

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：27401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560695

研究課題名(和文) 地域特性を反映した木造建物の設計・生産システムの構築に関する研究

研究課題名(英文) Study on Structural Design and Construction System of the Wooden Houses that Reflected the Regional Characteristics

研究代表者

北原 昭男 (KITAHARA, AKIO)

熊本県立大学・環境共生学部・教授

研究者番号：00195273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)： 地域特性に応じた伝統構法木造建物の構造的特徴を見だし、それらの持つ構造特性や耐震性能を明らかにすることにより、地域に残る伝統構法建物の保存や積極的活用、地域性を反映した新しい木造建物の設計・生産のシステム構築につなげることを目的として研究を行った。

本研究では、地域性を有する典型的な建物群を対象として構造調査を行うことによりそれらの構造特性を明らかにすると共に、限界耐力計算法を用いて耐震性能を評価した。一方、これらの性能を向上させるために、斜め貫・格子・木ずり漆喰壁などによる補強について構造実験を行い、それらの性能向上効果を評価し、一部について性能評価手法として取りまとめた。

研究成果の概要(英文)： The study was carried out on development of design and construction method for new wooden building which reflected regional characteristics by evaluating of earthquake-resistant performance of the wooden houses. And preservation and active utilization of wooden houses built by traditional architectural method was also considered in this study.

These structural characteristics were clarified by performing a structure investigation among typical building group having regional area and earthquake-resistant performance of these houses were evaluated by using of response analysis method. On the other hand, structural experiments were conducted for some type of earthquake-resistant elements such as the wall with timber grille and the Japanese plaster wall. And earthquake-resistant performance of these walls was evaluated on the basis of the test results.

研究分野：建築構造学

キーワード：木造建物 構造特性 耐震性能 伝統的構法 構造実験 構造調査 地域特性

1. 研究開始当初の背景

伝統的構法による木造建物は、現状では法の下での設計・構築が難しく、建物の老朽化が進んだこともあって次第に数を減らしている。しかし、このような木造建物は、日本古来の木造文化を受け継ぎ、日本各地の地域特性を色濃く反映したものである。2000年の基準法の改定で、限界耐力計算法などの構造計算に基づく設計ルートが認められ、伝統構法建物も自由に設計できる道が開かれたが、手続きは複雑であり、現在ではこれらのルートでは容易には設計できない状況である。

2000年の鳥取県西部地震における伝統構法建物の被害が軽微であったこともあり、これらの建物に関する設計・構築法をまとめるため、それ以降、伝統構法建物の性能に関する実験的研究が行われるようになり、設計・性能に関する委員会の下で性能評価法や設計法の構築が進められるようになった。ただ、これらの研究は全国的な視点から行われているものであり、地域の特性を考慮したものは少ない。

本来地域性が色濃く反映されているはずのこれらの建物について、全国的・平均的な視点からの研究のみでは、伝統構法建物の特性をすべて解明したとは言い難い。一方、各地域における研究の状況を見ると、木造を専門とする研究者の不足、中でも伝統構法建物に興味を持つ研究者が少なく、地域性を有する木造建物の構造特性、耐震性能の評価はほとんど進んでいない状況である。

2. 研究の目的

(1)本研究では、熊本という地域に軸足を据え、地域の伝統構法建物の構造的特徴を見だし、それらに基づいた耐震性能・構造特性を明らかにすることにより、地域に残る伝統構法建物の保存や積極的活用、地域特性を反映した新しい木造建物の構築につなげていくことを目的とする。

(2)地域に軸足を据えることにより、地元の

設計者・施工者(大工・棟梁)等と密な関係を持つことが出来るため、これらと協同して様々な観点からの評価・検討を行い、伝統構法をベースとした、地域特性を反映した木造建物の構築手法、耐震性能向上方策の構築などを旨とする。

3. 研究の方法

(1)熊本あるいはその近辺に存在する伝統的な構法による建物の中から、典型的・代表的な建物を抽出し、その構造特性を調査し明らかにする。文献調査や実地調査で得られた他地域の特徴と比較しながら、熊本における木造建物の構造特性を明確にする。

