

京都府北部における伝統構法木造住宅の耐震性能

Seismic performance of traditional wooden houses in the north of Kyoto

須田 達¹・田中康太郎²・鈴木祥之³

Tatsuru Suda, Koutarou Tanaka and Yoshiyuki Suzuki

¹立命館大学准教授 グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Global innovation research Organization

²イトーキ (〒536-0002 大阪市城東区今福東1-4-12)

Itoki Corporation

³立命館大学教授 グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Global innovation research Organization

In order to improve the seismic performance of the traditional wooden houses in the north of Kyoto, structural style and detail of seven traditional wooden houses were investigated. From investigation, composition of the structure characteristics and seismic structure elements were clarified. The seismic performances of the actually investigated traditional wooden houses were estimated based on the response-limit capacity analysis. From the result of the response calculation, it is clarified that the seismic reinforcement is needed for the surveyed traditional wooden houses. The fundamental reinforcement method was proposed by analysis of a typical traditional wooden house.

Key Words : *Structural Detail Investigation, Response-Limit Capacity Analysis, Seismic Reinforcement*

1. はじめに

我が国には、多くの地域に伝統木造建築物が存在し、特色ある地域を形成している¹⁾²⁾³⁾。このような伝統木造建築物は、歴史的価値が高く、貴重な文化遺産であり、伝統的建造物群保存地区のように、保存に向けた活動が行われつつある⁴⁾。しかしながら構造的な改修は、ほとんど行われておらず、災害に対する脆弱性が指摘されている⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。また伝統木造建築物は地域によって様々な構法によるため、一律的な対策が取りづらいことも、災害に対する対策が進まない要因の一つと言える。

京都府北部地域では、丹後型と呼ばれる平入広間型三間取りの平面形式をもつ民家を代表に、数多くの伝統木造建物が建築されている。これら京都北部地域における伝統木造建物も、意匠的、歴史的な観点から調査研究が行われている⁹⁾。しかし構造的な調査研究はあまり行われておらず、構造特性は明らかにされていない。また1927年に北丹後地震(M7.3)によって甚大な被害を受けた地域であり¹⁰⁾、今後も大地震が発生する可能性があり、建物の耐震性能の向上が求められている。そこで本研究は、京都府北部地域における伝統構法木造建物を対象に構造詳細調査を行って構造特性と耐震性能を明らかにする。さらに調査した建物のうち、代表的な建物について、基本的な耐震補強の方法を示す。

2. 構造詳細調査に基づく構造特性

(1) 調査概要

対象建物は、京都府北部地域の伝統構法木造建物とし、建築年代、平面形式などから選定を行っている。

建設地は、一部の地域で偏らないように選定している。その結果、京丹後市で4棟、与謝郡与謝野町で2棟、宮津市で1棟の計7棟を選定した。建築年代は1839年から1934年となり、屋根形式は笹葺きが2棟、瓦葺きが5棟となった。表1に建物概要を示し、写真1に調査建物の代表的な2棟の外観を示す。

構造詳細調査は、2008年10月7日から9日に第1次調査、同年11月7日から9日に第2次調査を、同年11月15日から17日に第3次調査として行い、建物の平面と立面、構造要素の配置および仕様、主要な構造部材の材積などを実測した。目視できない仕口や継手については、現地で大工棟梁へのヒヤリングを行って調査した。実測データは野帳に記録し、各部を写真に記録した。野帳や写真をもとに、平面図、立面図、断面図、構造平面図、軸組等の図面を作成した。代表的な調査建物の構造平面図、断面図を図1、図2に示す。



写真1 対象建物の外観

表1 対象建物

No.	名称	所在地	屋根	階数	建築年代
1	YS	与謝郡与謝野町加悦	棧瓦葺	1	1868年
2	OS	京丹後市丹後町竹野	棧瓦葺	1	19世紀後期
3	TU	京丹後市大宮町五十河	笹葺	1	19世紀前期
4	OM	京丹後市大宮町	棧瓦葺	1	-
5	NG	宮津市府立郷土資料館内	笹葺	1	1839年
6	KW	京丹後市弥栄町和田野	棧瓦葺	1	1934年
7	BT	与謝郡与謝野町加悦	棧瓦葺	2	1865年

