

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06287

研究課題名(和文) 任意寸法の軸組を対象とした筋かい耐力壁の性能設計実現に向けた基礎研究

研究課題名(英文) Fundamental Study to Realize Performance-Based Design of Braced Shear Wall for Any Sized Wooden Frame

研究代表者

中尾 方人 (NAKAO, Masato)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・特別研究教員

研究者番号：60323937

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：在来軸組構法の木造住宅で用いられる一般的な筋かい耐力壁を対象として、まず、3種類の筋かい金物を選定し、それぞれについて、壁長が910mm、1365mmおよび1820mmの筋かい耐力壁のせん断加力実験を行い、破壊性状と耐力性状を把握した。そして、これらの耐力壁を対象に静的増分解析を行って、概ね、実験結果と対応する結果が得られることを確認した。その結果を応用し、方づえとK形の筋かい耐力壁についても、増分解析によって荷重-層間変位関係の推定が可能であることを確認した。また、任意の荷重-層間変位関係を実現するための接合部仕様の設計に関する試行的な検討を行い、有用な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：This research was conducted focusing on a braced shear wall installed in wooden houses build by the Post-and-beam construction system. Firstly, static shear loading tests on braced shear walls with three types of brace fastener and three wall length, namely 910 mm, 1365 mm and 1820mm were performed to understand the failure modes and the shear force-story displacement relationships. After that, static incremental analysis of the braced shear walls was conducted, and it was found that the incremental analysis model is adequate for estimating the shear force-story displacement relationships. It was also confirmed that the analysis model is valid for estimating the shear force-story displacement of a knee braced shear wall and a K-shaped brace shear wall. Additionally, trial experiment to examine the design method for the connection between the end of the brace and the frame was conducted to have useful knowledge.

研究分野：建築木質構造

キーワード：在来軸組構法 木造住宅 筋かい耐力壁 筋かい金物

1. 研究開始当初の背景

在来軸組構法の木造住宅においては、筋かいは主要な耐震・耐風要素である。しかしながら、その破壊性状は靱性能に乏しい座屈や端部の引抜けであり、さらに、規定の断面の筋かい材、筋かい金物を用いた場合でも、所定の壁倍率が得られない場合がある問題が指摘されていた。

筋かい材を軸組に緊結する筋かい金物の研究開発は、1995年の阪神・淡路大震災の教訓から本格的に始められた。しかし、現在においても、その破壊メカニズムは十分解明されておらず、構造性能の基準としては、壁倍率の最低値のみしかない。また、その基準を満たしていることの確認は、既定の寸法の試験体による実験を行うしかない。

筋かいは、木造住宅に広く用いられていて、重要な役割を占めていながら、十分にその破壊メカニズムが解明されていないため、仕様設計の域にとどまっており、合理的な筋かい金物の研究開発が難しく、必要性能に応じた性能設計も未だ技術的に難しい状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、在来軸組構法の木造住宅で用いられる筋かい耐力壁を対象として、任意の仕様の筋かい耐力壁の荷重-層間変位関係を数値解析で求められるようにし、性能設計を可能することを目指す。

そのために、まず、一般的な片筋かい耐力壁を対象に、荷重-層間変位関係が得られるような増分解析の解析モデルを開発する。また、筋かい耐力壁に必要な荷重-層間変位関係が与えられたときに、それを実現できる筋かい端部と軸組との接合方法を検討する。最後に、応用として、方づえ、K形など、特殊な筋かいについても、増分解析で荷重-層間変位関係が得られることを確認する。

3. 研究の方法

市販されている一般的な筋かい金物入手して分類し、種類の異なる数種類を選定する。そして、選定した金物を用いて、壁長が異なる筋かい耐力壁試験体を製作し、せん断加力実験を行い、破壊性状と荷重-層間変位関係を把握する。また、増分解析で得られた荷重-層間変位関係が実験結果と対応することを確認する。

