

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：57601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820238

研究課題名(和文) 甲虫による劣化が伝統木造建築物の耐震性能に与える影響

研究課題名(英文) Effect of deterioration by beetles on seismic performance of Japanese traditional timber structures

研究代表者

大岡 優(OOKA, YU)

都城工業高等専門学校・建築学科・講師

研究者番号：00612475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、甲虫による劣化が伝統木造建築物の耐震性能に与える影響について検討したものである。劣化材を対象とした実験の結果、劣化材の材料特性や接合部性能を把握することができた。また、簡易な計測装置を用いて、劣化度を把握するための検討を行った。さらに、実験結果を反映させた数値解析を行い、劣化箇所と建物の耐震性能との関係性について検討することができた。

研究成果の概要(英文)：This research examined seismic performance of Japanese traditional timber structures in consideration of deterioration by beetles. First, strength tests were conducted in order to evaluate strength and joint properties of old members deteriorated by beetles. Second, the methods of evaluating deterioration degree were established. Finally, the numerical analyses were conducted to figure out the effect of the deterioration on the earthquake responses of the Japanese traditional timber structures.

研究分野：木構造

キーワード：木構造

1. 研究開始当初の背景

神社・仏閣、古民家、町家などの伝統木造建築物の耐震性能を変化させる要因として、経年に伴い部材自体の材料特性が変化する「部材の老化」、虫害・腐朽による「生物劣化」などの経年変化がある。しかしながら、経年変化が建物の耐震性能に与える影響を数値解析などによって具体的に検討した事例はほとんどない。また、伝統木造建築物の構造材には様々な樹種が使用されているが、データの不足から古材の材料特性についてはいまだ明らかになっていない。虫害においては、劣化調査や文献調査の結果、シロアリ以外の甲虫(シバンムシなどの乾材害虫)による被害も数多くみられることがわかってきた。甲虫の食害を受けた部材表面には、写真1に示すような数mm程度の孔が無数に開いており、内部はその食害によって蟻の巣状の空洞部が存在している。甲虫劣化は仕口部で発生するケースも多く確認されるため、この甲虫被害による建物の耐震性能の低下も大いに予想される。

今後、経年変化の影響を考慮し、実際に建物の補修・補強の提案を行うためには、甲虫による劣化が部材強度や耐震性能に与える影響を把握することが重要な課題となる。また、甲虫による劣化においては、劣化部と健全部との境界が不明瞭な場合が多く、外観からは部材内部の劣化状況の把握が困難という特徴がある。そこで、部材内部における劣化状況を把握できる検査法や検査結果から強度を推定する方法を模索する必要がある。

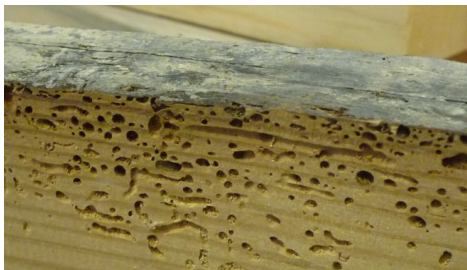


写真1 甲虫劣化の様子

2. 研究の目的

本研究では、伝統木造建築物の経年変化の中でも比較的発生し易く、建物の耐震性能に大きな影響を与える可能性のある甲虫による劣化に焦点を当て検討する。神社・仏閣、古民家、町家を代表とする伝統木造建築物の多くは、国や地域の歴史的・文化的象徴であり、文化財として認定されているものもある。日本は地震大国であるため、これらの建物を地震から保護していくことが重要である。甲虫による劣化が伝統木造建築物の耐震性能を大きく低下させることも予想されるが、その発生・進行メカニズムや部材強度に与える影響など不明な点も多い。本研究では、主に実験・数値解析を通して、甲虫による劣化が建物の耐震性能に与える影響を検討するこ

とを目的とする。

3. 研究の方法

甲虫による劣化が建物の耐震性能に与える影響を、実験・数値解析を通して検討する。実験に用いた木材は、建物の部材として使用されてから80~190年程度経過している古材(スギ・ヒノキ・ツガ・アカマツ・クリ)である。

(1)劣化材の材料特性・接合部性能の把握

材料特性の把握については、健全材と甲虫劣化材を対象とした材料実験を行うことによって検討する。材料実験は、木材の主要な力学的特性の把握を目的として、日本工業規格JISZ2101「木材の強度試験」に準拠した縦圧縮(繊維方向)試験・横圧縮(繊維直交方向)試験・曲げ試験などの実験を行う。

接合部性能の把握については、古材から板状の貫部材を作成し、伝統木造建築物の耐震要素の中でも重要な三角めり込みの復元力特性について検討する。

(2)劣化判定技術の検討

甲虫被害を受けた部材の劣化状況の把握を目的として、ピロディン(断面約2mm程度のピンを部材表面から打ち込み、ピン貫入深さを計測する装置)およびFAKOPP(2つのセンサーを一定の距離をおいて部材に打ちつけ、発信用センサーを専用のハンマーで叩き、発生した衝撃波が受信センサーに届くのに要した時間をマイクロ秒単位で直読する装置)の2つの機器を用いて検討を行った。



