

# 〔報告〕 穿孔抵抗測定法を用いた文化財建造物の構造部材の 虫害評価に関する一考察（第2報）

## —日光輪王寺における虫害を事例として—

藤井 義久\*・藤原 裕子\*・原田 正彦\*<sup>2</sup>・木川 りか・  
小峰 幸夫\*<sup>3</sup>・川野邊 渉

### 1. はじめに

木造の文化財建造物の保存修理に際しては、腐朽や虫害といった木部の生物劣化の評価に基づいて修理や劣化対策の計画をたて、修理後の維持管理の計画も既往の劣化の原因に対する考察をもとに立案することが望まれる。また建造物修理の中心的な作業となる木部部材の交換、補修や補強を適切に進めるためには、劣化による部材の断面欠損や強度低下の状態を可能な限り正確に把握しておく必要がある。さらに断面欠損や強度情報の取得のために実施される調査や計測は非破壊が原則である。その一方で大型の寺院建築などでは、大断面で長尺の部材が多数用いられており、一般的に用いられる非破壊的な物性の評価装置では装置の容量、精度や効率などの性能に限界があり、実用的ではない。また個別の部材の強度は、多少なりともその部材を破壊しないとわからないという計測原理上の希求条件を考えれば、強度評価に際しては、強度と相関すると言われている弾性諸定数や密度などの物性データで強度を推定するか、劣化症状を示している部位とその周囲をわずかに破壊し、その際の力学的諸量から部材の強度や欠損領域の分布を推定する以外に方法はない。

前報<sup>1)</sup>では、後者に属する手法として穿孔抵抗測定法とこの原理にもとづく測定装置であるレジストグラフについて、その基本性能を検討し、これによる部材の強度や部材の断面欠損の評価の可能性を実験室実験と建造物での試行試験によって明らかにした。本報告では、今後解体修理される輪王寺の本堂（栃木県日光市）の柱の一部について本方法を適用し、柱部材内部の虫害分布を評価の可能性と課題を検討した。

### 2. レジストグラフを用いた穿孔抵抗測定

#### 2-1. 装置の概要

材料の一部をわずかに破壊するときに要する力学的エネルギーや力を測定して強度を評価する手法には鋼製ピンを衝撃的に木部に打ち込み、その深さで強度を評価する手法や、細長い錐で穿孔した時の穿孔抵抗（トルク）を測定する手法が開発されている。本報告では前方に引き続き穿孔抵抗測定法について、既往の研究成果<sup>2-5)</sup>を参照しながらレジストグラフ（型式 IML-RESI F300, IML Instrumenta Mechanik Labor GmbH 製）を用いて穿孔抵抗を測定した。本装置の測定原理や基本性能については、前報のとおりである。

#### 2-2. 調査部位

図1に輪王寺の本堂の柱配置図と通り番付を示す。今回の調査では予め視診、触診、打診および木工ドリル（ギムネ）による穿孔によって材内部にあるオオナガシバンムシの食害の調査を実施していたので、その結果を参考に15通の“は”から“な”の柱、“は-13”柱、および