次に、種々の接合具1本の荷重-変位関係をデータベース化し、目標とする筋かい耐力壁の復元力特性を設定したとき、それを実現するための筋かい端部-軸組の接合方法(接合具の組み合わせ)を検討する。

最終的に、増分解析によって、特殊な筋かい耐力壁(方づえ、K形)の荷重-層間変位関係の推定も可能であることをせん断加力実験により確認する。

4. 研究成果

(1) 筋かい耐力壁の破壊性状と耐力性状

プレート形、ボックス形およびL形の筋かい金物を用いた、壁長が1P(910mm)、1.5P(1365mm)および2P(1820mm)の片筋かい耐力壁の破壊性状と耐力性状を把握するため、せん断加力実験を行った。試験体の高さは、2730mmとし、桁は180mm×105mmのベイマツ、柱と土台は105mm×105mmのスギ、筋かいは90mm×45mmのカナダツガとした。筋かい耐力壁は、筋かいの引張側と圧縮側で抵抗機構が異なるため、それぞれの側で単調加力とした。

プレート形金物の破壊性状と荷重-層間変位関係を図1と図2に示す。金物は、厚さが0.6mmのステンレス製であるため、引張側の終局時には、金物にしわが生じて端部が裂け、土台に割裂が生じた。圧縮側では、筋かい端部と横架材との境界付近で金物の座屈が生じた。荷重-層間変位関係について、引張側では、壁長が大きくなるにつれて最大耐力が高くなり、変形能力が低下する傾向がみられた。圧縮側では、壁長が大きくなると剛性が高くなる傾向であり、終局時には、筋かいに座屈が生じた。

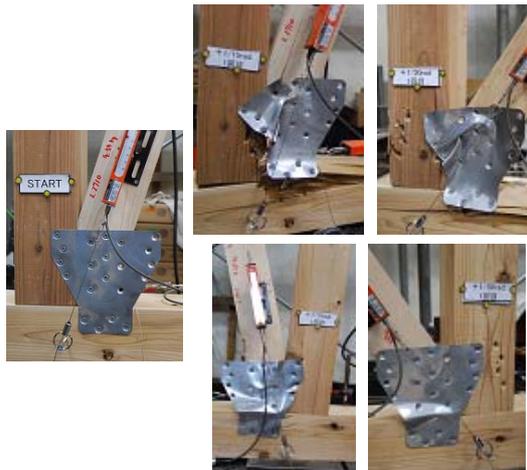


図1 プレート形筋かい金物の破壊性状 (上段：引張側、下段：圧縮側)

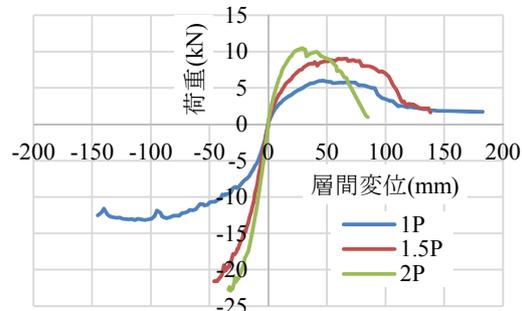


図2 プレート形金物を用いた筋かい耐力壁の荷重-層間変位関係 (正側：引張側、負側：圧縮側)

ボックス形金物の破壊性状と荷重－層間変位関係を図3と図4に示す。ボックス形金物に引張力が作用すると、金物の折り曲げ部が変形し、最終的には横架材に留めたビスが引き抜け、耐力が低下した。壁長が大きくなると、柱側のビスの引き抜けも生じた。圧縮側では、筋かいの面外変形とともに、金物も面外に回転し、筋かいが座屈した。引張側の耐力性状としては、プレート形と同じく、壁長が大きくなるにつれて最大耐力は高くなり、変形能力は低下する傾向であったが、最大耐力はプレート形より低く、また、最大耐力時の層間変位は大きい傾向であった。圧縮側の剛性については、プレート形に比べ、1Pでは低くなったが、1.5Pと2Pでは同等であった。



