

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 24 年 6 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20686036

研究課題名（和文） 接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の地震被害検証

研究課題名（英文） Verification of Earthquake Damage to Traditional Japanese Timber Structures, Considering the Deterioration of Joints

研究代表者

藤田 香織 (FUJITA KAORI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：20322349

研究成果の概要（和文）：

本研究は、接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の地震時挙動を解析的に明らかにすることを目的としている。伝統的木造建築の構造性能は接合部性能に依存しており、接合部の劣化が建物の構造性能に及ぼす影響を定量的に評価することは極めて重要であるが、接合部種類の多様性に加え劣化そのものの不確定性により、体系的な研究は行われていないのが現状である。本研究は、(1)劣化した木材の材料試験・接合部実験、(2)接合部モデルの提案、(3)伝統的木造建築の地震応答解析、(4)伝統的木造建築の微動測定と地震観測、(5)実測結果との比較検証、により接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の構造性能評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

This research aims to clarify the earthquake response of traditional timber architecture. The structural properties of traditional Japanese timber architecture rely on the performance of the joints. The deterioration of timber especially at the joint has a large influence on the structural property of total structure, but the quantification method has not been verified. In this research, (1) material test and joint test, (2) proposal of a joint model, (3) earthquake response analysis of existing timber architecture, (4) earthquake monitoring and micro tremor measurement of traditional timber architecture, (5) comparison of analysis and experiment, was operated.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2008年度 | 10,000,000 | 3,000,000 | 13,000,000 |
| 2009年度 | 3,900,000 | 1,170,000 | 5,070,000 |
| 2010年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2011年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 16,400,000 | 4,920,000 | 21,320,000 |

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：継手仕口・建長寺・めり込み・経年変化

1. 研究開始当初の背景

伝統的木造建築を対象とした実験的・解析的研究は増加しており、文化財建造物をはじ

めとする伝統的木造建築の構造性能評価およびその結果に基づく構造補強も数多く行われている。しかし実在の伝統的木造建築の

解析結果は必ずしも地震被害と一致するわけではない。その最も有力な理由は、現在の構造要素のモデルには部材・材料の劣化が考慮されていないことがあげられる。特に、文化財建造物のように長い年月存在し、幾多の修復を経ている木造建築は部材や接合部の劣化の影響は無視できない。

本研究は、接合部の劣化を考慮することで伝統的木造建築の地震時挙動を解析的に明らかにすることを目的としている。

2. 研究の目的

接合部の劣化が建物の構造性能に及ぼす影響を定量的に評価することは極めて重要であるが、接合部種類の多様性に加え劣化そのものの不確定性により、体系的な研究は行われていないのが現状である。本研究では従来からの力学モデルに含まれていなかった楔の弛緩と木材の劣化を定量的に評価することにより、劣化が伝統的木造建築に及ぼす影響を定量的に明らかにする。更に、提案した力学モデルを用いて実在する伝統的木造建築の地震被害の検証を行うことを目的とする。

本研究の主要な目的は以下の3点である。

- (1)劣化を考慮した伝統的木造接合部の力学モデルの提案
- (2)接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の構造性能評価
- (3)伝統的木造建築の地震応答解析と地震被害検証

3. 研究の方法

本研究は、接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の地震時挙動を解析的に明らかにすることを目的としている。伝統的木造建築の構造性能は接合部性能に依存している。接合部の劣化が建物の構造性能に及ぼす影響を定量的に評価することは極めて重要であるが、接合部種類の多様性に加え劣化そのものの不確定性により、体系的な研究は行われていないのが現状である。本研究は、接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の構造性能評価を行うことを目的としている。

更に、申請者らが過去10年研究対象としてきた、建長寺仏殿・法堂を対象に、関東地震(1923)の際の被害検証を行う。申請者らは、過去に関東地震(1923)による鎌倉市内の伝統的木造社寺建築の被害調査に関する研究を行った。その結果、建長寺の仏殿と法堂は構造形式が良く類似しており隣接しているにも拘わらず、仏殿は倒壊し法堂は傾斜に止まったことを明らかにした。この理由は、未だ解析的にも解決できていない。

本研究では従来からのモデルに含まれて

いなかった楔の効果と木材の劣化を定量的に評価することにより実在の伝統的木造建築の地震時挙動を精度良く検証すると共に、劣化が伝統的木造建築の及ぼす影響を定量的に明らかにする。本研究は具体的に以下のように進める。

- (1)劣化した木材の材料試験・接合部実験
- (2)接合部モデルの提案
- (3)伝統的木造建築の地震応答解析
- (4)伝統的木造建築の微動測定と地震観測
- (5)実測結果との比較検証