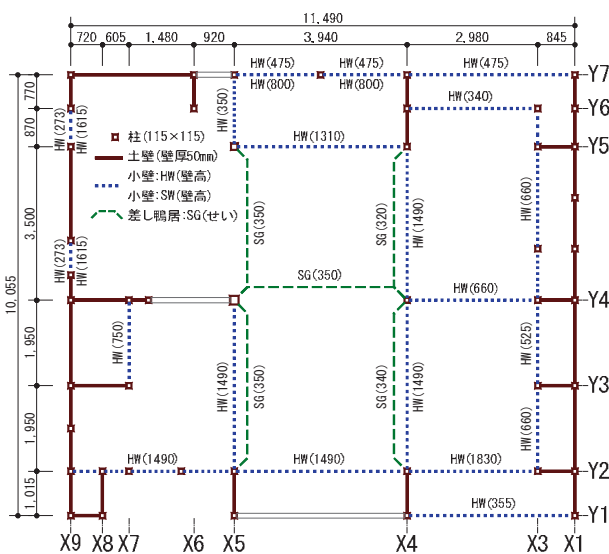


図1 構造平面図



図2 断面図

(2) 壁

構造上主要な壁は竹木舞下地による土塗り壁であり、壁厚は、主に 50 mm～75 mmであり、30 mm～40 mm程度に薄くしている壁もあった。貫は 3 段程度を設けており、貫せいは 100 mm～120 mmであった。外壁の仕上げは板張りが多く、他は漆喰であった。垂れ壁や腰壁などの小壁は、壁厚が土塗り壁と同様で 50 mm～75 mm、貫は 1 段～2 段、背の高い小壁で 4 段に設けている場合もあった。

(3) 軸組

構造上主要な柱の断面は、100 mm角～175 mm角であり、大黒柱は、190 mm角～330 mm角であった。写真 3 に示す天井の高い居室では、写真 4 のように断面の大きい材で格子状に梁を架けており、その梁の断面は平均的に 280 mm×290 mm程度の材が使われている。最も大きい断面の小屋梁は 390 mm×400 mmであった。写真 3 のような居室では鴨居を差し鴨居とし、そのせいは 310 mm～380 mmであった。



写真3 天井の高い居室



写真4 天井の梁

(4) 建物規模

各部の高さは、実測の結果から、最高高さ6466mm～9501mm、2階の高さ1320mm～2340mm、1階高さ2510mm～3090mm、床高さ360mm～775mmであった。

建物重量は、建築基準法施行令 84 条、85 条の固定荷重と積載荷重に基づいて算出した。ただし小屋組については、比較的大きな材が使用されているため、実測による材積に比重を乗じて算出した。笹葺き屋根については、重要文化財(建造物)基礎診断実施要領¹¹⁾の茅葺き屋根の建物を参考に算出した。なお積載荷重は、地震時設計用としている。その結果、対象建物の重量は 374kN～821kN であり、延べ床面積あたりの単位重量は、2.52kN/m²～3.31kN/m²である。図 3 に各対象建物の建物重量を構面ごとに示す。

この地域の伝統構法木造住宅は、建物中央部の居室は天井面の梁を断面の大きな材によって構成し、階高を高くするため小壁が高い。また図3から、屋根重量は建物重量のおおよそ半分を占めている。これらのことから、重量は建物上部に集中していると考えられ、耐震安全上は不利な状態と言える。