図3 ボックス形筋かい金物の破壊性状
(上段：引張側、下段：圧縮側)

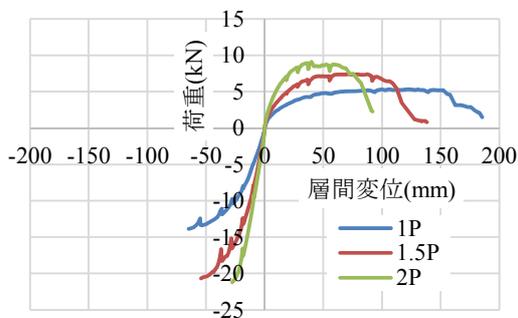


図4 ボックス形金物を用いた筋かい耐力壁の荷重－層間変位関係
(正側：引張側、負側：圧縮側)

L形金物の破壊性状と荷重－層間変位関係を図5と図6に示す。L形の金物に引張力が作用すると、ボックス形金物と同様に金物の折り曲げ部が変形し、柱側のビスのうち、柱の端部に近い側から引き抜けが生じた。金物の面内回転による、筋かい端部の割り裂けが顕著であった。圧縮側では、変形した金物が柱にめり込む様子が見られた。引張側の剛性や最大耐力は、プレート形やボックス形に比べて低く、最大耐力時の層間変位は大きい傾向であった。壁長との関係は、他の金物と同様であった。

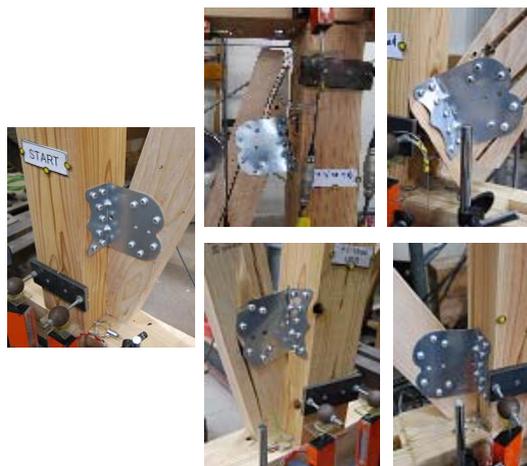


図5 L形筋かい金物の破壊性状
(上段：引張側、下段：圧縮側)

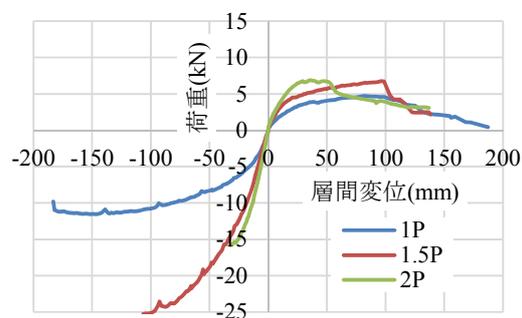


図6 L形金物を用いた筋かい耐力壁の荷重－層間変位関係
(正側：引張側、負側：圧縮側)

図7に壁長と壁倍率との関係を示す。圧縮側の壁倍率は、1/150rad時の耐力だけから評価した。引張側では、いずれの金物においても、壁長が大きくなるにつれて、壁倍率は低くなる傾向であった。プレート形の壁倍率は他の金物より高いが、これは、ボックス形とL形では、ビスに引抜き力が作用するのに対し、プレート形では、ビスにせん断力が作用するためと考えられる。圧縮側については、逆に、1Pよりも1.5Pや2Pのほうが壁倍率は高い傾向である。しかしこれは、剛性のみから評価した結果であり、筋かいの座屈なども考慮すると、異なる傾向になることが考えられる。

