

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23860055

研究課題名（和文） 経年変化を考慮した伝統木造建築物の耐震性能評価

研究課題名（英文） Seismic performance evaluation of Japanese traditional wooden structures in consideration of aging

研究代表者

大岡 優 (OOKA YU)

立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構 ポストドクトラルフェロー

研究者番号：00612475

研究成果の概要（和文）：

本研究は、虫害・腐朽などの「生物的劣化」および「部材の老化」などの経年変化が伝統木造建築物の耐震性能に与える影響を、実験・数値解析・現地調査によって検討したものである。古材を対象とした材料試験・仕口実験の結果、健全古材や劣化古材の材料特性を把握することができた。また、材料試験の結果を反映させた数値解析によって、経年変化が建物の耐震性能に与える影響について検討した。さらに、現地調査において、電磁波探査による部材内部欠損把握の有効性についても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 wooden structures in consideration of aging and deterioration. First, strength and embedment tests were conducted in order to evaluate strength and embedment properties of old wooden members. Second, the numerical analyses were conducted to evaluate the effect of aging and deterioration on the seismic performance of Japanese traditional wooden structures. Finally, the methods of evaluating internal loss of an actual member of old buildings were established.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：伝統木造、耐震性能、古材、劣化、仕口、数値解析、電磁波

1. 研究開始当初の背景

神社・仏閣、古民家、町家を代表とする伝統木造建築物は、現在の日本における木造建築の主流である在来軸組構法とは異なり、筋交い等の斜材や合板等の面材に加えて、金具による補強がほとんどされていない。伝統木造建築物は、木材特有のばらつきや異方性、木組み接合部の複雑さなどから、その構造特性や耐震性能の把握はこれまで困難な状況であった。近年では、実験機器や数値解析技

術の進歩とともに、その構造特性や耐震性能の把握も進展しつつある。その結果、伝統的な木造建築物は、しなやかに変形することによって耐震性能を発揮することが明らかになってきた。伝統木造建築物の耐震性能の特徴は、仕口部（部材同士をある角度をもって接合する箇所）の木材間のめり込みに代表される靱性であり、大変形領域でも強度が落ちないのが最大の特徴である。

この伝統木造建築物の耐震性能を変化さ

せる要因として、虫害・腐朽による「生物的劣化」、経年によって部材自体の材料特性が変化する「部材の老化」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。現地調査の際には、外観からでは判断が困難な虫害・腐朽による部材内部欠損を、貴重な建物を傷つせず簡易に把握することが重要である。この内部欠損を詳細に把握できる非破壊的検査手法がいまだ確立されていないのも現状である。

今後、経年変化の影響を考慮し、建物の具体的な補修・補強の提案を行うためには、古材の材料試験結果に伴うデータの蓄積とともに、古材における仕口のめり込み性能の把握が課題となる。また、部材内部の劣化状況を簡易に把握できる、非破壊検査技術が必要であると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、経年変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後世に健全な形で継承することが重要である。伝統木造建築物の耐震性能は経年によって大きく変化することも予想され、建立されてから長年経過している文化財となるとその影響が顕著になる可能性が高い。そこで、実験・数値解析・現地調査を通じて、経年変化が伝統木造建築物の耐震性能にどのような影響を与えるのか検討し、建物に適した補修や補強方法の提案に結びつけることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 古材の材料試験

経過年数 100～300 年程度の古材（ケヤキ・スギ・ヒノキ・アカマツなど伝統木造建築物で頻りに用いられている樹種）から試験体を切出し、材料試験を行う。材料試験は、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（繊維直角方向）試験・曲げ試験・めり込み試験・せん断試験・割裂試験を行う（各試験の試験体数はそれぞれの年代の古材ごとに 6～24 体）。試験体は、基本的に劣化のない健全部を切出し、横圧縮試験およびめり込み試験においては、虫害による劣化部を分けて切出すことで、劣化材の強度特性についても検討する。なお、本試験における虫害は、シバンムシ

シによるものである。シバンムシは古材を好んで食害するとされる甲虫で、伝統木造建築物の虫害被害としては頻りに確認されるものである。部材内部に蟻の巣状の食孔が空き、部材表面から内部の劣化状況を把握し難いという特徴がある。

