

モード解析法による木材腐朽診断システムの構築

Development of wood-decay diagnostic system by modal analysis

秋田県立大学 木材高度加工研究所 准教授 岡崎 泰男

（研究計画ないし研究手法の概略）

1. はじめに

木造建築の使用部材に腐朽劣化が発生すると、部分的に物性が変化するため、健全な部材を使用した状態からその振動性状が変化することが予想される。構造部材の振動性状を調べる手法の代表的な手法として実験モード解析法がある。本研究は、この実験モード解析法を用い、木造建築における腐朽検出、および、その位置と程度を同定できるシステムの構築することを目的としたものである。本研究ではその基礎的な知見を得ることを目的とし、1) 両端自由支持条件下における、腐朽程度、断面寸法の異なる木材を対象とした実験モード解析、2) 1) で使用した腐朽木材を用いた架構モデル試験体を対象とした実験モード解析、3) 2) で使用した架構モデルに床・壁仕上げを施した住宅モデル試験体を対象とした実験モード解析の3種類の実験および解析を行い、腐朽劣化がそれぞれの試験体の振動モード特性に与える影響について検討を行った。なお、通常の実験モード解析は2次元ないしは3次元の複雑な形状の試験体を対象として行われることが多いが、本研究では、その目的が腐朽の存在を検出することに限定されているので、複雑な解析は行わず、軸材を対象とした1次元の実験モード解析を行うこととし、参考文献¹⁾を参考にして、1自由度法（モード円適合法）による実験モード解析を行った。

2. 実験概要

試験体の樹種はスギを用い、断面寸法は105mm×105mm（柱材、土台材を想定）、105mm×45mm（間柱材、横枅材を想定）、45mm×45mm（床根太材を想定）の3種類に加工して用いた。試験を行う前に森林総合研究所の6段階評価法²⁾に準じて目視による腐朽状態の評価を行った。評価は端部から10cm間隔で行い、状態が健全な場合が劣化被害度0，部分的に軽度の腐朽を1，全面的に軽度の腐朽を2，部分的に激しい腐朽を3，全面的に激しい腐朽を4，腐朽により形がくずれる状態を5とした。劣化程度は部材により異なっていたが、平均で2.5程度であり、かなり激しく劣化をしていた。

実験1) 両端自由支持条件下における、腐朽程度、断面寸法の異なる木材を対象とした実験モード解析は以下の手順で行った。まず写真1に示したように、部材の両端をスポンジに載せた状態で支持し、その中央に市販の両面テープで加速度センサを取り付けて、端部から5cm間隔でインパルスハンマで打撃し、インパルスハンマの入力波、加速度センサの応答波をデータロガーを介してパソコンに取り込み、それぞれの測定点について周波数応答関数を求めた。サンプリング周波数3840Hzで測定を行い、フィルタは掛けず、0～1500Hzのデータを使用した。なおここで使用した部材は2) で使用した架構モデル試験体の部材として使用するために、それぞれ長さが異なっており、支点間距離はそれによってことなっていた。カーブフィットは1自由度法（モード円適合法）により行った。全測定終了後、参考文献¹⁾の手法により各測定点

の固有モードを推定した。

実験2) 1)で使用した腐朽木材を用いた架構モデル試験体を対象とした実験モード解析、および、実験3) 2)で使用した架構モデルに床・壁仕上げを施した住宅モデル試験体を対象とした実験モード解析は、実験1)で使用した部材を図1に示した形状に組み立て、実験2)はフレームの状態(写真2)、実験3)は壁・床を仕上げた状態で実験を行った。接合部はビス留めとし、支持条件としては固定端に近い条件となっている。また、健全

な部材を使った構造との振動性状の比較検討を行うため、腐朽の無い健全なスギ部材を使って同仕様の試験体を作成し、同様の実験を行った。打撃位置は、実験1)と同じ箇所とし(ただし仕様により他の部材の後ろに隠れてしまった場所等は除く)、実験3)では仕上げ材の上から打撃した(写真3)。加速度センサの取り付け位置は、基本的にはスパンの中央としたが、測定の結果うまく振動測定ができなかった場合は、取り付け位置を変えて再度測定を行った。測定条件、データ処理、モード解析方法は実験1)と同じであった。

【参考文献】

- 1) 長松昭男、モード解析入門、コロナ社(1993)
- 2) 雨宮昭二：浅川実験林苗畑の杭試験(1)杭の被害程度を評価する方法、林試研報, No. 150, p. 143-156, 農林省林業試験場, 1963. 3