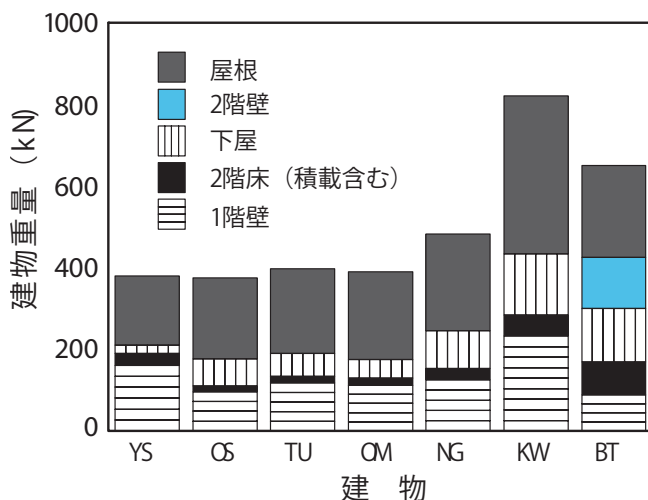


図3 各構面の重量の構成

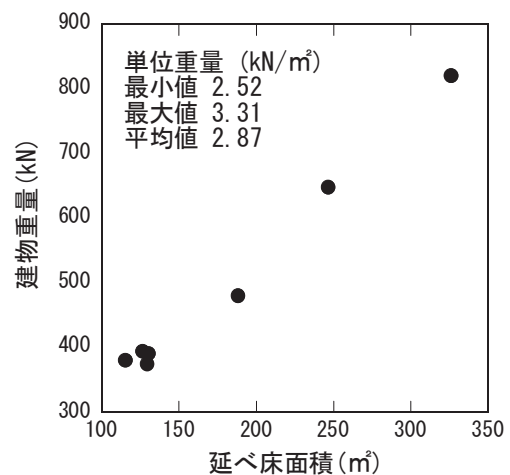


図4 建物重量と延べ床面積の関係

(5) 劣化

対象建物は、建築年代が非常に古いが、改修や修繕工事をほとんど行っていないため、経年的な劣化や、生物的な劣化による損傷が見られた。特に、蟻害が多く発生しており、写真5、6のように多くの土台や梁が損傷していた。また過去に大地震を経験していることもあり、写真7、8のように外壁や土塗り壁にひび割れが生じていることや、写真9のように雨漏りが生じているなど、経年的な劣化も見られた。



写真5 土台の蟻害



写真6 梁の蟻害



写真7 外壁のひび割れ



写真8 土壁の割れ



写真9 天井の雨漏り

3. 耐震性能

対象建物の構造要素は、土塗り壁（土壁）、土塗り壁の垂れ壁および腰壁（土塗り小壁）、貫、差し鴨居、柱であった。既往の研究¹²⁾¹³⁾において、各構造要素のせん断耐力と変形角の関係が復元力特性として示されており、これに基づいて対象建物の構造要素の復元力特性を算出した。土塗り壁は基準となる復元力に対して壁長さ、壁厚にそれぞれ比例して算出した。同様に土塗り小壁は、小壁枚数と小壁の高さに比例させた。ただし対象建物の小壁は、写真3に示すように、一般的な小壁と比べて高いが、基準とする復元力を上限値としている¹⁴⁾。柱、貫、差し鴨居は、本数とめり込み面積に比例し、構造的な階高に反比例して算出している。各構造要素の復元力特性を足し合わせて、建物の復元力特性とし、建物方向ごとに算出している。算出した復元力特性から、変形角 1/30rad 時のせん断耐力を建物重量で除してベースシア係数を算出し図4に示す。ベースシア係数は、けた行方向 0.18~0.36、張り間方向で 0.25~0.43 となり、張り間方向のベースシア係数はけた行方向と比べて平均的に高い。全体のベースシア係数に対して、各要素の負担割合は、土壁で約 4 割~7 割、小壁で約 3 割~5 割、軸組で 1 割~2 割であった。

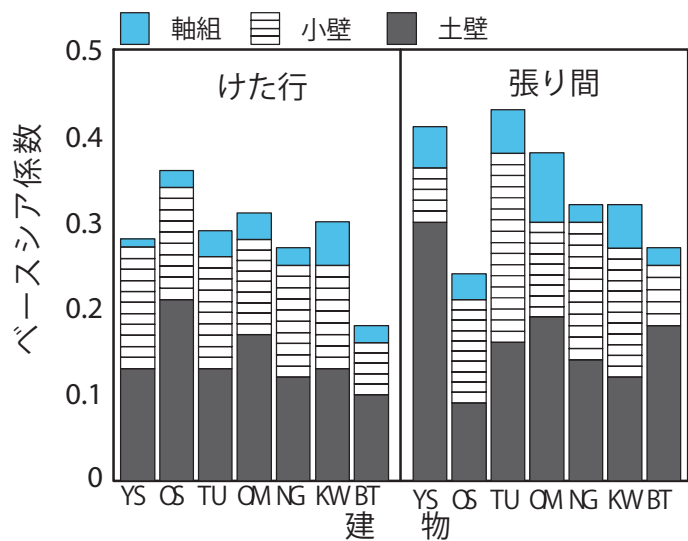


図5 ベースシア係数と各要素の構成

4. 耐震性能評価

耐震性能評価は、限界耐力計算¹³⁾¹⁵⁾に基づいて全ての対象建物について、最大応答変形角を算出した。地震力は建築基準法施行令第82条の5第五号により求め、その際の地盤種別は第2種地盤としている。算出した最大応答変形角を図6に示す。同図より、YS家、BT家のけた行とOS家、BT家の張り間で変形角1/15radを超えている。その他の建物は、おおよそ1/20radから1/15radの範囲にある。また最大応答変形角はおおむね、けた行方向より張り間方向の方が小さい傾向にある。

