

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15081

研究課題名（和文）木造軸組の仕口への合理的な方杖型耐震補強の実験的研究

研究課題名（英文）Experimental Study on Efficient Seismic Retrofitting using Ductile Knee Steel Braces for Timber Frame Joints

研究代表者

本間 小百合（Honma, Sayuri）

山口大学・大学院創成科学研究科・助教

研究者番号：60772499

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000円

研究成果の概要（和文）：木造軸組構法では、地震時の水平力に対し筋かいを入れた軸組部分を耐力壁として負担させるのが一般的である。木造軸組に対して筋かいなどで耐震補強を施す場合、開口部を犠牲にして耐力壁を増設することが考えられる。そこで、木造軸組の耐震補強と既存開口部の保持が可能な靱性型方杖での耐震補強の可能性を検討した。本研究では、鉄骨造建築物に対して開発された靱性型方杖を既存の木造住宅に適用し、その最適な形状を検討した。薄鋼板を用いた靱性型方杖の単調載荷実験及び繰り返し載荷実験を行い、靱性型方杖を用いた木造軸組について、木造軸組の接合部を考慮した非線形フレーム解析を行い同方杖の効果について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに、鋼構造に対して、損傷制御となる方杖型の制震部材の研究を行った結果、制震部材の導入により架構の耐力・剛性を極端に向上しないことが分かった。そこで、本研究では、主架構に損傷を与えずに主架構全体の剛性・耐力を向上させるため、薄鋼板を用いた方杖型の制震部材を木造軸組構造への適用を検討した。また、半剛接合となる仕口部の回転剛性を活用し、制震機能についても検討した。その結果、地震動による水平力を受けた際の木造軸組における仕口の回転変形（スリップ型の履歴）を活用し、木造軸組の架構に合わせて方杖部材の剛性・耐力を調整することで、同部材が早期に降伏し、ダンパーとしての機能を果たすことが分かった。

研究成果の概要（英文）：In timber frame construction, it is common practice to use the shaft framework with diagonal bracings as bearing walls to resist horizontal loads during earthquakes excitations. The diagonal bracings are also applied to retrofit existing building frames seismically, but they have a disadvantage in preventing the openings in the exterior walls of the buildings. Therefore, the possibility of seismic reinforcement of the timber frames and retain the existing openings with knee bracings was investigated. In this study, a ductile steel knee brace, which were originally developed for steel building structures, were applied to existing timber residential buildings to determine their optimal shape. Monotonic and cyclic loading tests were conducted on a ductile steel knee brace using thin steel plates, and nonlinear frame analysis was performed on a timber frame with a ductile knee brace, considering the joints of the timber frame, to investigate the effect of the ductile steel knee brace.

研究分野：鋼構造

キーワード：制震部材 方杖型 木質軸組 薄鋼板

1. 研究開始当初の背景

木造軸組構法では、地震時の水平力に対し筋かいを入れた軸組部分を耐力壁として負担させるのが一般的である。この木造軸組に対して耐震補強を施す場合、開口部を犠牲にして耐力壁を増設することが考えられる。一方、柱と梁の仕口部を方杖で補強し仕口の剛性・耐力を高め、かつ軸組全体の剛性・耐力の向上につなげる方法も考えられる。この方法は、柱と梁の仕口周りにコンパクトに取り付く方杖を用いることで、開口部が確保でき、耐力壁の増設に比べて、施工が容易となるため低コストに繋がる。建物が地震時の水平力を受けた時、木造軸組は仕口では大きな回転変形が生じ、この変形が軸組全体で大きな水平変位を誘発させる原因となっている。本研究では、方杖を用いて仕口を補強する事により木造軸組全体の剛性・耐力を向上させることを考えている。また、使用する方杖部材(靱性型方杖)の中に制震要素を持たせて仕口部のエネルギー吸収能力を改善させ、これまで鋼構造に対して用いてきた方杖型補強でのノウハウを木造軸組に生かすことで、同補強としての可能性が広げられると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、木造軸組に適用できる安価で施工が容易な制震機能付き補強部材を提案する事である。そのためには、軸組の主架構に損傷を与えないような補強部材の剛性・耐力と制震要素としての効果を力学的根拠に基づき示す必要がある。また、靱性型方杖の剛性・耐力に対する調整機能から、実現が可能だと考えている。

3. 研究の方法

(1) これまでに提案した靱性型方杖を木造軸組架構用に適用させた薄鋼板製の靱性型方杖の単調載荷実験を行う。具体的には、抵抗部であるストラットの降伏耐力と全塑性耐力及び剛性を実験より確認する。木造軸組架構と鋼製方杖部材の適切な耐力バランスを検討し、靱性型方杖のシステムを木造軸組架構に用いるための最適形状を明らかにする。

(2) 薄鋼板を用いた靱性型方杖の繰り返し載荷実験及び有限要素解析を行う。方杖の軸力と軸方向変形から剛性及び耐力を明らかにして、方杖の力学的挙動を表現できるモデルを提案し、単体での復元力特性を定式化する。