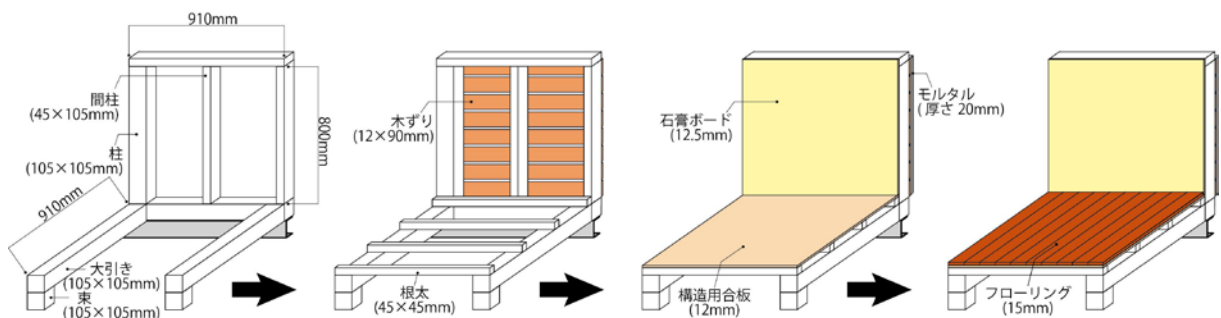


図1 架構試験体および住宅モデル試験体の概要



写真2 架構試験体

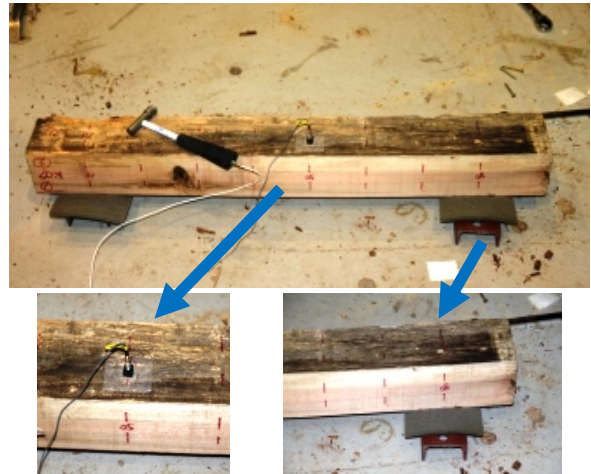


写真1 実験1)の概要



写真3 実験3)測定の様子

(実験調査によって得られた新しい知見)

1. 両端自由支持条件下における、腐朽程度、断面寸法の異なる木材を対象とした実験モード解析

腐朽のある45mm角材(写真4)をモード解析して得られた1次の固有モードを図2に示す。なお以下のグラフでは比較のため、各試験体の固有モードの最大値が1となるように規格化した結果を示している。写真4に示した通り、K26_3は比較的軽微な劣化、K23_1、K24_1は片側がひどく劣化、K25_2は全面的に大きく劣化しているにも関わらず、1次の固有モードに大きな違いは認められないが、劣化が大きいK23_1、K25_2は他の二つと比べると中央部のモードが大きくなっており、また、片側がひどく劣化しているK23_1ではモード形状がやや左右非対称になっており、腐朽劣化がモード形状に影響を及ぼすこと



写真4 45mm×45mm(床根太用)部材の劣化状態
上から、K23_1、K24_1、K25_2、K26_3。ただしK25_2は打撃面の側面の写真

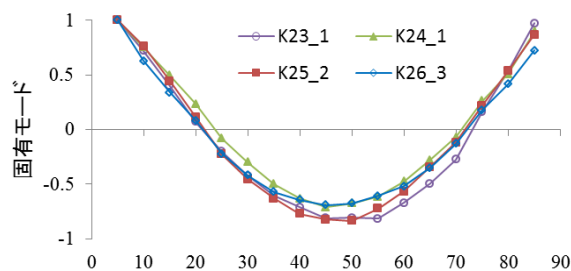


図2 腐朽のある45mm角材の1次固有モード



写真5 105mm×105mm、105mm×45mm(柱、土台、間柱)部材の劣化状態
上から、K19_3、K18_3、K11_4、K11_5、K02_3、K02_1。ただし、K11_4とK11_5、K02_3とK02_1の異なる面

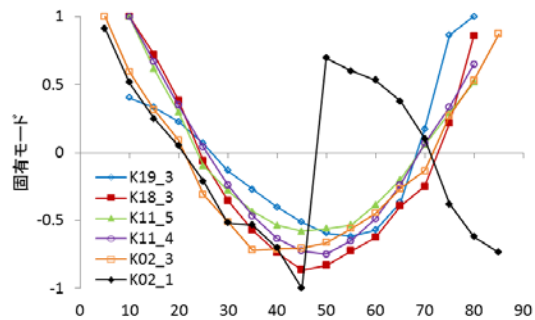


図3 腐朽のある105mm材の1次固有モード

は確認できた。

腐朽のある105mm材(写真5)をモード解析して得られた1次の固有モードを図3に示す。45mm角材の結果とは違い、K02_1とK19_3のモードが他と大きく異なっている。ただし、K02_1は位相がずれた結果である。これは打撃面の腐朽劣化が激しく柔らかくなっていたことが影響したと考えられる。K19_3は左側の支点部分が著しく腐朽劣化しているため、その影響を受けてモード形状が左右