写真2 ピロディンによる計測の様子

(3)甲虫劣化を考慮した数値解析

劣化材の接合部実験で得られた結果を、数値解析モデル(寺院2棟、町家・古民家2棟、伝統文化施設1棟)に反映し、地震応答解析を行うことで、建物全体の耐震性能に甲虫による劣化が与える影響を検討する。

数値解析モデルは、柱・横架材を線材とし、接合部には接点パネ(柱脚:傾斜復元力・摩擦、仕口部:木材間のめり込み)を配置し、土壁などの面材は等価なブレースとして置換した骨組モデルを用いた。

地震応答解析は、Newmark法($\alpha=1/4$)による直接積分法で行い、積分間隔は0.002秒とし、減衰は1次モードに対して5%の剛性比例型内部粘性減衰とした。検討用の地震波

としては、JMA 神戸波（1995 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録）などを用いた。数値解析モデルの例を図 1 に示す。

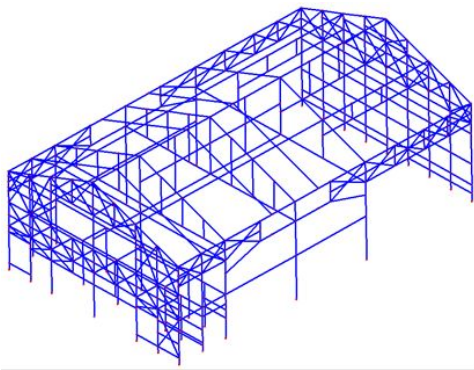


図 1 数値解析モデルの例

4. 研究成果

(1)劣化材の材料特性・接合部性能の把握

本研究で用いた古材（経過年数 80～190 年のスギ・アカマツ・クリ）の甲虫劣化状況については、孔の大きさが 1～6mm、部材表面からの劣化深さは 5～61mm であった。

樹種別で比較すると、広葉樹であるクリの方が、針葉樹であるスギやアカマツと比べて堅木であるためか、部材表面からの劣化深さは最大 8mm 程度であった。

劣化材の材料特性

甲虫によって劣化した木材の材料実験の結果、劣化度（劣化深さなど）によっては材料の剛性・強度ともに大幅に低下することがわかった。また、特にアカマツにおいては他の樹種と比較して劣化度が高い結果となり、樹種の違いによって劣化の進行が異なる可能性が示された。

また、比較のために行ったスギ・ツガ古材（経過年数 80～155 年）の健全古材を対象とした実験の結果、新材の参考値と比較しても同等のヤング係数・強さを有していることがわかった。

劣化材の接合部性能

甲虫劣化が比較的材表面に存在することが多いため、図 2 に示すように大変形領域においても、変形に伴い劣化による孔部分が潰れることである程度の強度をもつ結果となった。しかしながら、材表面からの劣化深さと変形角 1/120rad、1/30rad、1/15rad 時点での最大モーメントの減少率（健全材を 1.0 とする）（図 3）をみると、1/120rad の時は試験体によるばらつきが大きい、1/30rad、1/15rad 時点においては、劣化深さに関係なく、健全材と比べて 30～60%程度になることがわかった。

(2)劣化判定技術の検討

甲虫劣化は、部材表面からの目視が困難な

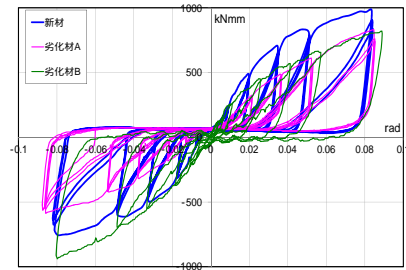


図 2 接合部実験結果(スギの復元力特性)

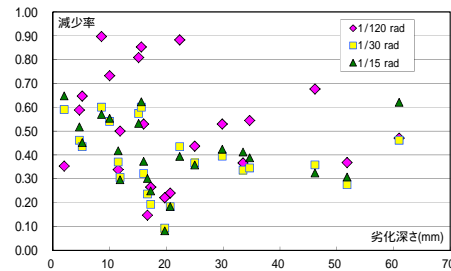


図 3 最大モーメントと劣化深さとの関係

場合が多く、また、接合部の復元力特性を大きく低下させる可能性があることがわかった。したがって、建物の耐震性能評価を行う場合、調査によって部材の劣化評価を行うことが重要となってくる。そこで、劣化度を把握することを目的として、ピロディンによるピン貫入深さの測定および FAKOPP による衝撃波伝搬速度計測による検討を行った。

ピロディン

計測は 1 本の貫試験体に対し、ランダムに 5 箇所を選定してピンを貫入した。なお、甲虫による食孔は同一部材に連続的に存在しないことも多い。ピロディンによる測定箇所は点として限定されるため、実際の建物を対象とする場合、ピン貫入箇所は可能な限り多くすることが望ましいと考えられる。スギ・アカマツの貫試験体において、それぞれの試験体のピン貫入深さの最大値と、接合部実験の復元力特性における 1/15rad 時の最大モーメント（正負の平均値）との相関関係を図 4 に示す。図 4 が示すように、1/15rad の大変形時における最大モーメントとピン貫入深さとの間には、比較的高い相関（決定係数 0.54）がみられた。なお、この貫入深さと最

