補強工事等の計画に際しては、厳密な樹種の識別が求められる場合もある。築後、相当年数を経過した木材表面は風化(風雨・日光・空気に曝されて変色・摩耗していく現象⁴⁾)しており、肉眼による樹種の識別が困難な場合には、採取材を用いた顕微鏡による識別が行われる。

識別は、まず肉眼によって樹種の範囲を絞り込み、その後、光学顕微鏡による組織観察(木口面・まさ目面・板目面の薄片試料による観察)によって、肉眼での識別の是非を確認し、かつその木材特有の特徴を確認することで樹種を特定する。

ここでは日本材かつ主要針葉樹材を前提とした樹種の識別事例を紹介する。まず肉眼による供試体の特徴(芳香を含む)を整理すると、以下の通りであった。

- 1) 垂直樹脂道(軸方向細胞間道)が認められない。
- 2) 心材・辺材の差は明らかではない。
- 3) 早晚材の移行は比較的急である。

Table 2 目視観察・含水率測定・成長錐による調査結果の事例(抜粋)
Case of Investigation Result of Watching Observation, Measurement of the Water Content and Sampling with a Increment Borer

番号	部位	樹種	内外	根継	目視観察	含水率(%) 柱脚	成長錐内部観察 部位/状態/含水率(%)	含水率(%) 地長押下端	備考
27	柱	ヒノキ	外	-	柱虫食い痕・割れ	52.0	柱脚/健全/13%	46.0	柱脚に銅板(緑青)
28	柱	ヒノキ	外	○		46.5		43.5	柱脚に銅板(緑青)
29	柱	ヒノキ	外	○	柱割れ, 柱脚腐朽欠損	31.0		36.0	柱脚に銅板(緑青)
30	柱	ヒノキ	外	○		38.0	柱脚/健全/14%	77.0	柱脚に銅板(緑青)
31	柱	ヒノキ	外	○		23.0		-	
32	柱	ヒノキ	外	○		31.5		-	
33	柱	ヒノキ	外	○		25.5		-	
34	柱	ヒノキ	外	-	柱更換済(古色塗り)	25.0		-	
35	柱	ヒノキ	外	○		25.0		-	
36	柱	ヒノキ	外	-	地覆下端腐朽欠損	33.0		40.0	柱脚に鉄板(赤錆)
37	柱	ヒノキ	外	-		50.0		50.0	柱脚に銅板(緑青)
38	柱	ヒノキ	外	-	柱脚腐朽欠損	65.5		50.5	
39	柱	ヒノキ	外	-		37.0		50.0	
40	柱	ヒノキ	外	-	柱更換済(古色塗り)	27.5		26.0	柱脚に鉄板(赤錆)
41	柱	ヒノキ	外	-	柱更換済(古色塗り)	26.0		22.0	
42	柱	ヒノキ	外	○		40.0		-	
43	柱	ヒノキ	外	-	柱更換済(古色塗り)	19.0		32.0	
44	柱	ヒノキ	外	○		16.5		33.0	
45	柱	ヒノキ	外	○		16.0		32.0	
46	柱	ヒノキ	外	○		17.0		38.5	
47	柱	ヒノキ	外	○		16.5		47.0	

4) 木材は褐色である。

5) 芳香・臭気がない。

以上より参考文献7に従い識別すると、総合的には「ツガあるいはコメツガ」と判断された。さらに「コメツガ」は平地には育成せず建築用木材としてはほとんど使用されないことから、供試体は「ツガ」に絞られた。ただし1), 2)は肉眼により明確に判断されるものの、その他の3), 4), 5)は経験的な判断によるところが大きいため、引続き顕微鏡による組織観察を実施した。

顕微鏡観察では上述した特徴の確認を含め、さらに日本産の針葉樹で放射仮道管をもって正常樹指道をもたない樹種はツガ属だけである⁸⁾ことから、以下の点を確認した。

1) 垂直樹脂道および水平樹脂道がない。

2) 放射仮道管がある。

顕微鏡観察の結果をPhoto 13~15に示す。Photo 13(木口)およびPhoto 15(板目)から垂直樹脂道および水平樹脂道が認められない。Photo 14(まさ目)から放射仮道管が認められる。以上の観察結果から、本事例では供試体はツガ(マツ科)であると判断された。

4.1.3 レジストグラフによる調査 築年数40年以上を経た木造大鳥居丸柱(直径:420~520mm程度,ヒノキ材)の腐朽程度に関する調査・診断事例について紹介する。調査は、左右の柱脚部,柱貫下部,柱頭,および笠木部で行った。