算出した最大応答変形角と表1に示すベースシア係数の関係をけた行方向と張り間方向を合わせて図7に示す。同図よりベースシア係数が約0.26以降で変形角が1/15rad以下となっている。

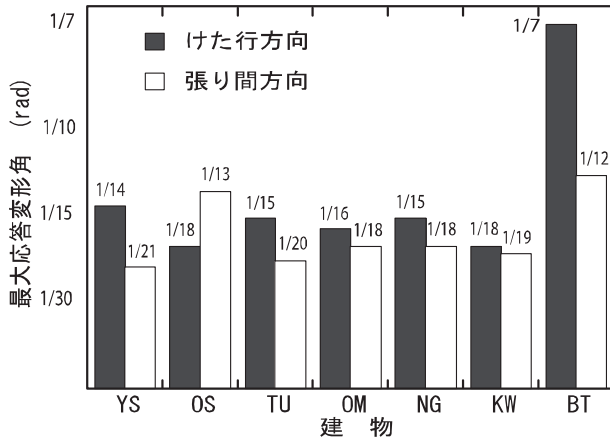


図6 限界耐力計算による最大応答変形角

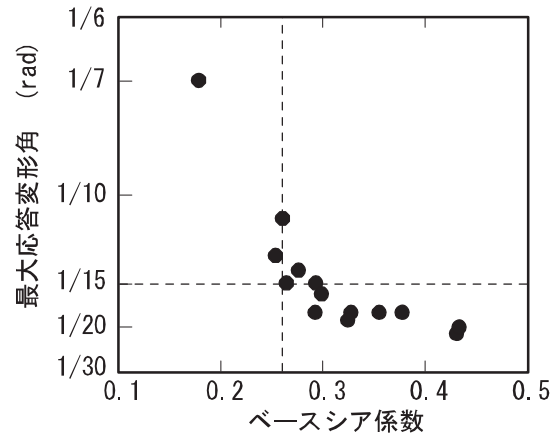


図7 ベースシア係数と最大応答変形角の関係

5. 耐震補強

伝統木造建物の耐震補強の方法としては、建物重量の低減や、耐力の向上などが挙げられる。建物重量低減は、屋根の葺き土の撤去や耐力に余裕のある方向で不要な壁を撤去することが考えられる。耐力の向上では、既存の構造要素を耐力の高い構造要素に取り替えることや、新たに構造要素を配置することが考えられる。その際、土塗り壁などを主要な構造要素とする伝統木造建物に対して、筋かいや構造用合板のように剛性の高い構造要素を用いることは、応力集中による脆性的な破壊を引き起こす原因になり得る。対象建物の性能に適した構造要素としなければならない。対象建物は、建物方向によって耐震性能に大きな差は無く、壁の撤去はできない。屋根は栈瓦葺き、または笹葺きで、葺き土の撤去もない。そこで本研究では、対象建物の主要な耐震要素である土塗り壁、土塗り小壁の増設による補強方法として検討を行う。