縦圧縮試験においては、試験体の歪計測位置の違いによって剛性が大きく異なるため、従来の試験体中央部における歪ゲージ計測の他に、試験機のクロスヘッド間歪によるもの、それらの中間の歪による剛性の算出を行う。なお、横圧縮特性は年輪方向によって大きく変化することが予想される。そのため、年輪方向に着目した検討も行っていく。めり込み試験結果においては、棚橋らによって提案されているめり込み理論（弾塑性パステルナークモデル<EPM>）によるシミュレーションを行うことでその特性の把握を試みる。



写真1 解体古材の一部

(2) 古材の仕口実験

古材における仕口のめり込み性能の把握を目的として、経過年数 100～200 年程度のスギ・ヒノキ・アカマツ古材を対象とした仕口実験を行う。仕口実験は、図1に示す十字型通し貫実験とし、柱・貫ともに長さ 1m 程度の規模を基本とする。なお、貫そのもののめり込み性能を詳細に検討するため、柱は鋼柱を用いた。実験は、上記古材から健全貫部材と虫害（シバンムシ）による劣化貫部材を切出して実施する。

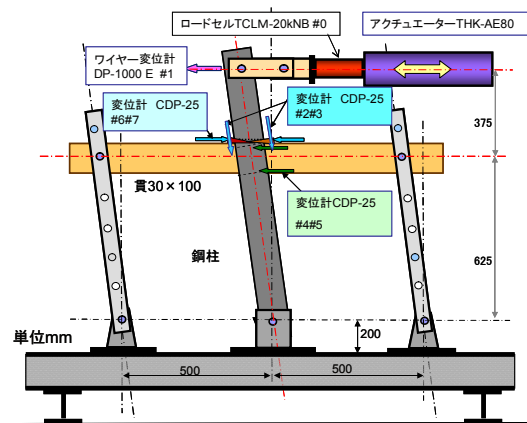
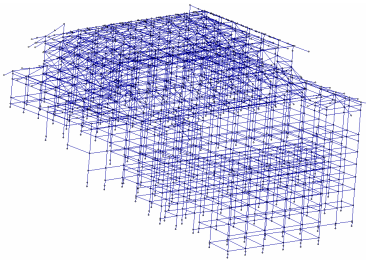


図1 十字型通し貫実験

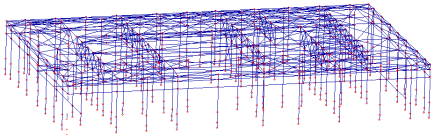
(3) 数値解析

「古材の材料試験」「古材の仕口実験」で得られた結果を、伝統木造建築物の数値解析モデル（懸造形式を有する寺院本堂、禅宗寺院本堂など）に反映し、非線形地震応答解析を行うことにより、建物全体の耐震性能に経年変化が与える影響を検討する。

非線形地震応答解析は、市販の解析ソフト DYN2E を用い、Newmark β 法 ($\beta=1/4$) による直接積分法によった。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、想定花折地震波、BCJ-L2 波を用いた。



懸造形式を有する寺院本堂



禅宗寺院本堂

図 2 数値解析モデル

(4) 電磁波探査

虫害による内部欠損が実際に存在する古民家の解体材および現地調査によって、電磁波探査による内部欠損把握の有効性について検討を行う。

4. 研究成果

(1) 古材の材料試験

① 縦圧縮試験・曲げ試験

ケヤキおよびヒノキ健全古材の縦圧縮と曲げ試験結果（各古材の経過年数と強さとの関係）を図3、図4に示す。図3および図4から、ケヤキ・ヒノキともに、150~300年程度の古材の強さが最も大きくなる結果となった。このような傾向は、アカマツにおいても同様であった。また、ケヤキ・ヒノキ・アカマツにおいては、ヤング係数においても、強さと同様の傾向を示す結果となった。試験を行った古材の中では、スギのみが、新材の強さ・ヤング係数が最も大きな値をとる結果となったが、古材の値もハンドブックの平均値と比べ大きな低下はなかった。健全古材を対象とした試験結果から、縦圧縮および曲げにおいて