Fig. 4にレジストグラフの出力結果の例を示す。横軸が貫入の深さ(右側が部材表面)を表し、縦軸が貫入抵抗の程度を示している。また波形の細かな各ピークは晩材を表す。グラフの波形から貫入抵抗が得られない部分を異常部と判断し、図中に赤い線分で示している。測定断面ごとに、3.1.4で述べた方法により異常部線分比率を算出した。

さらにTable 3は腐朽の程度を評価する手法として、異

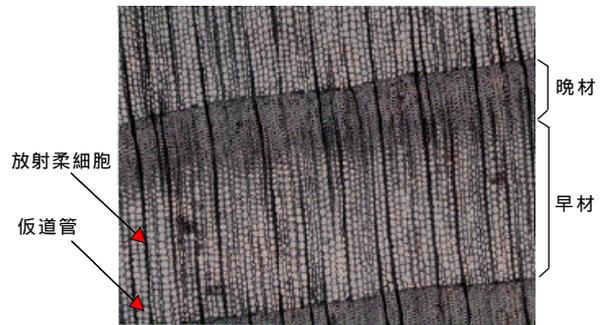


Photo 13 木口面(約22倍,ツガ材)
End Grain of a Japanese Hemlock

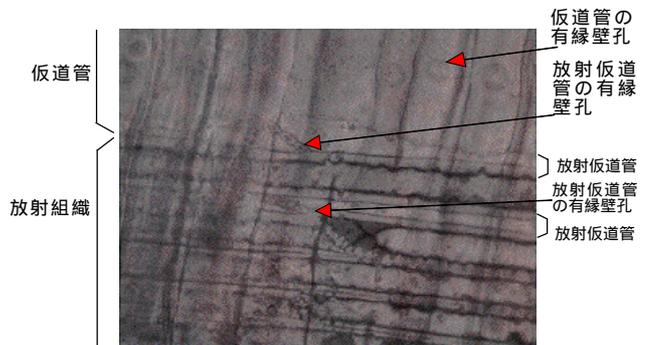


Photo 14 まさ目面(約214倍,ツガ材)
Straight Grain of a Japanese Hemlock

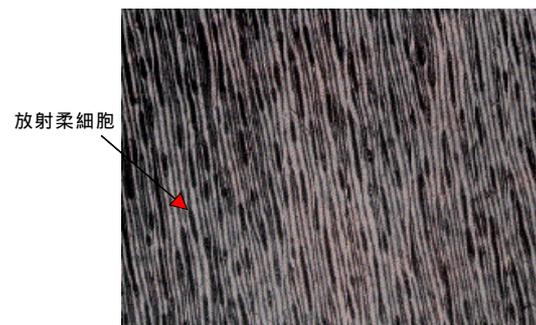


Photo 15 板目面(約22倍,ツガ材)
Cross Grain of a Japanese Hemlock

常部線分比率が測定した部材断面の全半径にも対応すると仮定し、健全部と異常部を視覚的に断面表示したものである。円周囲の色付けした部分が健全部で、中央の色付けの無い円形部分が異常部分を示している。またここでは異常部線分比率の範囲によって、以下のとおり相対的に腐朽の程度を定義している。

- 70% ≤ 異常部線分比率 腐朽の程度：大
- 40% ≤ 異常部線分比率 < 70% 腐朽の程度：中
- 10% ≤ 異常部線分比率 < 40% 腐朽の程度：小
- 異常部線分比率 < 10% 腐朽の程度：健全

これらの結果から、柱の脚部は健全であるが、上部は内部腐朽の程度が中・大であり、今後、内部腐朽が進行する可能性があるかと判断された。

4.2 力学的性質に関する調査

木材の力学的性質については、主要な樹種別にデータが整備されている。そこで採取部材から作製した試験体(無欠点材)の試験結果と既往の文献に基づく値とを比較

することによって、材料の健全性を評価している。

Table 4にはマツ材の例を、Table 5にはヒノキ材の例を挙げる。この事例では、実験で得られた試験体の密度および各種の機械的性質(縦圧縮強さ、圧縮比例限度、圧縮ヤング係数、せん断強さ)は、文献に示された物性値の範囲と概ね同等であることがわかる。したがって実験に供した木材の経年による強度低下はなく、十分な強度を保有しているものと判断された。

ただし試験体は、採取部材から切り出す際、虫食いなど欠点のない部分を選択して作製される。したがって採取部材から試験体を加工する際に発見した木材内部の状況も記録しておくことが重要である。