\*京都大学大学院農学研究科

\*<sup>2</sup>財団法人日光社寺文化財保存会

\*<sup>3</sup>財団法人文化財虫害研究所

“は-11”の各柱の頂頭部の1ヶ所（頭貫の位置）において穿孔した（図2）。さらに13本の柱8本の上部の4箇所において穿孔を行った（図3）。

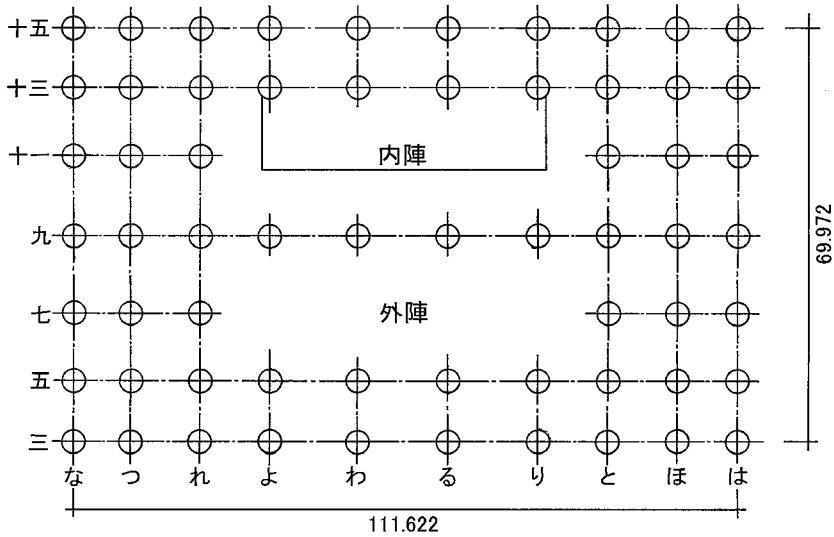


図1 輪王寺本堂内柱配置図  
平成の解体番付けによる。単位は尺

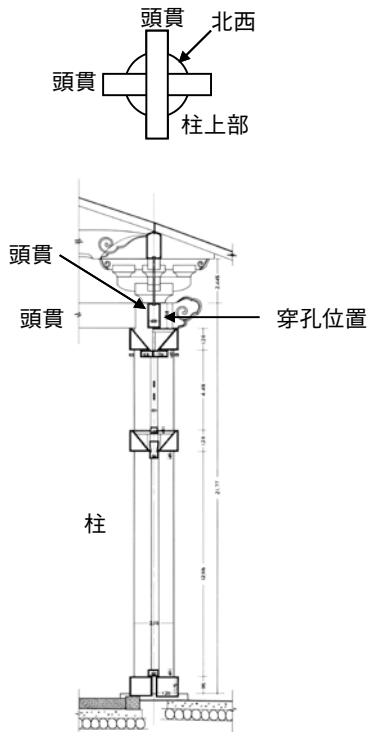


図2 レジストグラフ穿孔位置（裳階柱）

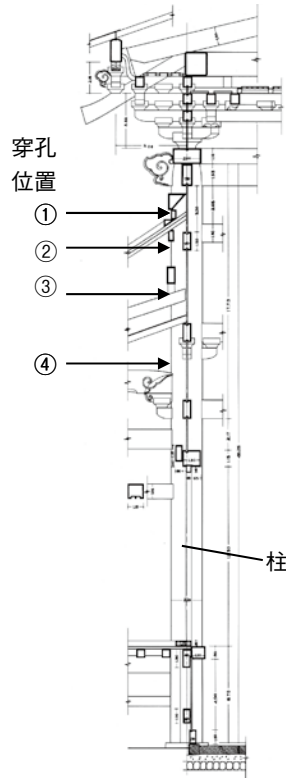


図3 レジストグラフ穿孔位置（主屋柱）

### 3. 調査結果

#### 3-1. 裳階柱の穿孔抵抗測定結果

図4に裳階柱12本の上部の1ヶ所において穿孔抵抗を測定した結果を示す。穿孔は、柱の上端から約150mm下がった位置において、北西方向から丸柱の中心に向かって行なった。この位置は、柱上端の切り欠き部に、頭貫が落とし込まれた位置であるので、錐は穿孔し始めてからしばらくは柱材を穿孔し、柱内部の切り欠き部と頭貫との空隙に達した後、頭貫の内部を穿孔するようになる。図4において、穿孔し始めてから150mmから180mm程度までの穿孔深さの穿孔抵抗の変動は丸柱部の穿孔抵抗であり、それに続いて見られる穿孔抵抗が急減している10mmから20mmの範囲は、錐が内部の空隙を通過している状況に対応している。この部分では本来穿孔抵抗は0になるはずであるが、頭貫の勘合度が高く、空隙の量が少ない場合や、錐が理想的な進行方向から逸れた場合などは完全には0にならない場合がある。さらにそれより深部での穿孔抵抗の変化は頭貫を穿孔した時の穿孔抵抗を示している。