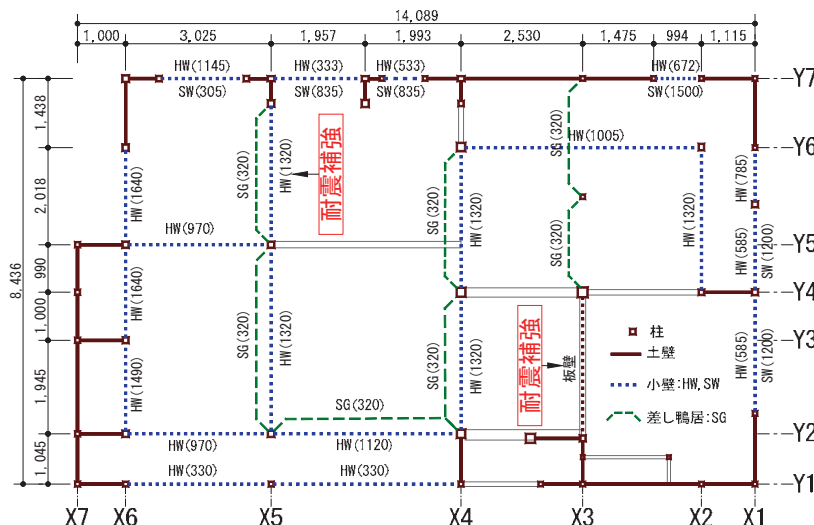


図8 対象建物の構造図と補強箇所

耐震補強の検討は、OS家を対象に検討を行う。OS家の構造平面図を図8に示す。OS家のベースシア係数は、図5から、けた行方向で0.36、張り間方向で0.25であり、限界耐力計算に基づく耐震性能評価の結果から最大応答変形角は、図6より、けた行方向で1/18rad、張り間方向で1/13radである。図9に耐震性能評価の結果として、建物の復元力特性と必要性能スペクトルの関係を示す。図中における交点の○が応答値である。一般的に、土塗り壁や土塗り小壁を主要な構造要素とする伝統木造建築物の安全限界変形角は、1/15radとされている¹⁶⁾¹⁷⁾。張り間方向の最大応答変形角は1/15radを超えるため、倒壊の危険性があると判断できる。そこで、張り間方向について補強の検討を行う。

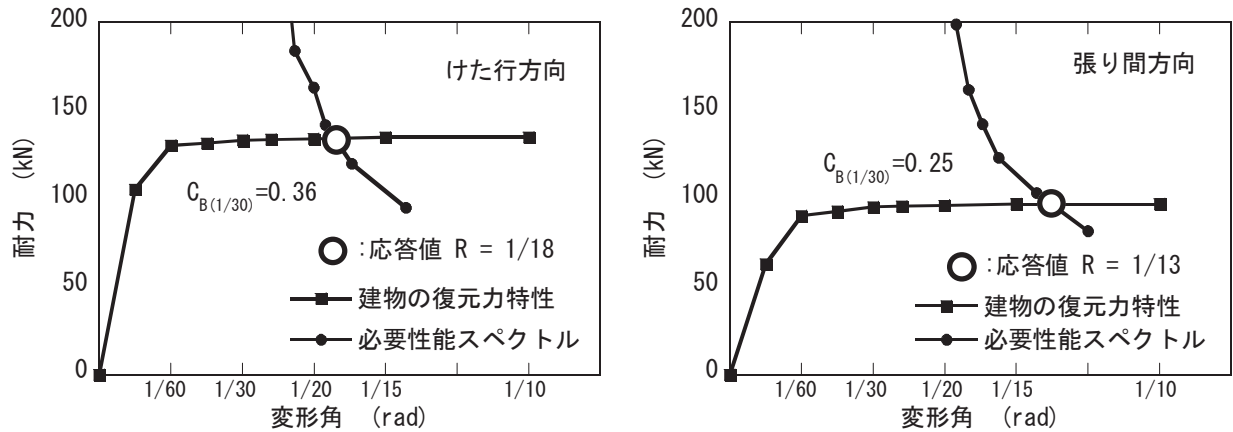


図9 建物の復元力特性と必要性能スペクトルの関係

まず、張り間方向に必要な補強量の検討を行う。図10に補強前の耐力を基準に、1層に補強するせん断耐力と応答変形角の関係を示す。同図の横軸0は補強量が0kNであり、補強なしの現状を示している。図5から、おおよそ15kNのせん断耐力に相当する補強を行うことで、応答変形角は1/15rad以下になることが分かる。

次に、補強箇所の選定を行う。対象建物の主要な構面は、図8より、X1構面、X3構面、X4構面、X5構面、X6構面である。主要な構面ごとに復元力特性を算出し、図11に示す。X2構面はX1構面に、X7構面はX6構面に付随するとしている。その際に荷重等負担面積は、主要な構面間を等分としており、主要な構面ごとに限界耐力計算を行って、最大応答変形角を算出した。図11に、主要な構面ごとのベースシア係数と最大応答変形角を合わせて示す。その結果、X3構面とX5構面は構造要素が少なく、他の主要な構面と比べて耐力が極めて低い。最大応答変形角は1/10radを超えるため、応答値が求められていない。伝統木造建築物は全体的な耐力偏みだけでなく、主要な構面において、構造要素をバランスよく配置することが重要である¹⁸⁾。そのため耐震補強は、X3構面、X5構面に行う必要があることが分かる。