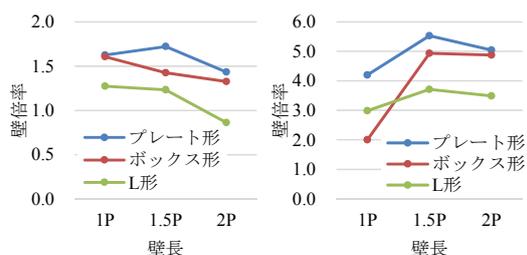


図7 筋かい金物の種類・壁長と壁倍率との関係 (左：引張側、右：圧縮側)

(2) 増分解析による筋かい耐力壁の耐力性状の推定

①筋かい端部接合部レベルの解析モデル

筋かい耐力壁を対象とした増分解析を行い、せん断加力実験で得られた荷重－層間変位関係との比較を行った。まず、筋かい端部と横架材間の荷重－変位関係を得るため、前述のせん断加力実験で用いた試験体から、図8のような筋かい端部一軸組の接合部試験体を製作し、筋かいに軸力を作用させる要素試験を行った。筋かい端部と横架材間の変位は、金物と各部材間の変位の合計とした。この試験で得られた筋かいの軸力－変形関係を4折れ線モデルに置換し、図9のような解析モデルによって、静的増分解析を行った。

図10に解析結果と実験結果の比較を示す。要素試験から得られた筋かい軸力－変位関係をもとにした増分解析結果は、概ね、せん断加力実験で得られた荷重－層間変位関係と対応しているが、層間変位については、解析結果が過小評価の傾向である。これは、要素試験での変位が金物と各部材間の変位を積算して得られたもので、金物の変形が含まれていないためと考えられる。変形の過小評価は、金物の折り曲げ部で変形が生じるボックス形やL形で顕著である。より精度の高い評価には、金物の変形量の評価も必要であることが分かった。

②接合具レベルの解析モデル (L形)

筋かい端部一軸組の接合部試験から得られた筋かい軸力－変位関係によって、筋かい耐力壁の荷重－層間変位関係は概ね推定可能であることが分かった。しかし、この方法では、筋かい端部の要素試験が必要であり、ビスのせん断や引抜き試験など簡単な試験から筋かい耐力壁の荷重－層間変位関係を推定できれば理想的である。

そこで、L形の金物を対象に、図11のような、ビス1本の引抜き力－変位関係、せん断力－変位関係および金物の荷重－変位関係を用いる詳細モデルで増分解析を行って、筋かい耐力壁の荷重－層間変位関係を推定した。図12にビスの引抜き力－変位関係を、図13に金物の荷重－変位関係を示す。金物の変位は、筋かい端部一軸組の接合部試験の際に測定した、金物の折り曲げ部が変形することによって生じる、筋かい軸方向の変位である。

解析結果と実験結果の対応を図14に示す。剛性や最大耐力については、解析結果は実験結果と対応しているが、1.5Pでは、層間変位を過小に評価している。変形については、局所的なビスの引抜き力－変位関係の影響を受けるが、実験では、最初に引き抜ける柱側のビスに近接して節が存在していたことで、ビスが引き抜け難くなり、金物の変位が大きくなった可能性などが考えられる。今後は、簡便な金物の荷重－変位関係の評価法の検討が必要と考えている。