(2)伝統構法建物の代表的な耐震要素、および耐震性を高めるために必要な要素に関して静的水平力載荷実験を行い、復元力特性や破壊性状を明らかにする。これらの実験結果をもとに、木造建物の耐震性能の向上、地域性を考慮した新しい耐震要素や建物構法の開発などについて検討を行う。また、得られた復元力データ等を限界耐力計算などに適用できるデータとして取りまとめ、これを用いて耐震性能の評価を行う。

(3)地域で必要とされる構造技術について洗い出しを行い、これらについて構造実験を行うことにより性能を把握し、設計・施工へ適用できる手法として取りまとめる。

4. 研究成果

(1)熊本県各地に存在する伝統構法建物の構造調査(発表論文)

市街地における伝統構法建物の典型として熊本市新町・古町における町家群を対象として構造調査を行った。明治初期から昭和初期にかけて建設された町家10棟について、2011年度の調査結果に加え、本研究で補足調査を行い調査結果としてまとめた。目視とヒアリング調査により建物全体の使用形態及び経年変化を調べるとともに、実測により、間取りや柱・梁などの構造部材や小壁・土壁

の寸法、階高等の計測を行なった。調査結果を既往の京町屋に関する研究成果と比較すると建築計画、部材寸法、構造計画などについて似かよっていることが明らかとなった。また、経年劣化が進んでいること、年を経て建物用途や住様式が変化し、建物の様相が大きく変化してしまったものが多く見られた。

農山村型の建物の典型として、熊本県山都町 5 棟、福岡県筑後地方 1 棟の計 6 棟について、同様の調査を行った。平面形態では標準的な農家型建物である、大黒柱を中心に土間と 4 間を配するものが基本であったが、その後の増改築により様々な変化が見られた。構造要素としては全面土壁および小壁が基本であり、柱材は 130~170 mm 角程度のものが多く使用されていたが増改築部は通常の住宅と同様のものが多かった。また、梁は 300~350 角程の大きなものが見られ、一つの梁に対して直交する二つの梁を配する掛け方が多く見られ山都町の特徴と考えられる。

漁村型建物としては、天草市牛深の 7 棟の建物を対象として調査を行った。平面形態としては、部屋数が少なく道路側には縁側が配されていた。梁は 100 mm 程度の正方形のものが多く使用されていた。1 階の階高は 1920~2160mm と低く、小壁部分はほとんど見られなかった。どの対象物も、構造要素として全面土壁が使用され、道路側に開口を設けそれ以外は土壁になっていた。山都町の建物と比較すると、平面的にも立面的にも牛深のものが小規模であり、使用材も小さかった。また、開口部を大きくとり風通りを良くする農村建築に対し、漁村建築の開口部は一部のみであり、風通しを考慮する様子はなかった。

以上の 3 地区の調査建物に関して、調査結果を基に建物重さ、階高を求めると共に各階の耐震要素を抽出した。これらの耐震要素の

配置から各階の復元力特性を求め、極めて稀に起こる地震に対する各階の最大応答変位を限界耐力計算により求めた。図 1 には漁村型建築の最大応答の分布を示す。図中、U1~U7 は建物名称を表し、各建物中の 4 本のグラフは左から 1 階桁行、2 階桁行、1 階梁間、2 階梁間方向の最大応答を示す。漁村型建物では 2 階建て建物の 1 階の応答は一般に安全限界とされる 1/15rad には達しなかったもののある程度大きな値を示した。一方、平屋 (U4~U6) の建物の応答は小さなレベルであった。しかし、実際には土壁は長年の風雨により剥落しているものが多かった。その状況を反映するため、土壁の持つ復元力を 1/2 として再計算したところ、U1~U3 の建物の応答は 1/15rad 前後まで増大し、安全限界を超える可能性が示唆された。

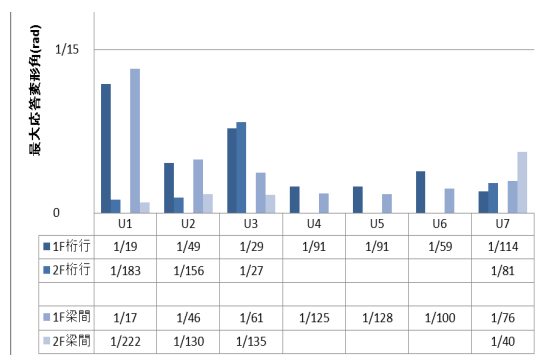


図 1 最大応答の分布 (漁村型建物)