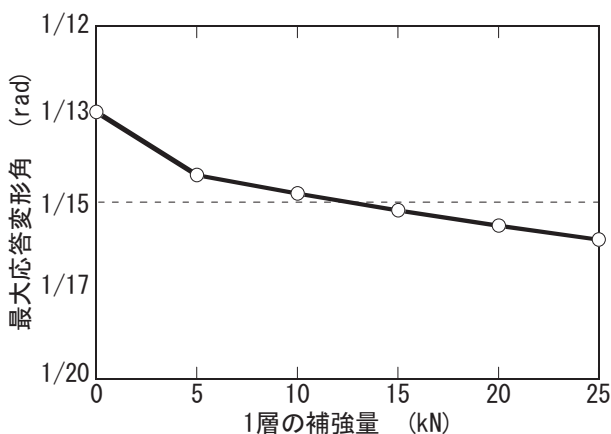


図10 1層に加える補強量と最大応答変形角の関係

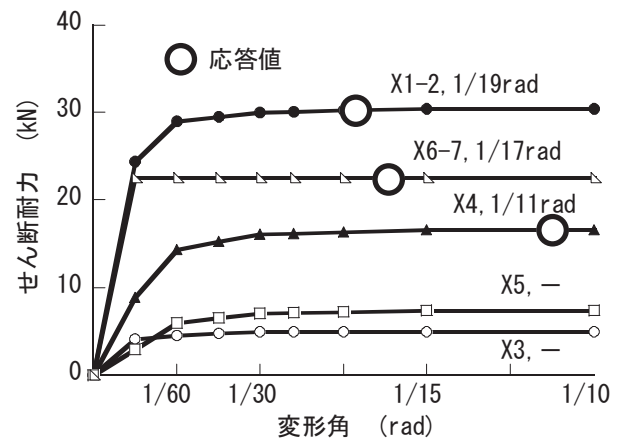


図11 各構面の復元力特性と最大応答変形角

対象建物のX3構面Y2-Y4間は板壁であり、X5構面Y5-Y7間は差し鴨居上部に高さ1320mmの欄間としている。これらの箇所耐震補強を行うこととし、X3構面を板壁から土塗り壁、X5構面を欄間から土塗り小壁に変更する。耐震補強の箇所を図8に合わせて示す。耐震補強要素の復元力を加えて、再度、限界耐力計算を行った。補強後の復元力特性と必要性能スペクトルの関係を図12に示す。想定する耐震補強によって張り間方向のベースシア係数は0.25から0.30、最大応答変形角は1/13radから1/15radとなり、耐震性能が向上したことを確認した。

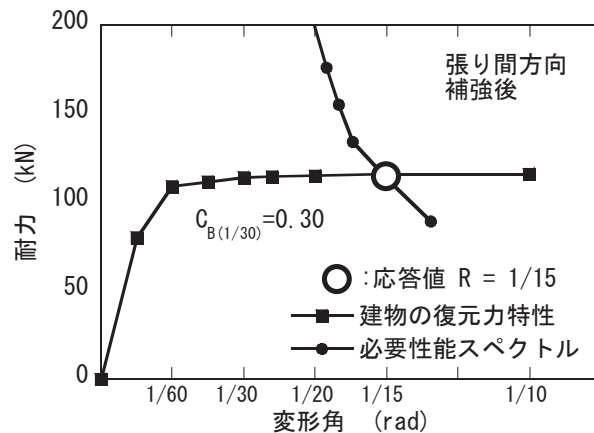


図12 補強後の耐震性能評価結果

6. まとめ

本研究では、京都府北部地域の伝統木造建物7棟を対象に構造詳細調査を実施し、軸組の寸法、各部の高さ、構造要素の種類等、地域の構造的な特徴を明らかにした。また耐震設計上、重要な要素となる建物重量と復元力特性を算出して重量構成、耐力構成を示した。その結果、建物重量は建物の上部へ集中していることで耐震上不利であること、構造要素は小壁や軸組の割合が大きいため、耐震設計および補強設計を行う上で、小壁や軸組の構造性能を適切に評価する必要があることを指摘した。

限界耐力計算に基づいて耐震性能評価を行った結果、いずれの建物についても、十分な耐震性能を有しているとは言えず、耐震補強が必要であることが分かった。

耐震補強においては、現状の耐震性能評価を基に補強に必要なせん断耐力を示し、各主要構面における耐震性能を分析することで、補強する構面を示した。本報で示した補強方法は、構造要素の配置バランスを考慮して、合理的に耐震性能を向上し得ることを示した。