図8 筋かい端部一軸組の接合部引張・圧縮試験

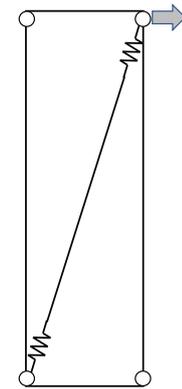
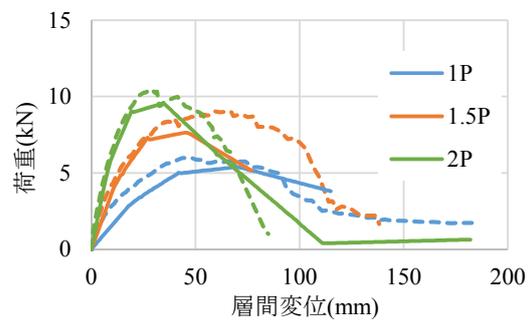
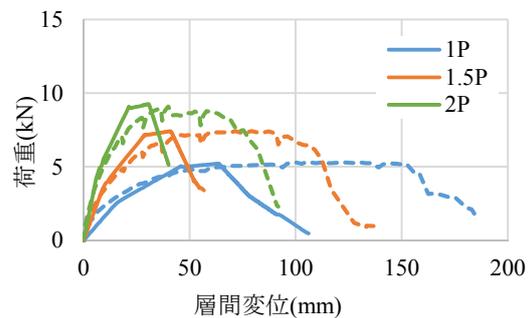


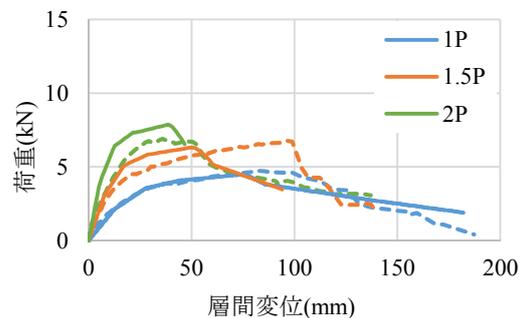
図9 増分解析モデル



(a) プレート形筋かい金物



(b) ボックス形筋かい金物



(c) L形筋かい金物

図10 増分解析結果と実験結果の対応 (実線：解析、破線：実験)

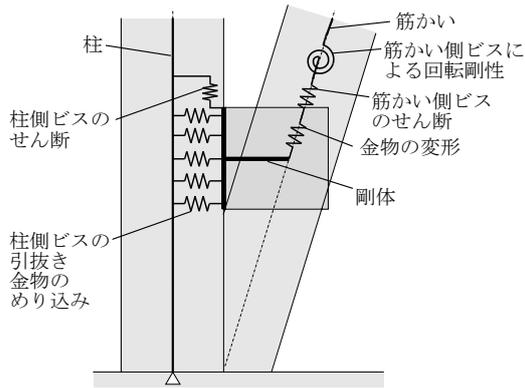


図 11 筋かい端部一柱接合部解析モデル

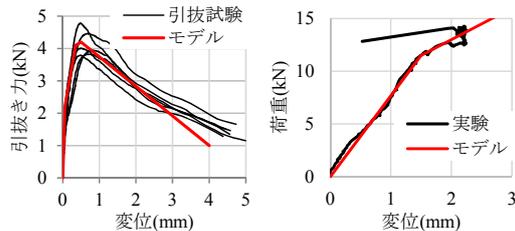


図 12 ビスの引抜き力 ー変位関係 図 13 金物の荷重ー変位関係

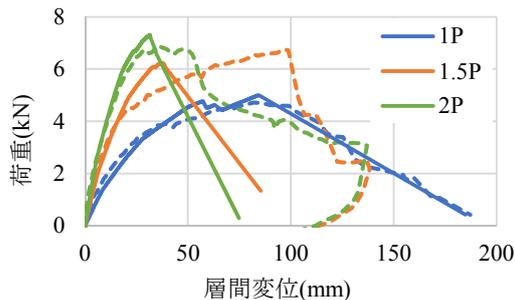


図 14 増分解析結果と実験結果の対応 (実線：解析、破線：実験)