は、樹種による違いはなく、剛性・強度などに関して新材より大きく劣ることはなかったが、脆性的な破壊をする試験体が新材よりも多く確認される結果となった。



写真2 曲げ試験の様子

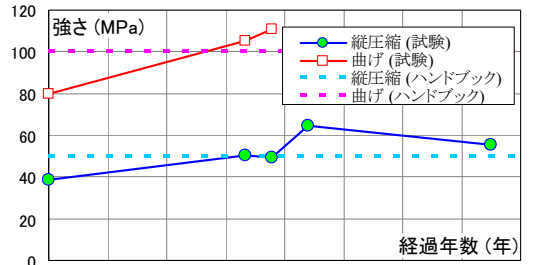


図3 健全古材の経過年数と強さ（ケヤキ）

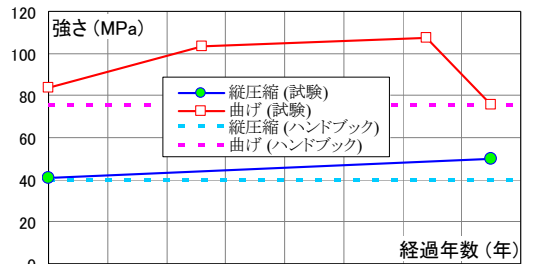


図4 健全古材の経過年数と強さ（ヒノキ）

② 横圧縮試験・めり込み試験

健全古材を対象とした横圧縮試験において、横圧縮ヤング係数および降伏応力度は、樹種の違いや古材の経過年数よりも、試験体の年輪方向に大きく依存することが確認できた。EPM シミュレーションによって古材のめり込み特性の把握を行ったところ、新材と古材とは大きな違いは確認されなかった。劣化古材においては、シバムシによる食孔の影響により、初期変形領域において非常に低剛性となるなどの影響が見られたが、変形が進むにつれ徐々に食孔が消失していくことで、大変形時では健全古材と同様にひずみ硬化が発生した。

③ せん断試験・割裂試験

せん断性能・割裂性能において、古材が新材より大きく劣ることはなかった。

以上①~③の材料試験の結果は、「生物的劣化」および「部材の老化」に伴う材料の強度特性把握に関する貴重データとなるものと考えられる。

(2) 古材の仕口実験

アカマツの仕口実験結果における、新材と健全古材の復元力特性を図5に、新材とシバンムシによる劣化古材の復元力特性を図6に示す。復元力特性は、接合部の変位計より計測した回転角とモーメントとの関係で示してある。図5より、健全古材においては、新材と比べ復元力特性に大きな違いはみられなかった。それに対し、図6より、シバンムシによる劣化古材においては、劣化の程度によって復元力特性に大きな影響がでることが明らかになった。なお、このような特徴は、スギ・ヒノキにおいても同様であった。

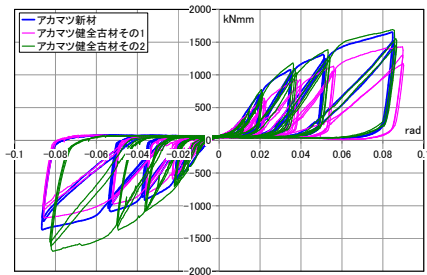


図5 アカマツ (新材・健全古材)

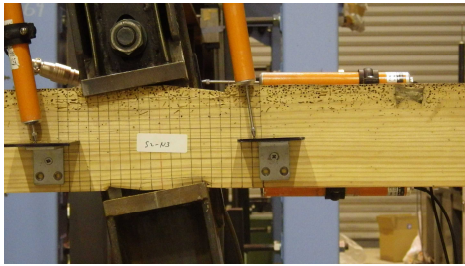


写真3 実験の様子(アカマツ劣化古材)

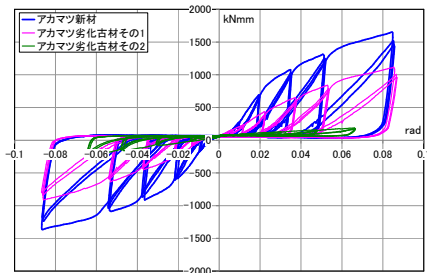


図6 アカマツ (新材・劣化古材)