丸柱（ケヤキ材）と頭貫（針葉樹材）に虫害がなく健全な状態とした場合の穿孔抵抗の変化は、“な-15”，“れ-15”，“よ-15”，“り-15”，“と-15”，“は-15”，“は-13” および “は-11” の柱での結果にみられるような変化を示すものと思われる。すなわち丸柱部分の穿孔では、放射方向に錐が進行するため早晚材の密度差による周期が短く激しい穿孔抵抗の変動が認められる。一方、頭貫の穿孔では多くの場合芯去りの板目材ないしは二方桁目材の板目面に対して斜め方向から錐が材に進入し、木理（繊維）方向に平行に近い角度で錐が進行するため、

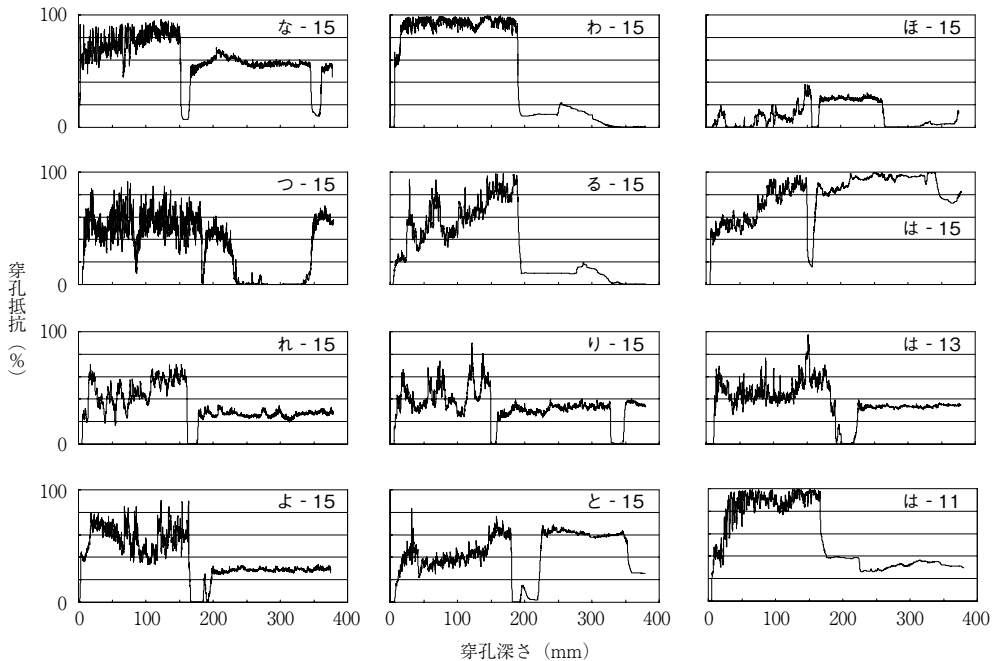


図4 穿孔抵抗測定結果(裳階柱)

錐がある年輪境界から次の年輪境界にいたるまでの進行距離が長くなるため、穿孔抵抗の変動が小さくなる。またケヤキ材と針葉樹材の密度あるいは強度差によって、丸柱部分の平均的な穿孔抵抗は、頭貫部分のそれよりも高くなっている。