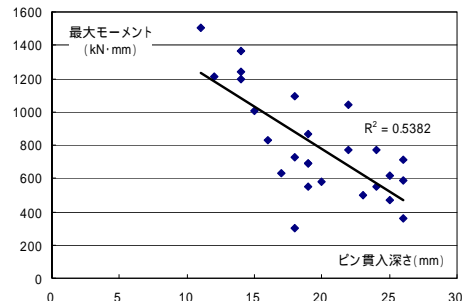


図 4 最大モーメントと貫入深さとの関係

大モーメントとの相関は、変形角が小さくなるにつれ低くなる結果となった（1/30rad：決定係数 0.32、1/120rad：決定係数 0.0057）。

FAKOPP

ヒノキ・アカマツの劣化古材における縦圧縮強さと FAKOPP による衝撃波伝搬速度との比較を行った。その結果、高い相関はみられなかったものの、伝搬速度が速くなるにつれて縦圧縮強さも大きくなる傾向は確認できた。劣化部位が部材表面付近に限定的な場合は、部材内部の状態が比較的健全であるため、センサーを取り付ける位置によっては劣化の影響が伝搬速度にあまり反映されない可能性が考えられる。試験体の数をさらに増やし、劣化深さとの関係を検討することが重要な課題となってくる。

(3) 甲虫劣化を考慮した数値解析

甲虫劣化材を対象とした接合部実験結果を、伝統木造建築物の数値解析モデルに反映させ、地震応答解析を行った。本研究では、甲虫劣化によって接合部性能が健全時の 50% に低下したと仮定した。

数値解析結果の例として、図 5 に示す町家の重心近くの 2 階柱頭部（図 5 中の印）における X 方向、Y 方向の応答変位波形図を図 6、図 7 に示す。健全な場合と比較してみると、X 方向は健全時と劣化時であまり変わらないのに対し、Y 方向では劣化時の方が 74% 程度大きく変形していることが分かる。これは、建物の X 方向では、土壁が密に配置されているため、接合部の劣化があまり影響しなかったのに対し、Y 方向にはあまり土壁がないため、接合部劣化の影響が大きく出たものと考えられる。

本解析のように、他の建物においても、構造的な特徴により劣化の影響がどの程度であるのか把握することができた。したがって、数値解析を行うことにより、実際の建物において、劣化状況の把握を重点的に行うべき場所の選定、補修・補強の優先順位を決定することが可能だと考えられる。

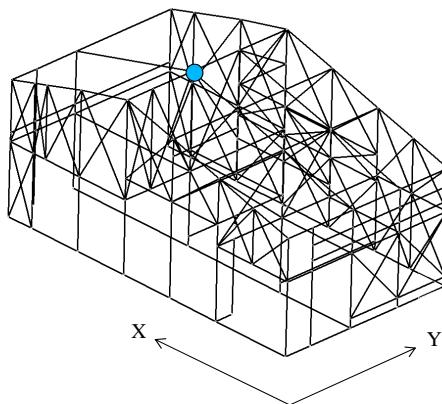


図 5 数値解析モデル（町家）

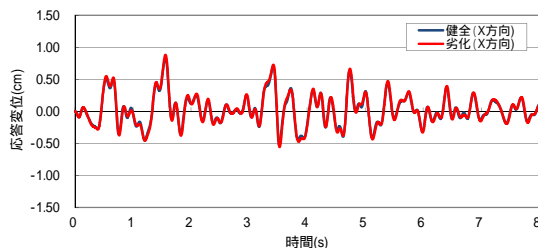


図 6 地震応答解析結果（X 方向）

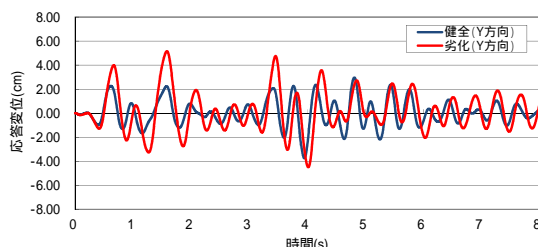


図 7 地震応答解析結果（Y 方向）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

大岡優、甲虫劣化と伝統木造建築物の耐震性能、昆虫と自然、査読無、10月号、2015、38-42

〔学会発表〕(計 3 件)

大岡優、山崎葵、古民家で用いられたツガ古材の材料試験、日本建築学会大会、2015年9月4日、東海大学（神奈川）

大岡優、山崎葵、古民家で用いられたスギ・ツガ古材の材料試験、歴史都市防災シンポジウム、2015年7月4日、立命館大学（京都）

Yu Ooka、Kazuyuki Izuno、Hideaki Tanahashi and Yoshiyuki Suzuki、Seismic Performance of Aged and Deteriorated Wooden Joints of Japanese Traditional Timber Structures、木質構造国際会議、2014年8月10日～8月14日、ケベック（カナダ）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大岡 優 (OOKA, YU)

都城工業高等専門学校・建築学科・講師

研究者番号：00612475