(3) 異なる接合具の組み合わせで任意の荷重ー層間変位関係を得るための検討

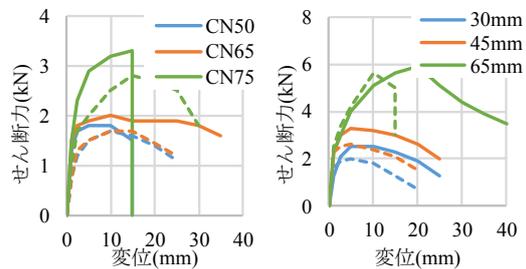
金物の変形の層間変位への影響が少ないプレート形の筋かい金物を対象として、接合具の種類や数を調整し、任意の筋かい軸力ー変位関係を得るための検討を行った。

まず、接合具 1 本あたりのせん断力ー変位関係をデータベースとして用意しておくため、釘 3 種類 (CN50、CN65、CN75) とビス 3 種類 (長さ 30mm、45mm、65mm) について、1 面せん断試験を実施した。加力方向は、木材の繊維平行方向と直角方向とした。同じ条件の試験は、ばらつきを考慮して、6 体ずつ実施した。平均的なせん断力ー変位関係を図 15 に示す。

次に、同じ壁倍率である 3 種類の荷重ー層間変位関係 (標準、高靱性、高耐力) を設定し、その荷重ー層間変位関係に近づくように、接合具の組み合わせを決定した。図 16 に設定した 3 種類の荷重ー層間変位関係と、接合具のせん断力の加算による荷重ー層間変位

関係を示す。

決定した接合具の組み合わせで筋かい端部一軸組の接合部試験体を製作し、引張試験を実施した。その結果から求めた筋かい耐力壁の荷重ー層間変位関係を図 17 に示す。いずれの試験体でも、設計よりも高い耐力となった。高い靱性を期待した仕様の試験体では、主として釘を用いていたが、比較的小さな変形で釘頭が破断し、耐力が低下した。高い耐力を期待した仕様では、3 種類の仕様のうち、最も高い耐力となった。釘が比較的小さな変位で破断した要因としては、異なる接合具を混用することで、金物の面外への浮き上がりが拘束され、釘頭付近にひずみが集中したことが考えられる。各々の接合具の 1 本での 1 面せん断試験では、金物の浮き上がりを拘束することが必要と考えられる。



(a) 釘 (b) ビス

図 15 接合具のせん断力ー変位関係 (実線：繊維平行、破線：繊維直角)

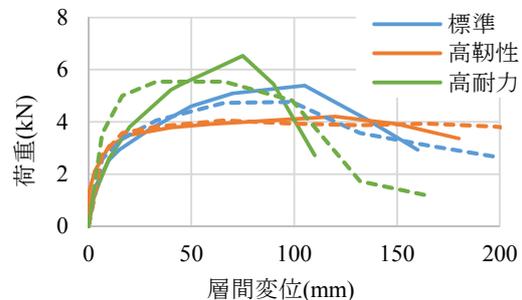


図 16 目標とする荷重ー層間変位関係 (実線：目標、破線：接合具加算)

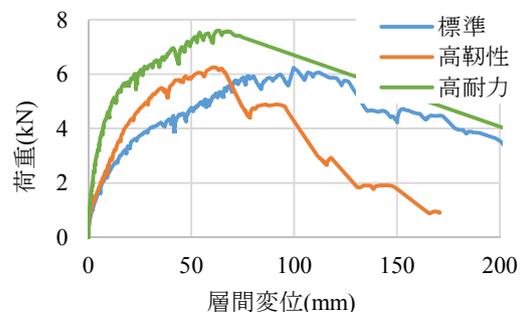


図 17 実験結果から得られた荷重ー層間変位関係

(4) 特殊な筋かい耐力壁の荷重－層間変位関係の推定

在来軸組構法の木造住宅における筋かいは、片筋かいやたすき掛けのみであるが、方づえやK形も筋かいの一種と考えられる。既存の筋かい金物を用いて、これらの特殊な筋かいを構築でき、また、その荷重－層間変位関係を推定することができれば、筋かいの利用の幅が広がるものと考えられる。