一方、オオナガシバンムシによる食害によって生じた穿孔部分を錐で選考すると、断続的に穿孔抵抗が低下し、虫害が進行して材内部が空洞化している場合には、穿孔抵抗は殆ど発生せず、0のレベルを維持するものと思われる。また食害部に虫糞が詰まっても穿孔抵抗はほとんど発生しない。このような症状を示していると考えられるのは、“つ-15”と“ほ-15”と考えられる。“つ-15”では頭貫の部分で穿孔抵抗がほとんど発生していない。また“ほ-15”では丸柱部分でも頭貫の部分でも穿孔抵抗の値は低く、断続的ではあるが、ほとんど発生していない部分がある。これらの穿孔抵抗の著しく低い部分は、虫害が進行し、材内部が空洞化している部分と推定される。部材の外観検査や打診などの結果と穿孔抵抗の変化とは概ね矛盾していない。また外観は健全そうでも内部に食害部位があることが示唆される穿孔抵抗の変化があることがわかった。これらの部分では、再度穿孔抵抗を測定したり、解体時に内部の状態との対応を確認するなどの作業が必要になる。

虫害部位による穿孔抵抗の変動(低下)と断定しにくい結果となっているのは、“わ-15”および“る-15”といえる。これらの部位では丸柱部は穿孔抵抗も高い値の範囲で安定的に推移しているため健全と認められるが、頭貫の部分での穿孔抵抗が低く、安定していない。しかし虫害部分の穿孔時に認められる断続的な変動が認められない。この原因として材内部で錐の進行方向が理想的な方向から逸れ、頭貫の部分で適切に穿孔していないことが考えられる。特に“る-15”では、丸柱部分の穿孔抵抗が錐の進行とともに単調に増加している。これは錐が材内でまっすぐに進まず、穿孔とともに曲がっていった場合に見られる穿孔抵抗の特徴であり、これが原因となって頭貫の部分で適切に穿孔されなかったことが考えられる。