5. 調査・診断手法の提案

実建物における木材の劣化調査・診断にあたっては、調査の目的や条件が様々であり、必ずしも前述した調査

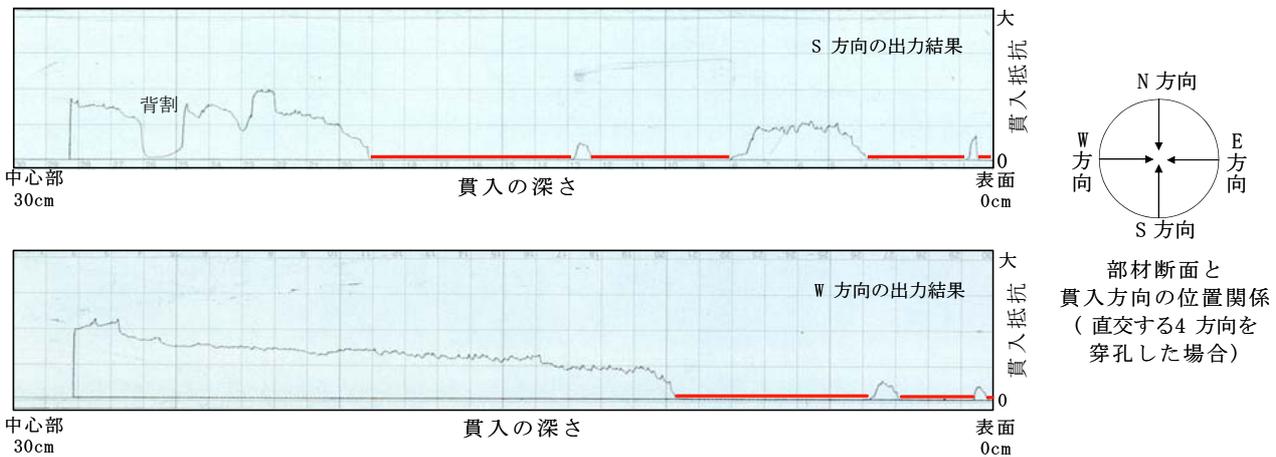


Fig. 4 レジストグラフによる出力結果の例
Example of Output Result by a Resistograph

Table 3 異常部線分比率の断面表示と腐朽程度の診断
Display of Section Based on the Ratio without Resistance and Diagnosis of Decay Extent

柱L			測定部位	柱R		
腐朽の程度	異常部線分比率(%)	断面表示		断面表示	異常部線分比率(%)	腐朽の程度
中	50.7		笠木部		71.7	大
中	55.5		笠木下部		43.9	中
中	44.3		貫下部		45.6	中
健全	6.6		脚部		1.8	健全

Table 4 マツ材の実験値と文献値の比較
Comparison between Experiment Value and Document Value of a Pine

性質		実験値(小屋裏枯木)	文献値(アカマツ)			文献値(クロマツ)			文献値の出典		
			最小	平均	最大	最小	平均	最大			
密度	標準状態 (g/cm ³)	0.49	0.53	0.61	0.42	0.52	0.62	0.44	0.54	0.67	文献1
平均年輪幅	標準状態 (mm)	0.8	1.5	2.0	2.2~3.1			5.0			文献2
含水率	標準状態 (%)	12.4	12.9	13.4	13	15	18	13	15	18	文献1
縦圧縮強さ	標準状態 (N/mm ²)	39.9	42.7	51.6	34.3	44.1	53.9	34.3	44.1	58.8	文献1
圧縮比例限度	軸方向L (N/mm ²)	28.6	31.1	37.9	27.5			-			文献3
	半径方向R (N/mm ²)	2.8	3.4	4.0	2.5			-			
	接線方向T (N/mm ²)	2.7	3.4	4.1	1.8			-			
圧縮ヤング係数	軸方向E _L (kN/mm ²)	10.92			11.77			-			文献4
	半径方向E _R (kN/mm ²)	1.22			1.23			-			
	接線方向E _T (kN/mm ²)	0.91			0.64			-			
せん断強さ	まさ目面 (N/mm ²)	9.7	10.1	10.4	6.9	9.3	11.8	5.9	8.8	10.8	文献1
	板目面 (N/mm ²)	6.6	8.4	9.9							

文献1: 社団法人 日本木材加工技術協会, 「日本の木材」, pp16~19, 1966.5
 文献2: 独立行政法人 森林総合研究所監修, 「改訂4版木材工業ハンドブック」, p63, 2004.3
 文献3: 独立行政法人 森林総合研究所監修, 「改訂4版木材工業ハンドブック」, p136, 2004.3
 文献4: 独立行政法人 森林総合研究所監修, 「改訂4版木材工業ハンドブック」, p135, 2004.3
 文献5: 社団法人 日本木材加工技術協会, 「日本の木材」, pp30~31, 1966.5