(3) 柱と横架材(桁、梁)の仕口部に、同方杖が取り付く場合を想定した方杖有無による挙動の差から方杖設置の効果を検証する。

4. 研究成果

(1) 薄鋼板製の靱性型方杖の単調載荷実験を行った^{1),2)}。具体的には、これまでに筆者は、鋼構造骨組の柱や梁部材の接合部周りに取り付く方杖型の部材に制震機能を付加させた靱性型方杖の一連の研究を行ってきた。同方杖は、主架構から方杖部材に受ける軸力を同方杖内でせん断力として伝達させるため、部材内に設けた楕状の抵抗部がせん断変形を可能とし、この変形性能を生かして制震効果を発揮するシステム(図1)を付加している³⁾。このシステムを木造軸組に適用させるため、薄鋼板(1.6mm)を用いた靱性型方杖の単調載荷実験を行い、抵抗部が機能することを確認した。また、靱性型方杖の力学的挙動から定義した力学モデル³⁾による耐力及び剛性評価も併せて行った。薄鋼板による抵抗部においても弾性挙動については、提案した力学モデル³⁾で降伏耐力及び初期剛性が評価できることを確認した。しかし、

薄鋼板としたことによる課題として、これまでは観察されなかった抵抗部の面外ねじれ挙動が新たに確認された(図2)^{1), 2)}。

(2) (1)での実験において、薄鋼板による抵抗部のねじれ挙動を確認している。薄鋼板の板厚による違いを整理するため、薄鋼板(0.8mm)での追加の単調載荷実験を行った。その結果、薄鋼板を用いた特徴の一つに、抵抗部が降伏耐力に達した後、ねじれ座屈が生じ、極端に板厚を薄くするとねじれ座屈が先行することが分かった^{3), 4), 5), 6), 7)}。ねじれ座屈後、徐々に荷重が低下するも、ある一定の荷重を保持したまま変形のみが増大し、再び荷重が上昇することが確認された。そこで、抵抗部の繰り返し載荷実験を行い、繰り返し載荷実験と単調載荷実験での挙動を比較し検討した。合わせて、有限要素解析との比較を行いねじれ挙動の予測を試みた⁸⁾。その結果、繰り返し載荷実験と単調載荷の比較では、大変形時に耐力上昇が見られる点は共通しているが、繰り返し載荷時にねじれ座屈を観察した荷重-変形関係における変形量は、単調載荷時よりも小さいことが分かった。これは、ほとんど塑性化を伴わずに、弾性的なねじれ座屈が耐力低下の主要因であることを示唆している(図3)。

(3) 木造軸組の仕口部の挙動を考慮した解析モデルを作成し、木造軸組に同方杖を取り付けた場合の部分骨組架構の弾塑性解析を行った。その結果、スリップを有する木造軸組の復元力特性に対し、同方杖を取り付けることで制震効果が期待できることが分かった(図4)。

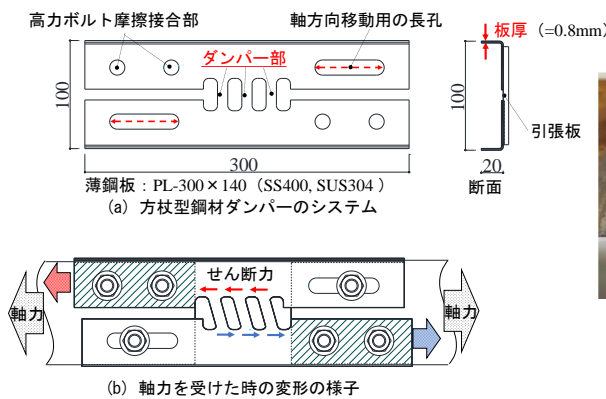
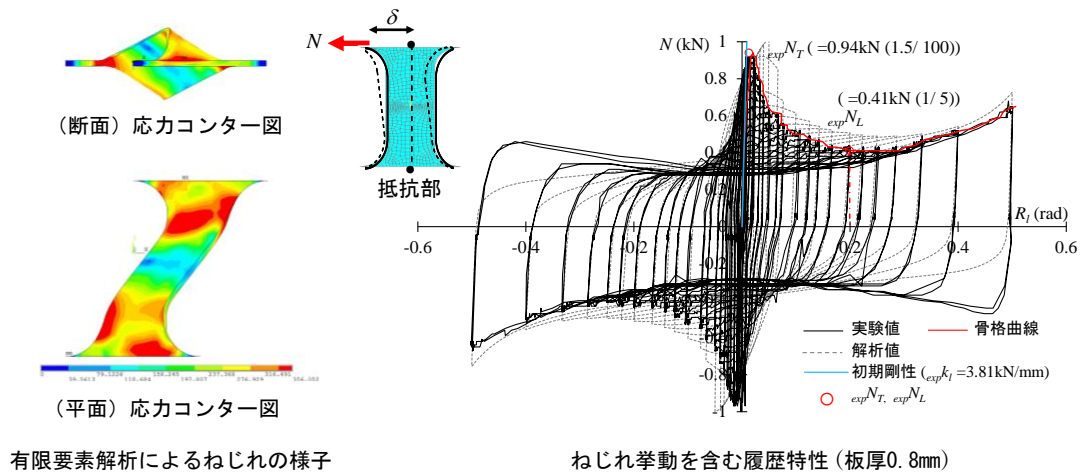