謝辞

与謝野町役場、京丹後市役所、宮津市役所、京都府の方々には、調査を実施する上で、住民の方々との調整にご協力いただきました。京都府建築士会、宮津高校および地域の工務店、設計者の方々には、実測調査にご協力いただきました。対象建物の住民の方々には、快く調査にご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 須田達, 奥田辰雄, 後藤正美, 小嶋伸仁: 地域の特徴ある伝統構法木造住宅の構造調査 石川県金沢市東山及び主計町地域, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1 (北陸), pp. 407-408, 2002年8月.
- 2) 細入夏加, 鈴木祥之, 林康裕, 村上ひとみ, 斎藤幸雄, 野島千里, 須田達: 萩市浜崎地区の伝統木造建物の耐震性能評価と耐震補強 (その2) 構造特性と耐震性能評価, 日本地震工学会大会-2003梗概集, pp. 28-29, 2003年11月.
- 3) 奥田辰雄: 木造住宅の構法と耐震-鳥取県西部地震-木造建物被害調査報告, 木構造と木造文化の再構築, 日本建築学会近畿支部, pp. 194-202, 2001年.
- 4) 全国伝統的建造物群保存地区協議会: 「歴史の町並」平成20年度 (2008) 版, 2008年5月.

- 5) 北原 昭男, 林康裕, 奥田 辰雄, 鈴木 祥之, 後藤 正美: 2000年鳥取県西部地震における木造建物の構造特性と被害, 日本建築学会構造系論文集(561), pp. 161-167, 2002年11月.
- 6) 清水 秀丸, 林 康裕, 鈴木 祥之, 斎藤 幸雄, 後藤 正美: 2003年7月26日宮城県北部の地震による被災木造住宅の構造的特徴と耐震性能, 日本建築学会構造系論文集(598), pp. 43-49, 2005年12月.
- 7) 須田達, 鈴木祥之, 原田和典, 樋本圭佑: 京町家の火災による崩壊メカニズム, 歴史都市防災論文集Vol. 2, pp. 141-148, 2008年10月.
- 8) 須田達, 鈴木祥之: 地震火災を受けた京町家の崩壊危険性の検討, 日本地震工学会大会-2008梗概集, pp. 94-95, 2008年11月.
- 9) 大場修: 京丹後市の近代民家と近代建築(役場・旅館・工場), 大学生京都事業連合ブックプリントセンター, 2008年3月.
- 10) 谷口忠: 丹後地震に於ける建築物の被害に就て, 東京帝国大学地震研究所彙報, 133-162, 1927年9月
- 11) 文化庁文化財部: 重要文化財(建造物)耐震診断指針, 2001年3月.
- 12) 山田真澄, 鈴木祥之, 後藤正美, 清水秀丸: 単位木造フレームを用いた動的・静的実験による木造軸組の耐震性能評価, 日本建築学会構造系論文集, No. 582, pp. 95-102, 2002年.
- 13) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会: 伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル-限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法-, 学芸出版社, 2004年3月.
- 14) 清水秀丸: 土塗り小壁を持つ木造軸組の耐震性能評価に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、構造III、2005年.
- 15) 鈴木祥之, 斎藤幸雄, 榎原健一, 五十子幸樹, 野島千里: 木造軸組の耐震性能評価法-小変形から大変形・倒壊の領域まで評価する限界耐力計算, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp. 1523-1528, 2002年11月.
- 16) 中治 弘行, 鈴木 祥之, 後藤 正美, 岩本 いづみ, 山田 耕司: 東三河伝統構法民家の耐震性能評価のための静的繰り返し加力実験, 日本建築学会構造系論文集(612), 133-140, 2007年2月.
- 17) 須田達, 鈴木祥之, 奥田辰雄, 斎藤幸雄, 後藤正美, 清水秀丸: 既存京町家の実大振動台実験による耐震性能評価と耐震補強, 第12回日本地震工学シンポジウム, pp. 802-805, 2006年11月 .
- 18) 須田達, 斎藤幸雄, 山田耕司, 鈴木祥之: 伝統軸組構法木造建物のE-ディフェンス震動台実験 その7限界耐力計算による耐震性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1(九州), pp. 527-528, 2007年8月.