

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04718

研究課題名（和文）伝統木造町家建築の連棟効果の解明と耐震設計法の提案

研究課題名（英文）Research on the effect of connecting traditional timber townhouses and proposal of seismic design method

研究代表者

佐藤 弘美 (Sato, Hiromi)

金沢工業大学・建築学部・講師

研究者番号：60508274

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題は歴史的なまちなみに多くみられる連棟建物の構造的効果を定量的に明らかにすることを目的とする。研究成果として下記の内容が得られた。

1) 金沢市・高岡市の歴史的なまちなみを中心に実施した全数調査および既往の調査結果より、連棟効果が得られる隣接条件の抽出と分布を調査し、評価・検証すべき隣接条件を明らかにした。2) 実在の連棟町家建築を対象とした振動実験、地震観測、地震応答解析により、連棟町家建築の解析的評価および実挙動を把握した。3) これまでの調査結果、解析結果等を基に耐震化手法の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象としている歴史的なまちなみは全国に存在し、重要伝統的建造物群保存地区は105市町村で127地区選定されている（令和5年12月15日現在）。歴史的なまちなみは、その文化的歴史的価値から保存・活用が望まれるものの、耐震性能に問題を抱えている場合も少なくない。本研究は、歴史的なまちなみを建物単体ではなく地域全体に耐震化する手法を検討・提案するために実施したものであり、歴史的なまちなみの存続に有用であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project is to quantitatively clarify the structural effects of the row of buildings that are often found in historic towns. The following results were obtained.

1) Based on the results of a total survey conducted mainly in the historical towns of Kanazawa and Takaoka, as well as on the results of previous surveys, the extraction and distribution of adjacent conditions that can produce the effect of row houses were investigated, and the adjacent conditions that should be evaluated and verified were clarified. 2) Vibration experiments, seismic observations, and seismic response analysis were conducted on actual townhouse buildings to understand the analytical evaluation and actual behavior of townhouse buildings in rows. 3) Based on the results of the investigations and analyses, a seismic retrofitting method was studied.

研究分野：木質構造

キーワード：町家建築 連棟効果 地震応答解析 振動実験

1. 研究開始当初の背景

現行の建築基準法は建物の構造性能は単体で構造性能を検討する。しかし平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震や平成 28 年(2016 年)熊本地震など過去の巨大地震では、耐震要素の少ない町家建築が隣接する建物と支えあうような事例が散見された。このことから、個々の建物が地震に対する構造性能を十分保有していなくても、隣接する建物と一体化することで隣接する建物と耐力を補完しあうこと、一体化していなくても倒壊しかけても寄りかかり倒壊を免れることが可能なのではないだろうか。この特性を分析・評価することは、まちなみを維持しながら多くの伝統木造建築を耐震化することにつながる。

連棟は町家建築からなるまちなみの景観をつくる重要な特徴

日本全国に数多くみられる町家が複数棟連なる(以下「連棟」とする)伝統的木造建築のまちなみは、その軒が連なる連棟の眺めもその価値をつくる一つの要素である。これらのまちなみは個々の建物の耐震性能が低い場合が多く、まちなみ全体として耐震化計画、防災計画などを必要としている。しかし、連棟の建築物に対する地震や外力を受けた際の挙動を評価するための構造性能評価手法が未だ確立していない現状がある。

連棟町家の構造的一体性

佐藤(研究代表者)は、これまで実施したまちなみの振動調査において、隣家と壁や空間を共有している例では、振動モードや挙動が同じ傾向を示し、2 棟が連動することを確認している(図 1)。しかし、連棟町屋においては、隣家との隣接の条件・構造は多様であり、隣家との隣接の構造による連成挙動を明らかにする必要がある。



図 1 連棟町家の常時微動時の連成挙動(左から 2 番目と 3 番目)

また、佐藤(研究代表者)らの実施した地震被害調査において、個々の建物の構造性能は十分ではなかったものの、倒壊を免れた町家 3 棟の事例がある。構造調査に基づいた地震応答解析では、単棟で評価すると倒壊の可能性が高いことから、連棟であることで倒れなかった可能性が指摘される。このように連棟であることで建物が単体である場合よりも地震被害を減らせる可能性が考えられ、連棟による条件と効果を解明できれば伝統木造町家の耐震性能の向上に非常に有用であるといえる。

2. 研究の目的

本研究では、日本の持つ町家建築が連なる美しいまちなみを後世へそのまま残すために、建物の個の特性だけでなく、建物が複数棟連なることによって生じる構造特性を解明し、連棟効果の検証および評価法の提案を目的とする。

歴史的建造物において、以前は構造補強と歴史的な外観の保全は両立しない関係であったが、連棟で考えることが構造的にも効果的であれば、単棟の耐震化を計画するよりもまちなみとして景観を残していくことに非常に役立つ。また、現在は町家が連なる景観をそのまま保存することが難しく、部分的に取り壊され空き地や新築建物によりまちなみの連続性が失われることも多い。景観上だけでなく構造安全上においても連棟によるメリットがあれば、現在のまちなみの美しい景観を残していくことにつながる。つまり、連棟で構造性能を評価することは歴史的まちなみ全体の耐震化において新しい保全の切り口となりうる。

これまでの木造建築の耐震性能の考え方はあくまで単体を対象としているが、本研究では複棟の効果を定量的に評価しようとしている。連棟建物の調査や解析は既往の研究でも実施されているが、数多くある隣接状況と一体化の関係性について定量的に評価する例はほかにない。また実在建物を対象に起振機を用いた現地実験、縮小模型を用いた振動台実験、地震応答解析によるパラメトリックスタディを行うことで、実状の解明につながる。定量的に評価し評価法を構築することで今後実際のまちなみに生かすことができる。