4. 研究成果

本研究は、接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の地震時挙動を解析的に明らかにすることを目的としている。伝統的木造建築の構造性能は接合部性能に依存しており、接合部の劣化が建物の構造性能に及ぼす影響を定量的に評価することは極めて重要であるが、接合部種類の多様性に加え劣化そのものの不確定性により、体系的な研究は行われていないのが現状である。本研究は、(1)伝統的木造建築の地震観測と構造性能評価、(2)接合部実験、(3)劣化した木材の材料試験、を行うことで、接合部の劣化を考慮した伝統的木造建築の構造性能評価を行うことを目的としている。

平成20年度

実在の伝統的木造建築数棟を例に実測調査・微動測定・地震観測を行った。

- (1)建長寺仏殿法堂の実測調査・微動測定・地震観測

関東地震の際に被害を受けた国指定重要文化財建造物建長寺仏殿及び同地震で被害を免れた法堂(ともに鎌倉市)を対象に実測調査等を行った。同寺で、申請者らは過去に実測調査を行っているが、本年度は主に接合部形状・楔寸法・部材の劣化状況に着目した調査を行った。

さらに、仏殿・法堂において微動測定を実施し、構造物の基礎的な振動特性を明らかにした。建物所有者と十分な協議を行い賛同が得られたため、建長寺の仏殿・法堂両堂宇にて地震計(地盤と小屋裏2か所、計4c h ずつ)を設置し、強震観測を本年9月より開始した。

- (2)伝統的木造建築の微動測定

国指定重要文化財建造物妙宣寺五重塔(佐渡)を対象に微動測定を実施した。同塔は、今後観測を予定している寛永寺五重塔を範として設計されたといわれている。本年度は、芝浦工業大学との共同調査として微動測定

を実施した。本研究の成果を本年度日本建築学会大会にて発表した。

また、過去7年間継続している津観音五重塔（三重県）の地震観測の結果をまとめ、伝統的木造建築物の地震時挙動に関する論文を執筆し、国際会議にて発表を行った。

平成 21 年度

建長寺仏殿・法堂の地震観測を引き続き行うと同時に、楔の性能を考慮した接合部実験を行った。

(3) 柱貫接合部の静的水平加力試験

地震観測を行っている建長寺の仏殿、法堂の主要な水平力抵抗要素である柱貫接合部の静的水平加力試験を行い、既往の理論モデルを用いて検証を行った。その結果、既往の理論モデル（稲山のめり込み理論）を用いると比較的精度良く実験結果を再現できることを明らかにした。

(4) 柱貫接合部+楔の静的水平加力試験

既往の理論モデルでは算出できない、接合部に貫材（スギ）と同じ樹種および異なる堅木（ケヤキ）の楔を用いて同様の実験を行い、楔の有無および樹種による影響に関する考察を行った。

その結果、木材繊維直交方向どうしに木材を重ねた場合、いづれも直列バネとして扱うことができることが分かった。楔にスギまたはケヤキ用いた場合、後者の剛性が高いため貫材のめり込みだけを考慮すれば良いが、とも木（同じ樹種の楔）を用いる場合は、

平成 22 年度

(5) 重ねた木材の要素実験 1（楔の性能実験）

昨年度の接合部実験で用いた木材を対象として材料試験を実施すると同時に木材の劣化に関する基礎的な資料収集を行った。材料試験結果と併せて考察を行った。

H23

(6) 建長寺仏殿法堂の接合部形状調査

関東地震の際に被害を受けた国指定重要文化財建造物建長寺仏殿及び同地震で被害を免れた法堂（ともに鎌倉市）を対象に実測調査等を行った。同寺で、申請者らは過去に実測調査を行っているが、解体修理の記録がないため構造耐力の主要な要素である柱貫接合部の形状に関する情報が無い。そこで、本年度はファイバースコープおよびX線探査により接合部数か所においてその形状の同定を試みた。その結果、両堂の継手形状がほぼ特定することができた。

(7) 重ねた木材の要素実験 2（楔の性能実験）

本年度は建長寺で用いられている楔の形

状および樹種を考慮し、重ねた木材のめり込み挙動を明らかにするための実験を行った。針葉樹の繊維直交方向に対するめり込み挙動に関する研究は過去から行われているが、楔のように2つの材を積層した場合のめり込みおよび広葉樹材の繊維直交方向めり込みに関する研究は十分行われていない。本実験は建長寺で用いられているケヤキを対象とした実験を行いその結果を日本建築学会大会学術講演梗概集に投稿した。