図 2 には同様に市街地の町家について最大応答の分布を示す。ほとんどの建物でどちらかの方向の応答が 1/15rad を超えており、今後も使用していくことを考えると耐震性の向上が急務であると考えられる。

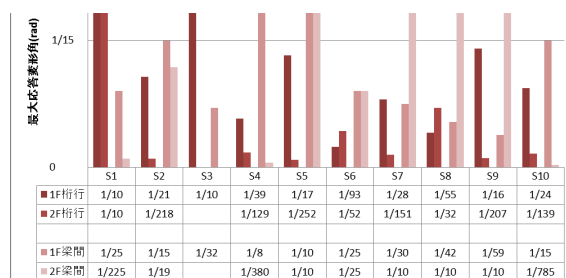


図 2 最大応答の分布 (町家型建物)

(2)伝統構法建物の耐震性向上に関する実験的研究(発表論文)

格子パネルを用いた耐震性向上

(1)で記した既存伝統構法建物の調査においては、耐震性能に問題があるものが多く存在することが明らかにされた。しかし、これらの建物の耐震性能を向上させる際に、また、伝統構法に基づく建物を新たに設計する際に用いられる耐震要素としては、現状では金属製の仕口ダンパーなど、伝統構法にはあまりそぐわない装置しか見当たらない。

研究代表者の研究室では、このような際に開口部を用いて簡単に取り付けができ、伝統的意匠を壊さない格子パネルによる補強方法について研究を進めてきた。これまでに、棧の太さが15mmから55mmまでの相欠形式や貫形式による格子を対象として実験を行い、その性能について明らかにしてきた。本研究では、これまでの結果を補完する実験を新たに行い、これまでの実験データと併せて、様々な格子に適用可能な設計手法について検討を行った。

今年度の実験結果の一例として、貫形式の試験体における復元力の包絡線を図3に記す。図中、一番復元力の小さい線()が軸組だけのもの、その他は、復元力が低い順に棧が25mm、40mm、55mmのものを示す。軸組だけのものと比べると、棧が40mm以上となると復元力の上昇が見られる。特に、55mmのものでは復元力が2倍以上になっており、大きな補強効果があることが確認された。

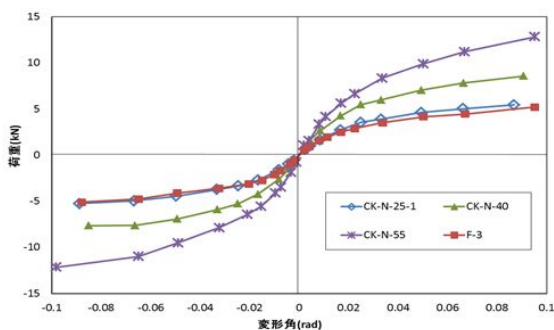


図3 格子試験体(貫形式)の包絡線の比較

既往のめり込みに関する式を用いて格子の交点のモーメント - 回転角関係を導き、これを基に格子のサイズ、交点数、軸組と格子の配置を考慮して格子壁全体の復元力特性を算出した。これまでの実験で得られた復元力特性と比較すると、本研究の範囲では高い精度で近似しており、本手法による復元力特性の算出が妥当であることが明らかとなった。また、これによって求められた復元力モデルを用いて限界耐力計算を行うことにより、様々な格子パネルによる補強の効果が算出できることが示された。

斜め貫を有する軸組の耐震性能

格子パネルよりも安価であり、製作・施工も簡便である耐震要素として、軸組に貫を斜めに配置し伝統構法の仕口で柱に固定した「斜め貫」を考案し、これまでに様々な条件に関して軸組の実験を行ってきた。その結果、破壊は主に仕口部で発生しそれにより壁の復元力が低下すること、仕口部の仕様により破壊モード(貫の破壊、込栓の破壊など)が異なり、貫の破壊が起こると壁の復元力が急激に低下することなどが明らかとなった。