3. 研究の方法

下記の2項目について明らかにする。

(1) 連棟効果の条件の定量化

町家が連なるような都市部では隣家との界壁を共有するものもあれば、各戸の外周線に柱のみを設け共通の収納空間とする例、ごく狭小な通路を有する例など様々な事例が認められる。伝統的建造物群保存地区報告書等の文献調査によって代表的な連棟部のパターンをスクリーニングし、重要かつ典型的な事例の見られるまちなみを対象に実測および構造調査を実施し構造的に一体化する効果が得られる連棟の条件を明らかにする。条件の解明と併せ、実在建物を対象とした人力加振実験を用いることで隣接する建物への振動の伝達状況を測定し、構造的一体化度について定量的に評価する。

(2) 地震時挙動の検証

連棟効果を発揮する条件ごとに、建物数棟が連なる連棟建物の地震時挙動について縮小模型を用いた振動台実験、地震観測および地震応答解析によって明らかにする。縮小模型を用いた振動台実験では、連棟町家を1/10スケールで作成し、代表的な隣接状況を再現して実際の揺れに対する挙動を確認する。地震観測では、(1)で得られた代表的な連棟建物を対象に地震計を1年間設置し、期間内に生じた揺れを記録する。地震応答解析では3次元立体フレームモデルによって詳細にモデル化した連棟町家を用い、文献調査、現地調査から考え得る様々なケースについてパラメトリックスタディを行う。

代表的な隣接状況の条件は壁や柱など構造材を共有している、構造材はそれぞれ所有するが2棟が隙間なく接している、空間を共有している、2棟の間に隙間を有する、4タイプである。パラメータはこれまでの研究より、連棟部の条件および建物の規模および耐力とする。連棟する建物の規模や耐力の違いはお互いの力の伝わり方に差を生じさせるため、規模、耐力を分けて検証する必要がある。特に耐力では連棟全部が弱い、連棟の途中に強い建物がある、連棟の片方の端に強い建物がある、連棟の両端に強い建物があるなど単体建物の耐力の順序が与える影響も併せて確認する。振動台実験および地震応答解析の結果を、実際の建物を対象とした人力加振実験による振動現象および地震観測により得られた観測結果と比較することで、実際の地震時挙動の検証を行うことができる。

4. 研究成果

本研究課題により得られた研究成果を以下に示す。

(1) 連棟効果の条件の把握

石川県金沢市の歴史的まちなみに現存する町家 238 棟および富山県高岡市の歴史的まちなみに現存する町家 60 棟について外観調査を行い、連棟状況の分析を行った。研究方法(2)に示した代表的な隣接状況の条件について分類したところ、柱が接している状況がいずれの地区も50%以上を占めていることが確認された。柱や壁を共有する接続度の高い条件は約5%と低い結果となった。また、本研究課題および既往の研究結果から、柱や壁を共有している場合は連成した振動がみられるため、連棟効果が期待できる。一方で柱1本分の隣棟間隔がある場合は屋根が接していても微小振動時には別挙動を示しており、小変形領域においては連棟効果は期待できない結果となった。

(2) 地震時挙動の検証

縮小模型を用いた振動台実験、連棟町家の地震観測、地震応答解析を実施し、地震時挙動の検証を行った。

縮小模型を用いた振動台実験

熊本地震で被災した連棟町家を対象に、1/10 スケールの縮小模型を作成し振動台実験を行った。模型は建物単体と壁・柱を共有する連棟の2種類作成し、挙動の違いを確認した。入力波には Sweep 波、sine 波、random 波、日本建築センター模擬波 BCJ-L2、KIK-net 益城の本震の観測波を用いた。単体の場合と連棟の場合によって挙動に違いが確認できた。しかし、今回作成した縮小模型は軸組模型としたため、土壁などの耐震要素を再現しきれていないため、実挙動の再現には至らなかった。今後は縮小模型に土壁もしくは代替となる耐力要素を設置して再度振動台実験を実施し、実状に近づけて地震時挙動を確認する予定である。

地震観測

社会情勢により県外での活動が制限され、現地調査や振動実験が十分実施できない状況が続いたため、起振機を用いた振動実験の代わりに地震観測を行うよう計画変更を行った。高岡市の連棟町家(2棟)を1年間観測し、実際の振動状況の把握を目的として実施した。期間中に現地での計測震度1~3の地震が観測された。対象は柱1本分の隙間を有し屋根が接するタイプの連棟町家であり、柱が接するタイプに次いで多く確認されるタイプであるが、観測結果からは連棟効果は確認できなかった。

地震応答解析

連棟町家(2棟)を対象に、単体および連棟の解析モデルを作成して地震応答解析を行うことで、大地震時の挙動の違いを検証した。連棟の解析モデルを対象に地震応答解析を実施した際に、同様の入力に対して単体の解析モデルと比較して耐力が増加し、倒壊するケースが減ったことから、連棟であることの耐震化効果が期待できると考えられる。一方で実建物の接続状況と解析上の接続状況を一致させることが難しく、今後は接続要素および接続状況の検証を行う必要があると考える。

また、地震観測などの結果から、隣接建物が別挙動を示し連棟効果が期待できない場合に、振動時に衝突を生じるなどの危険が予測される。一体化することが構造的もしくは管理体制などの観点から難しい場合は、衝突により地震時の危険性が増すことがないように、緩衝材などを設置することが求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------