(8) 建長寺仏殿法堂の地震観測

建長寺の仏殿・法堂両堂宇にて地震計（地盤と小屋裏2か所、計4chずつ）を設置し、強震観測を実施している。平成23年度は、2011年東北地方太平洋沖地震による加速度波形を測定することに成功した。

(9) 建長寺仏殿・法堂の構造性能評価

(1)～(8)の結果を統合して建長寺仏殿・法堂の性能評価を行い、その結果を地震工学会にて発表した。

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7件）

(1) 渡部昌弘・藤田香織・千葉一樹，免震改修を行った木造寺院本堂の改修前後の構造解析，技術報告集第39号，2012年 pp. 517-520

（査読有）

(2) 茨木彰人・千葉一樹・林弘倫・佐藤利昭・藤田香織，建長寺仏殿と法堂における地震観測と構造性能評価，第8回日本地震工学会，2011年，pp. 336-337

(3) 金善旭・千葉一樹・藤田香織，常時微動測定に基づく韓国伝統木造建築の構造性能評価

国宝 麗水 鎮南館（ヨスジンナンガン）の事例研究，第8回日本地震工学会，2011年，pp. 346-347

(4) 佐藤弘美，藤田香織，伝統的木造町屋建築の地震被害と構造性能評価，歴史都市防災論文集 Vol. 3(査読有)，2009年，pp. 1-6

(5) 千葉一樹，福波珠恵，藤田香織，木造建築物の地震被害調査方法の現状，NPO 木の建築 22号，（査読なし），2008年，pp. 42-45

(6) 藤田香織，地震による五重塔の被災履歴，建築雑誌 Vol. 123, No. 1581，（査読なし），2008年，pp. 17-19

(7) Kaori Fujita and Hiromi Sato, Damage Investigation of timber structures by the 2007 Noto Peninsula Earthquake, International Workshop on Sustainable City Region, 2008, pp. 181-188

〔学会発表〕(計9件)

- (1) 辛殿美・茨木彰人・金善旭・千葉一樹・藤田香織，建長寺仏殿・法堂の構造性能調査-非破壊検査方法による接合部形状把握，日本建築学会学術講演梗概集 2012年9月
- (2) 千葉一樹・藤田香織・栗田哲，鎌倉地域における伝統的木造建築物の構造性能評価 その3 円覚寺舍利殿の弾塑性構造解析，建築学会学術講演梗概集 2012年9月，名古屋
- (3) 千葉一樹・藤田香織・栗田哲，鎌倉地域における伝統的木造建築物の構造性能評価 その2 建長寺山門・円覚寺山門・光明寺山門の常時微動測定と重量算定，日本建築学会学術講演梗概集，2011，東京
- (4) 金善旭・千葉一樹・藤田香織，微動測定を通じた韓国伝統木造建物の振動特性に関する研究-麗水鎮南館(ヨスジンナムガァン)を対象に，日本建築学会学術講演梗概集，2011
- (5) 茨木彰人・藤田香織，重ねた木材のめりこみ挙動に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，2010年9月，富山
- (6) 千葉一樹・中島裕貴・藤田香織・栗田哲，鎌倉地域における伝統的木造建築物の構造性能評価 その1 円覚寺舍利殿の常時微動測定と重量算定，日本建築学会大会学術講演梗概集 2010年
- (7) 藤田香織・花里利一・坂本功，伝統的木造五重塔の振動特性に関する研究 その6 2007年4月15日三重県北部の地震観測結果，日本建築学会学術講演梗概集 2009年8月
- (8) Kaori Fujita, Kazuki Chiba, et.al, Earthquake Response Analysis of Traditional Japanese Timber Pagoda, 10th World Conference on Timber Engineering, 3, June, 2008, Miyazaki
- (9) 佐藤弘美・藤田香織，伝統的木造接合部の構造性能評価 柱-差鴨居接合部の要素実験，2008年日本建築学会大会学術講演梗概集C-1分冊 2008年，広島

〔図書〕(計3件)

- (1) 元結正次郎，坂田弘安，藤田香織，日浦賢治，初学者の建築講座 建築構造(新版)，市ヶ谷出版，2009年 163ページ
- (2) 野辺公一(監修・執筆)，小野泰，田口隆一，千葉一樹，藤田香織，佐藤弘美，地震に強い家づくり -長期優良住宅の基本，雲母書房，2009年 206ページ
- (3) 宮下真一・藤田香織，初学者の建築講座 建築構造設計，市ヶ谷出版，2011年 197ページ

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 件)
- 取得状況(計◇件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
藤田 香織 (FUJITA KAORI)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：20322349
- (2) 研究分担者
- (3) 連携研究者