そこで、L形の筋かい金物を用いた方づえとK形の筋かい耐力壁について静的増分解析を行い、荷重－層間変位関係を推定した。解析には、筋かい端部一軸組の接合部引張試験から得られた筋かい軸力－変位関係を用いた。圧縮側については、筋かい端部にクリアランスを設けた筋かい耐力壁のせん断加力実験を実施し、そこから得られた筋かい軸力－変位関係を用いた。また、図18のように、これらの試験体を製作して、せん断加力実験を実施し、解析の精度を検証した。



図18 方づえとK形筋かいの試験体

方づえの解析結果と実験結果を図19に示す。1/30rad付近までは、解析結果は実験結果に近く、解析モデルは適切であることが分かる。しかし、実験において、1/30rad時に柱脚のほぞの破壊が生じて、軸組で荷重が負担できない状態になった。このような破壊は解析では想定していなかったため、1/30rad以降の解析結果と実験結果の差は大きくなった。解析結果によると、1/30rad時にほぞに作用するせん断力は9.4kNであり、ほぞの面積で除すと6.3N/mm²となる。しかし、実際には三角形めり込みであること、また、せん断力が作用した方向は年輪の接線方向であったことを考えると、横圧縮による破壊が生じたものと考えられる。このように、方づえの場合は、桁に作用するせん断力が小さくても、ほぞに生じるせん断力は大きくなるため、注意が必要といえる。

図20にK形の荷重－層間変位関係を示す。1/30rad付近までは、解析結果と実験結果は良い対応を示している。実験においては、1/30rad付近から、圧縮側の筋かいの端部が柱側のビスの頭に接触していた。これによって、圧縮筋かいの負担力が上昇し、引張側の筋かいの柱側のビスが一気に引き抜けたも

のと考えられる。圧縮側の筋かい端部が柱側のビスの頭に接触したのは、1P片筋かい用の筋かい金物を用いたために、クリアランスが小さかったことによる。圧縮側のクリアランスを大きくとるためには、より大型の金物が必要であると考えられる。

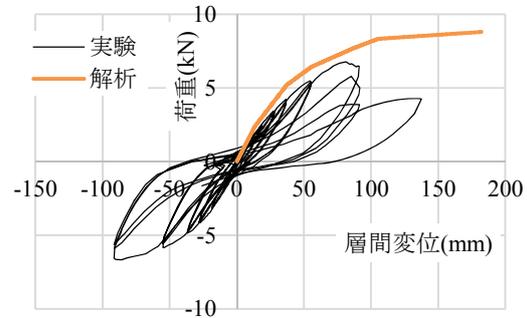


図19 方づえの荷重－層間変位関係

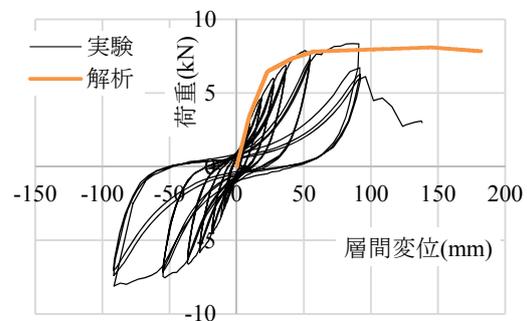


図20 K形筋かいの荷重－層間変位関係

(5) まとめ

在来軸組構法の木造住宅に用いられる筋かい耐力壁を対象に、その破壊性状や耐力性状を把握し、増分解析モデルを構築することができた。この解析モデルを用いることで、任意の壁長の筋かい耐力壁の耐力性状を推定することができ、また、意図した耐力性状になるような筋かい金物の設計にも役立つものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

- ①宮崎 太郎、中尾 方人：L形筋交い金物を用いた筋交い耐力壁の復元力特性の評価に関する研究 その1 1Pにおけるビスの影響、日本建築学会大会、2017年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中尾 方人 (NAKAO, Masato)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・特別研究教員

研究者番号：60323937