非対称になったものと考えられる。

以上の結果から、両端自由支持条件下では、局所的に大きな腐朽劣化が発生した場合は固有モードに

影響が現れることが起こり得るが、全面的に腐朽している場合は逆に検出が困難であることが明らかとなった。

2. 実験1で使用した腐朽木材を用いた架構モデル試験体を対象とした実験モード解析

図5、6に床根太材の固有モード（1次、2次）を示す。実験1の両端自由条件では腐朽劣化程度による

モード形状にはほとんど違いが見られなかったが、固定端支持に近い実験2の支持条件では、大きな違いが見られた。実験1でモード形状がやや非対称になっていたK23_1は、1次、2次モードとも右端部分に大きな違いが見られた。これは右端部分の腐朽劣化がひどく、土台に固定したビスが効かずに右端が自由端に近い状態になっていたためであり、接合部分に腐朽劣化が起こり、接合の緩みが生じた場合はモード解析により検出が可能であることを示唆する結果となっている。また、K24_1については、右側の腐朽劣化がひどく空洞状態になっているために、両端自由条件では伝わった振動が伝わらず、1次モードが満足に得られなかった結果、図5のようなモード形状となった。これは、内部腐朽が発生した場合も発生部位によってはモード解析により検出が可能であることを示唆する結果となっている。

しかしながら、側面の劣化が激しいK25_2は、劣化がほとんどないK26_3とほとんどモード形状に違いが無かった。K25_2は、実験1で述べたように全面的に腐朽しており、また、土台への接合部分は健全であったため違いが出なかったと考えられる。

また、柱、間柱については床根太と違って振動が複雑なため固有モードがはっきりせず、今回の解析方法では腐朽の影響が出ているかを同定するに至らなかった。今後、周波数応答関数の推定方法の見直し、他のモードパラメータの違いの影響等を検討する必要がある。

3. 実験2で使用した架構モデルに床・壁仕上げを施した住宅モデル試験体を対象とした実験モード解析

図7に床（フローリング仕上げ）上から打撃した場合の床根太材の1次固有モードを示す。図中のAS10、AS11、AS12、AS13は、健全材で作成したコントロール試験体に対する実験より得られた固有モード形状である。実験2と同様にK23_1、K24_1のモード形状が他と異なっていることがわかる。K23_1については実験2の結果と同様に右端部分のモード形状が異

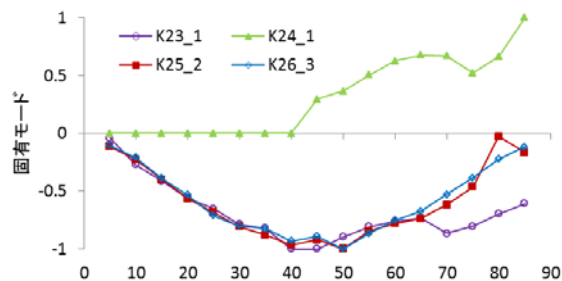


図5 床根太材の1次固有モード

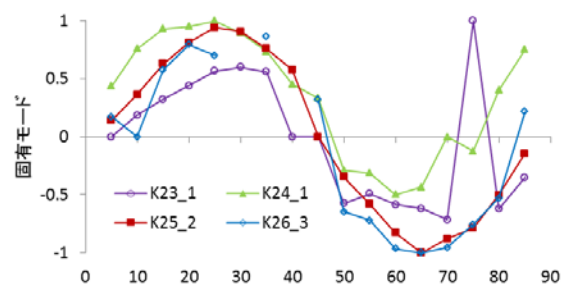


図6 床根太材の2次固有モード

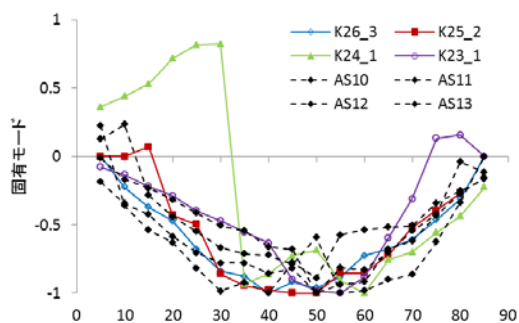


図7 フローリング上から打撃した場合の床根太材の1次固有モード

なっており、接合部分の腐朽劣化による緩みの影響がここでも現れていると考えられる。K24_1については、実験1のK02_1と同様に位相がずれた結果、このようなモード形状になった。右側部分の激しい腐朽劣化が位相変化に影響してもものと考えられ、実験2までの結果と同様に、局所的な激しい腐朽劣化があればモード解析手法により検出できる可能性があることを示唆する結果となっている。ただし、今回の結果で位相がずれた位置は劣化部位の反対側であり、これだけでは腐朽位置の検出は困難であると言わざるを得ない。今後は、他のモードパラメータについても合わせて検討を行い、位置検出の可能性について検討を行う必要がある。

また、柱、間柱については実験2と同様の結果となった。やはり今後、周波数応答関数の推定方法の見直し、他のモードパラメータの違いの影響等を検討していく必要がある。

(発表論文)

- ・ 岡崎泰男:「モード解析法による木材腐朽診断」, 木材利用論文集、Vol.13, 2014 (2014/5/9 投稿予定)