### 3-2. 主屋柱の穿孔抵抗測定結果

主屋の柱6本について、それらの上部の3ないし4ヵ所の穿孔抵抗を測定した結果を図5および6に示す。

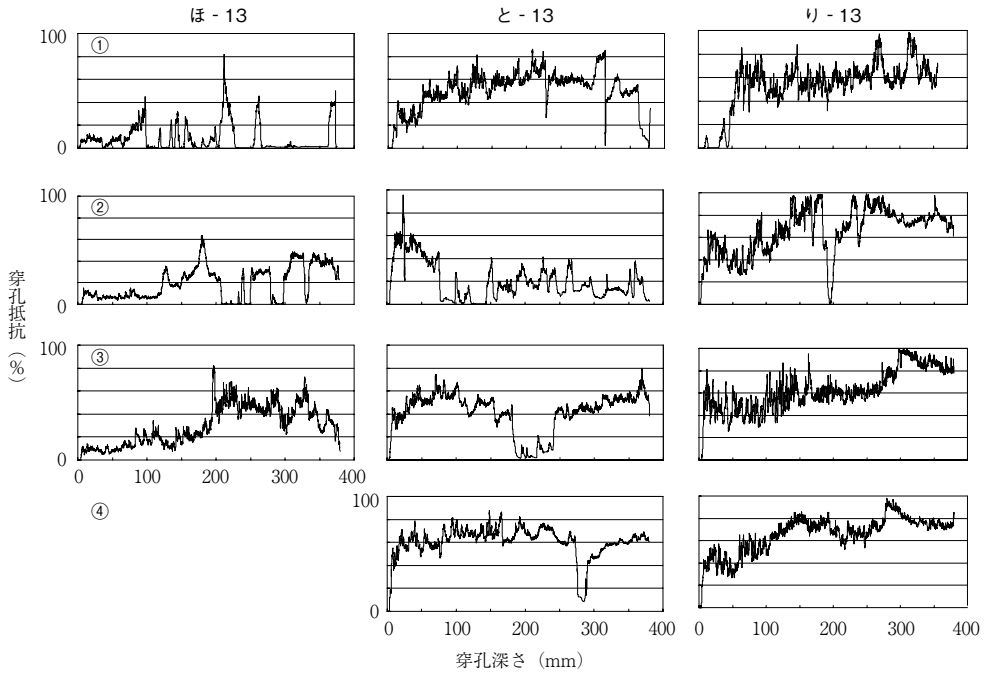


図5 穿孔抵抗測定結果（主屋柱）（その1）

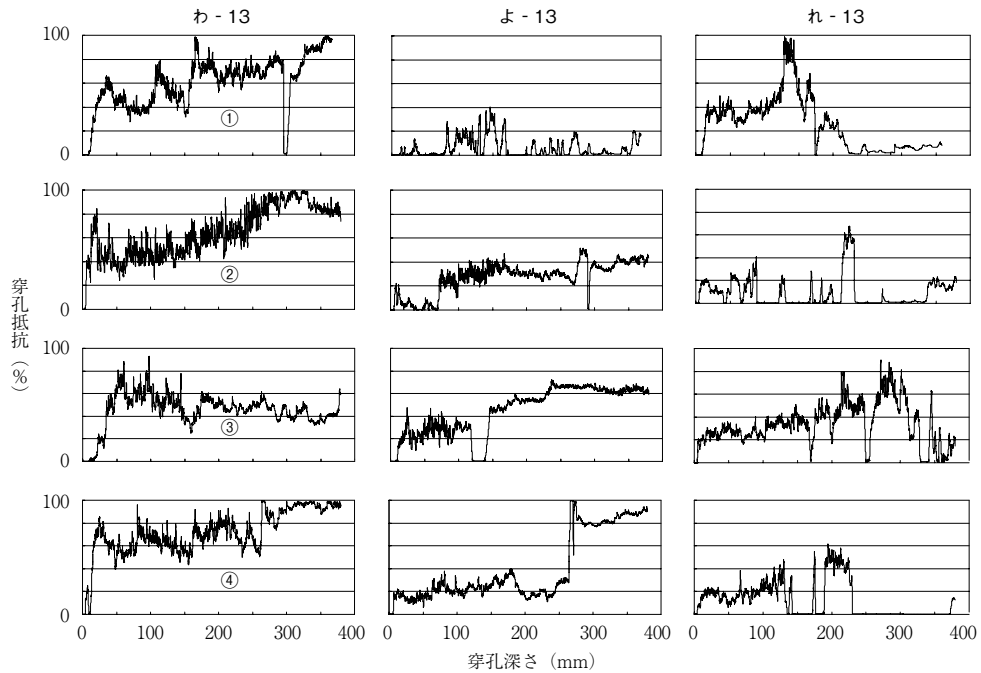


図6 穿孔抵抗測定結果（主屋柱）（その2）

“り-13”や“わ-13”の柱では、高さの異なる①から④の部位のいずれの穿孔抵抗も、変動しながら比較的高い値を保ったまま漸減あるいは漸増の傾向を示している。周期が短い変動成分が早晚材の密度差による穿孔抵抗の変動と思われる。ただし“り-13”の柱の表面から50mm程度までの深さまでは穿孔抵抗が低く、表層直下に虫害部分があることが示唆される。

“と-13”の柱では、①や④の位置での内部は概ね健全と思われるが、②や③の位置では内部に穿孔抵抗が低く、断続的に増減する領域が認められることから虫害がある可能性がある。この傾向は“ほ-13”の柱ではより顕著で、内部の空洞化が進んでいるものと思われる。これと同様の傾向を示しているのは“よ-13”の柱の①や②の表層部と考えられる。また“れ-13”の柱では、①から④までのいずれの穿孔抵抗にも断続的な増減や0レベルの領域が存在し、①から④の領域にまでひろがった食害領域の存在が示唆される。前節での考察と同様、柱部外観の目視検査などの結果と穿孔抵抗の測定結果とは概ね矛盾しない。

上述のように、健全部分での典型的な穿孔抵抗の変化パターンを踏まえた上で、それに対して著しく値の低い部分がある、断続的な増減が認められる、などの特徴が認められた場合には内部に虫害が存在することが示唆される。これらの部位では近い位置で、穿孔抵抗を再度測定したり、解体時に内部の状態との対応を確認するなどの作業が必要になる。