方法全てが妥当であるとは限らない。したがって調査の前提条件を十分に確認した上で、各調査・診断方法を使い分けたり、組み合わせたりして総合的に劣化診断手法を決定することが現実的である。

特に重要なのは、どの部分がどの程度傷んでいるのかを診断するためには、ある程度、木材の損傷を伴わざるを得ないことである。そこでTable 6は、木材損傷の許容程度に基づき、調査・診断手法の分類を試みた。全く木材を傷つけられない場合は目視観察や含水率測定、極くわずかな木材損傷が許容される場合は貫入抵抗の測定、わずかに木材採取が許容される場合は成長錐による小コア材採取、また部材採取まで許容される場合は強度試験等が選択でき、さらにこれらを組み合わせることで、より信頼性の高い木材劣化診断を行うことができると考える。

6. まとめ

本報告では、筆者らの実務経験に基づき、伝統的木造建築物の木材劣化に関する調査項目、方法およびの調査・診断結果事例を詳細に述べた。さらに木材損傷の許容程度という観点から、適切な調査・診断手法を選定し、それらを組み合わせることで、より信頼性の高い木材劣化診断を行うことができるとの考えを述べた。これらの知見が木材劣化診断手法に関する調査研究を推進する上での糸口となり、伝統的木造建築物の維持保全に役立てることができると確信する。

参考文献

1) 伊原恵司: 「千年使える木造建築」の舞台裏 - 古建築の修理周期 -, 1999年度日本建築学会大会(中国) 総合

Table 5 ヒノキ材の実験値と文献値の比較
Comparison between Experiment Value and Document Value of a Japanese Cypress

性質		実験値(床下束材)	文献値(ヒノキ)			文献値の出典		
			最小	平均	最大			
密度	標準状態 (g/cm ³)	0.43	0.44	0.46	0.34	0.44	0.54	文献5
平均年輪幅	標準状態 (mm)	1.8	2.3	2.8	0.9			文献2
含水率	標準状態 (%)	12.1	12.6	13.0	13	15	18	文献5
縦圧縮強さ	標準状態 (N/mm ²)	45.0	46.8	48.4	34.3	39.2	49.0	文献5
圧縮比例限度	軸方向L (N/mm ²)	34.1	35.5	37.6	-			文献5
	半径方向R (N/mm ²)	3.3	4.3	5.3	-			
	接線方向T (N/mm ²)	2.2	2.5	2.9	-			
圧縮ヤング係数	軸方向E _L (kN/mm ²)	12.88			-			文献5
	半径方向E _R (kN/mm ²)	1.07			-			
	接線方向E _T (kN/mm ²)	0.50			-			
せん断強さ	まさ目面 (N/mm ²)	8.3	9.4	10.3	5.4	7.4	9.8	文献5
	板目面 (N/mm ²)	7.9	10.4	12.3				

Table 6 木材損傷の許容程度による調査の分類
Classification of investigation Methods Based on Permissible Extent of Wood Damage

損傷の許容程度による調査の分類	具体的な調査・診断法	長・短所
非破壊	・目視観察 ・含水率測定	定性的な建物全体の劣化傾向の把握は可能。ただし定量的評価は困難
超微小破壊	・レジストグラフによる貫入抵抗の測定	内在する異常部と深さの関係が定量的に確認できる。ただし抵抗値と材料強度との関係は将来の課題
微小破壊	・成長錐による小コア材採取とそれを用いた強度試験	小コア材を採取し、直接、目視観察が可能。ただし強度試験は将来の課題
破壊	・材料強度試験(圧縮強さ・せん断強さ)	材料強度を定量的に評価できる。ただし部材採取場所が限られる

研究協議会 - 資料, pp9~12, (1999)

2) 日本建築学会近畿支部: 阪神大震災歴史的建造物被害調査報告, 64p, (1995)
 3) 松波秀子: 日本建設産業界と保存, 日本建築学会建築雑誌, Vol.112, No.1400, pp34~35, (1997)
 4) 神山幸弘: 講座 木造建築物の耐久計画(1)~(6), 建築士, (1979.4~9)
 5) 早稲田大学理工学総合研究センター: 錦帯橋老朽調査報告書, 40p, (1998)
 6) Claus Mattheck, Helge Breloer(藤井栄二郎, 宮越り力共訳): 樹木からのメッセージ 樹木の危険度診断, 誠文堂新光社, 206p, (1998)
 7) 農林水産省林業試験場監修: 改訂3版 木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, pp174~187, (1982)
 8) 島地, 他: 図説木材組織, 地球社, pp62~63, (1986)