(3) 数値解析

懸造形式を有する寺院本堂、禅宗寺院本堂に対し、健全古材・劣化古材の材料試験結果を反映させた数値解析を実施した。

解析結果の一例として、想定花折地震波を入力した際の、懸造形式を有する寺院本堂の東西方向における各柱通りの最大応答変形角(柱頭部の最大応答変位を柱高さで除したものを)を図7に示す。なお、本例においては、建物の構造材料はケヤキとし、新材・167年

経過材・220年経過材・375年経過材の健全古材の試験結果を反映させている。図7より、懸造形式を有する寺院本堂においては、古材の試験結果を反映させた場合においても、建物の耐震性能に大きな影響はなかった。しかしながら、禅宗寺院本堂においては、構造形式の違いにより、古材の材料試験結果に伴い、建物の耐震性能が上昇・低下する傾向が確認できた。

したがって、本解析のように、「部材の老化」と耐震性能との関係を定量的に評価することによって、建物に適した補強箇所や補強時期の提案を行えることが示された。

また、劣化材の材料試験結果を反映させた場合においても、同様の解析を行うことにより、最も劣化の影響を受ける部材の特定も行うことができ、補修や劣化調査の優先順位を決定する際の参考にすることが可能となる。

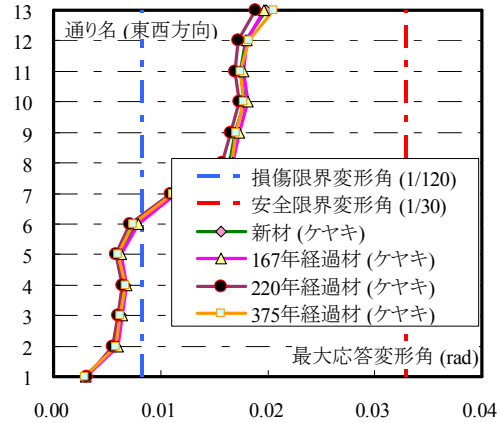


図7 建物の最大応答変形角

(4) 電磁波探査

虫害・腐朽による内部欠損が実際に存在する古民家の解体部材および現地調査によって、電磁波探査による内部欠損把握の有効性について検討した。

実際に存在する寺院の調査として、現地で柱12本を対象に電磁波探査を実施した。その結果、図8に示すように、健全な柱に比べ、内部欠損のある柱の電磁波探査画像では、円周方向で大きな乱れがあることが確認でき、電磁波探査による柱内部欠損把握が有効であることが示された。

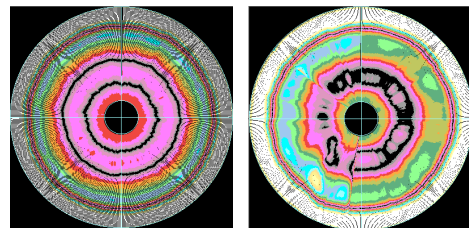


図8 電磁波探査画像

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)

- ① 大岡優、棚橋秀光、佐々木康寿、山崎真理子、伊津野和行、鈴木祥之、江戸後期に建てられた古民家解体古材のめり込み抵抗性能、歴史都市防災論文集、査読あり、Vol. 6、2012、pp. 81-88

[学会発表] (計 2 件)

- ① Yu Ooka、Hideaki Tanahashi、Kazuyuki Izuno、Yoshiyuki Suzuki and Kenzo Toki、発表標題：Effects of aged wooden members on seismic performance of old traditional wooden structures、学会名等：世界地震工学会議、発表年月日：2012年9月24日～2012年9月28日、発表場所：リスボン (ポルトガル)
- ② 大岡優、棚橋秀光、伊津野和行、鈴木祥之、発表標題：虫害を含む経年変化に着目した解体古材のめり込み試験、学会名等：日本建築学会大会、発表年月日：2012年9月13日、発表場所：名古屋大学東山キャンパス (愛知県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大岡 優 (OOKA YU)

立命館大学、立命館グローバル・イノベーション研究機構、ポストドクトラルフェロー

研究者番号：00612475