本研究では、斜め貫仕口部に着目し、様々な仕様(仕口形式、込栓のサイズと形状、込栓穴のサイズと形状など)の仕口に関して貫の引き抜き試験を行い、荷重と引抜変位の関係や破壊性状を調べた。これらの結果より、込栓を用いた斜め貫仕口部に関する最適な仕様について検討を行った。その結果、比較的穏やかに込栓が折れ、復元力の低下も最小に抑えられる貫と込栓の組み合わせが見いだされた。また、既往の曲げ破壊やせん断破壊に関する評価式を援用して貫の端抜け破壊、込栓の曲げ破壊の強度を推定し、実験結果と比較することによりその推定精度を検証した。その結果、込栓の曲げに関しては精度良く推定できるが、貫のせん断破壊(端抜け破壊)に関しては貫材の質が大きく影響し、

これらをどのように考慮していくかが問題点として挙げられた。

きずり漆喰壁の耐震性能

研究協力者との議論や、建物の構造調査を進めていく上で、和風の居住空間を構成する上で土壁の代わりになり耐震性能も発揮できる要素として、きずりに直接漆喰を塗るきずり漆喰壁が提案された。これについて、きずりの構成方法、漆喰の塗り厚などをパラメーターとして載荷実験を行った。その結果、きずり間隔やきずり固定の釘の本数について最適値が見いだされた。また、瀬戸漆喰を用いることにより非常に剛な壁面が構成され水平耐力が発揮されることが示された(図4)。一方で、軸組を破壊するケースが見られ、壁厚などの調整が必要であることが明らかとなった。

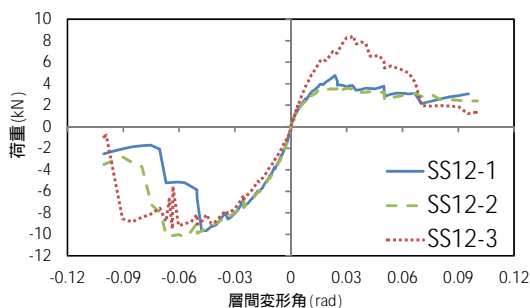


図4 漆喰厚 12mm の試験体の包絡線

(3) 木造建物の軒の耐風性能 (発表論文)

伝統構法による建物では軒の出が深くなりそれに伴って軒が受ける風圧力は大きくなるが、一方、それに対して垂木を固定する方法は地域では定まっていなかった。本研究では、地域で用いられている様々な固定法を対象として、風の吹上げ力に相当する力を接合部に静的に載荷する実験を行い、垂木の引抜けの性状や破壊耐力などについて明らかにした。また、基準法の荷重の規定に基づいて軒にかかる風圧力を算出し、実験結果と比較することにより各種固定法の安全率を算出し、安全性が高い接合方法を明らかにした。

計算結果・実験結果の一部を表1に示す。

表1 吹き上げ力の計算値と実験値の比較

	垂木間隔B (mm)	重い屋根			
		相度区分Ⅱ		相度区分Ⅲ	
吹き上げ力Pcal (kN/m ²)		455	910	455	910
		1.38	2.78	0.66	1.32
名称	荷重最大値Pexp (kN/m ²)	吹き上げ力と最大荷重の比率			
⑦あおり留め金具+釘	12.4	9.0	4.5	18.8	9.4
⑥あおり留め金具のみ	9.1	6.6	3.3	13.8	6.9
⑥あおり留め金具+コーススレッド	7.5	5.4	2.7	11.4	5.7
⑧特殊ビスA210	6.7	4.9	2.4	10.2	5.1
⑨特殊ビスB180	4.1	3.0	1.5	6.2	3.1
①コーススレッド	4	2.9	1.4	6.1	3.0
③鉄スクリュー釘	3.2	2.3	1.2	4.8	2.4
②釘	2.1	1.5	0.8	3.2	1.6
④ロール釘	1.7	1.2	0.6	2.6	1.3

(4) 伝統構法を用いた仮設住宅構築に関する研究 (発表論文)