#### 4. おわりに

本報告では前報で検討したレジストグラフを用いた穿孔抵抗測定による木部の虫害部分の評価方法を実際の構造物に適用した。材内部に虫害部位が存在することが示唆される特徴的な穿孔抵抗の変化パターンがあることが明らかとなった。前報で本法によって虫害部位が検出できることを明らかにしたが、今後これらの部位を含めて、健全と思われる部位においても穿孔抵抗の変化と実際の材の状態との対応付けが望ましい。

本法を実際の大型建造物などに適用する場合には、非常に多数の位置で穿孔抵抗を測定する必要があり、一定の時間とコストがかかることはやむをえない。しかし、これによって虫害などによる大型部材の内部の空洞化の概要を把握することができる。また本法では材に穿孔を設けるため、完全な非破壊試験とは言えないが、材内部にある虫害部位を薬剤などで処理する場合には、穿孔を利用して注入することも考えられる。

その一方でレジストグラフによる穿孔抵抗の変動は年輪構造などの影響を受けるため、測定結果の解釈に際しては対象材の表面に現れた木理の走行などへの考慮が必要となる。

#### 謝辞

本稿をまとめるにあたり、公表を快くご許可いただきました日光山輪王寺の関係者の方々に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 藤井義久, 藤原裕子, 原田正彦, 木川りか, 小峰幸夫, 川野邊渉: 穿孔抵抗測定法を用いた文化財建造物の構造部材の虫害評価に関する一考察 日光輪王寺における虫害を事例として 保存科学, 48, 215-222 (2009)
- 2) D.Eckstein, U.Saß: Bohrwiederstandsmessungen an Laubbäumen und ihre holzatomistische Interpretation, Holz als Roh- und Werkstoff, 52, 279-286 (1994)
- 3) F. Rinn, F.-H. Schweingruber, E. Schär: RESISTGRAPH and X-Ray density charts of wood

comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species, *Holzforschung*, 50, 303-311 (1996)

- 4) Cheng-Jung Lin, Song-Yung Wang, Far-Ching Lin, Chih-Ming Chiu: Effect of moisture content on the drill resistance value taiwania plantation wood, *Wood and Fiber Science*, 35, 234-238 (2003)
- 5) P. M. Winistorfer, Wei Xu, R. Wimmer: Application of a drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels, *Forest Products Journal*, 45, 90-93 (1995).

キーワード：歴史的木造建築 (historic wooden architecture)；生物劣化 (biodeterioration)；非破壊検査 (non-destructive inspection)；穿孔抵抗 (drill resistance)；レジストグラフ (Resistograph)

# Evaluation of Insect Attack in Wooden Historic Buildings Using Drill Resistance Method:Part 2 A Case Study on Sambutsu-do of Rinnohji

Yoshihisa FUJII<sup>\*</sup>, Yuko FUJIWARA<sup>\*</sup>, Masahiko HARADA<sup>\*2</sup>,  
Rika KIGAWA, Yukio KOMINE<sup>\*3</sup> and Wataru KAWANOBE

The feasibility of drill resistance method using RESISTGRAPH apparatus to evaluate insect attack in wooden structural members of historic buildings was investigated. Based on the results presented in a previous report, the drill resistance method was applied to the posts of Sambutsu-do of Rinnohji. It was revealed that characteristic patterns of the change in drill resistance were obtained, both for the sound part of the posts and the part attacked by insects. The results and their interpretation discussed are supported by the results of visual inspection of the posts. Although it takes relatively more time and cost, the distribution of insect attack can be clarified by applying this method to the entire structure of a building.

---

<sup>\*</sup>Kyoto University      <sup>\*2</sup>Nikko Cultural Assets Association for the Preservation of Shrines and Temples  
<sup>\*3</sup>Japan Institute for Insect Damage to Cultural Properties