図1 靱性型方杖のシステム



図2 抵抗部のねじれの様子



有限要素解析によるねじれの様子

ねじれ挙動を含む履歴特性 (板厚0.8mm)

図3 繰り返し載荷履歴

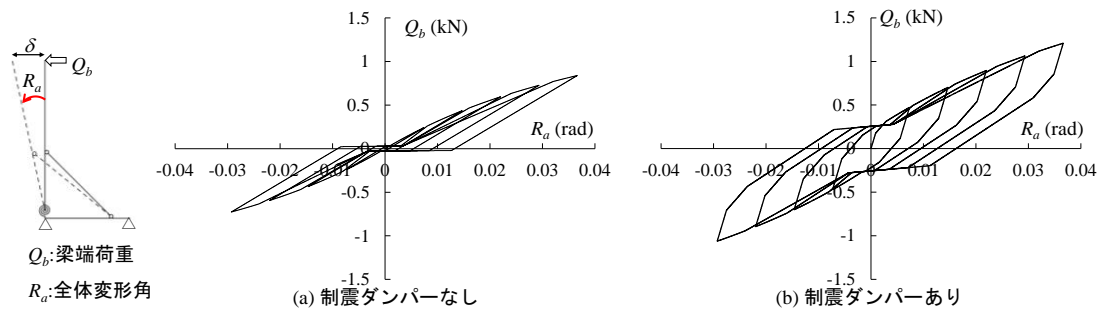


図4 部分骨組架構の弾塑性解析

[引用文献]

- 1) 藤井雄也, 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正: 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの力学的挙動 その 1. せん断降伏型鋼材ダンパーの基本性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) 構造III, 950-951, 2019.
- 2) 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正: 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの力学的挙動 その 2. 荷重-変形関係の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) 構造III) 952-953, 2019.
- 3) Sayuri Honma, Kazumasa Ebato, Yukihiro Harada: Ductile steel knee brace with built-in comb-shaped seismic damper, Journal of constructional steel research 184, No. 106765, 2021
- 4) Sayuri Honma, Yukihiro Harada, Kazumasa Ebato: **EXPERIMENTAL STUDY ON THE IN-PLANE INSTABILITY OF A SHEAR-YIELDING SEISMIC DAMPER USING A THIN STEEL PLATE**, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 2c-0027, 2020
- 5) 東凌雅, 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正: 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの曲げねじれ座屈 その3 板厚0.8mmを用いた方杖部材に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) 構造III・ブレース, p. 1043-1044, 2020.
- 6) 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正: 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの曲げねじれ座屈その4 板厚の違いによる荷重-変形関係の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) 構造III・ブレース) 1045-1046, 2020.
- 7) 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正: 薄鋼板を用いたせん断降伏型方杖ダンパーの曲げねじれ座屈, 鋼構造年次論文報告集, 第29巻, p.771-777, 2021.
- 8) 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正: 薄鋼板を用いたせん断降伏型方杖ダンパーの曲げねじれ座屈 その 5 有限要素解析による単調引張載荷履歴の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), No. 22523, p.1045- 1046, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S. Honma, Y. Harada, K. Ebato	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental study on the in-plane instability of a shear-yielding seismic damper using a thin steel plate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 17 th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 c- 0027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sayuri Honma, Kazumasa Ebato, Yukihiro Harada	4. 巻 184
2. 論文標題 Ductile steel knee brace with built-in comb-shaped seismic damper	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of constructional steel research	6. 最初と最後の頁 106765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcsr.2021.106765	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正	4. 巻 29
2. 論文標題 薄鋼板を用いたせん断降伏型方杖ダンパーの曲げねじれ座屈	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 771-777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤井雄也
2. 発表標題 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの力学的挙動 その1.せん断降伏型鋼材ダンパーの基本性能評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）構造
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間小百合
2. 発表標題 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの力学的挙動 その2. 荷重-変形関係の分析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）構造
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東 凌雅, 本間 小百合, 原田 幸博, 江波戸 和正
2. 発表標題 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの曲げねじれ座屈 その 3 板厚 0.8mm を用いた方杖部材に関する実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間 小百合, 原田 幸博, 江波戸 和正
2. 発表標題 薄鋼板を用いたせん断降伏型鋼材ダンパーの曲げねじれ座屈 その 4 板厚の違いによる荷重-変形関係の分析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間小百合, 原田幸博, 江波戸和正
2. 発表標題 薄鋼板を用いたせん断降伏型方杖ダンパーの曲げねじれ座屈 その5 有限要素解析による単調引張載荷履歴の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)
4. 発表年 2021年

〔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
---------	---------