本研究では、日本の気候風土に適しており、建物の建設・解体が容易である伝統構法建物を基とした応急仮設住宅を計画し、構造面での安全の検証及び簡易的な居住環境の評価を行った。耐震要素としては研究代表者が伝統的構法に適した特性を持つ要素として以前より研究を進めてきた落とし込み板壁を採用した。また、計画した応急仮設住宅に関して、災害前の木材の保存から災害後の施工に至る供給システムについて考察し、伝統構法による木造応急仮設住宅の供給促進の方策について取りまとめた。また、この考え方を盛り込んだ実験住宅を計画して実際に施工を行い、施工の容易さ、建設にかかる時間などに関しデータ収集を行うとともに、施工時における問題点について検討を行った。その結果、この構法による躯体は大工2名と学生4~5名によって半日で構築できることが確認された。図4には本構法による施工実験の様子を記す。



図4 伝統構法による仮設住宅の施工実験

(5)まとめ

熊本地域における市街地町家建物、農山村型建物、漁村型建物について構造調査を行い、それぞれの地域で地域特性に応じた異なった特徴を持っていることを明らかにした。また、限界耐力計算によって最大応答を求めたところ、特に漁村建物、町家建物については耐震性の低い建物が多く見られ、老朽化による耐震要素の劣化を考慮すると、早急な耐震補強が必要であることが明らかとなった。

伝統構法建物の耐震性能を地域特性に応じて向上させる方策として、仕口ダンパーに代わる格子パネル及び斜め貫を用いた補強に関して実験を行ってデータの充実を図った。また、これらのデータを用いて補強設計法の構築に関して検討を行った。加えて、新たに簡便に施工が出来るきずり漆喰壁を提案し、実験を行ってその性能を確認した。

風圧力を受けた際の軒を固定する方法について地域で用いられている様々な工法に関して実験を行い、吹き上げ力の設計値と比較することにより、安全性の高い工法を見いだした。

落とし込み板壁を有する伝統構法建物をベースに応急仮設住宅を計画し、木材の調達から施工・解体までのプロセス、施工体制、コスト等について検討を行い、十分に実現可能であることを確認した。また、実際に施工実験を行い、この構法による躯体が専門家と一般人の組み合わせで容易に構築できることが確認された。

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9件)

立石 大也、北原 昭男、木造住宅における軒のあおり防止のための垂木固定法に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第54号、2015、pp.669-672

大田黒 優介、北原 昭男、きずり漆喰壁の耐震性能評価に関する実験的研究(そ

の1)、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第54号、2015、pp.673-676

寺口 ありさ、北原 昭男、上濱 優貴、格子を用いた伝統木造軸組の耐震性能に関する研究(その4)、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第54号、2015、pp.677-680

上濱 優貴、北原 昭男、寺口 ありさ、格子を用いた伝統木造軸組の耐震性能に関する研究(その5)、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第54号、2015、pp.681-684

熊野 貴之、北原 昭男、木造伝統構法による応急仮設住宅の計画と施工方法に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第53号、2014、pp.637-640

佐藤 史織、北原 昭男、上濱 優貴、熊本地域における伝統構法木造建物の構造特性と耐震安全性評価(その2)、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第53号、2014、pp.641-644

桐原 博之、北原 昭男、静的実験による斜め貫を有する木造軸組の耐震性能評価(その7)、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第53号、2014、pp.645-648

山部 雅貴、北原 昭男、伝統構法による仕口の性能評価と限界耐力計算法への適用、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第52号、2013、pp.729-732

大霧 美可子、北原 昭男、小原 朋夏、二木 清美、静的実験による斜め貫を有する木造軸組の耐震性能評価(その6)、日本建築学会九州支部研究報告、査読なし、第52号、2013、pp.733-736

6. 研究組織

(1)研究代表者

北原 昭男(KITAHARA, Akio)
熊本県立大学・環境共生学部・教授
研究者番号：00195273

(2)研究協力者

古川 保(FURUKAWA Tamotsu)
楠元 繁芳(KUSUMOTO Shigeyoshi)
池田 元吉(IKEDA Motoyoshi)