

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18154

研究課題名(和文)既存建物の耐震改修に適した間柱型耐震壁の設計手順

研究課題名(英文)Design procedure for seismic retrofit using stud-type dampers

研究代表者

伊藤 麻衣 (Ito, Mai)

神戸大学・先端融合研究環・助教

研究者番号：90647421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：間柱型耐震壁は、設置位置の自由度が高く開口の多い建物の耐震改修に適しているが、耐震壁の性能は既存建物の耐力と剛性の影響を大きく受けるという問題点がある。そこで、本研究では、木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板を間柱型耐震壁として適用することを目指して、既存建物と間柱型耐震壁が相互に与える影響を考慮した耐震壁の設計手順を構築し、1層1スパン骨組の静的載荷実験を実施して設計手順の妥当性を確認した。また、本耐震壁単体の動的載荷実験を行い耐震壁の履歴モデルを作成した後、そのモデルを用いて種々の多層建物の時刻歴応答解析を実施し、耐震壁の応答低減効果の検証と耐震壁の効率的な配置の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：A seismic retrofit design procedure for existing steel frames using stud-type dampers was proposed in consideration of the interaction between the damper and surrounding frame. As a stud-type damper, slitted steel shear wall stiffened by plywood panels which is characterized by its light weight and compact size was used in this study. The validity of the design procedure was confirmed by cyclic loading test of a 1-story 1-span steel frame with a stud-type steel shear wall. In addition, a series of analyses of two multi-story frames using a hysteretic model of the steel shear wall that was made based on dynamic loading tests was conducted to verify the efficacy of the generalized design procedure. Also the efficient deployment and response reduction effect of the stud-type steel shear wall was confirmed for various kinds of earthquakes.

研究分野：建物の地震応答制御

キーワード：間柱型耐震壁 耐震改修 設計手法 鉄骨構造 スリット入り鋼板 動的挙動 骨組実験 時刻歴応答解析

### 1. 研究開始当初の背景

東南海・南海地震をはじめとした大規模地震の発生が危惧されている状況において、建築構造物の耐震改修技術の高度化と普及が重要な課題となっている。耐震改修技術としては、地震入力エネルギーの吸収を行う制振装置を既存骨組に組み込む方法があるが、特に開口の多い建物では、設置位置の自由度の高い間柱型の耐震壁を用いた耐震改修が適している。耐震改修用制振装置の取り付け構造として一般的なブレース型は、スパン全体を覆うため制振装置と骨組が相互に与える影響が少なく、制振装置の設計が比較的簡易である。一方、間柱型耐震壁は、既存梁の一部に取り付けるため、耐震壁の性能は骨組の柔軟性と耐力の影響を大きく受ける。間柱型耐震要素に関する既往の研究には、周辺骨組の変形の影響を考慮した全体剛性の算定式の検討や間柱型粘弾性ダンパーを設置した骨組の動的挙動の評価があるが、骨組と耐震要素が相互に与える影響を詳細に検討し、それを考慮した簡便で実用的な間柱型耐震要素の設計手順は確立されていない。

一方、筆者らは、「木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁(図1)」を研究開発してきた。この耐震壁は、SS400材を用いたスリット入り鋼板を構造用合板で挟み込むことで、鋼板の座屈を抑制し、エネルギー吸収能力を向上させる構造であり、加工性や施工性に優れ、さらに軽量、コンパクトであるという利点をもつ。本研究では、本耐震壁を間柱型耐震要素として方だて壁部分へ適用することを想定する。既往の研究において、本耐震壁の静的載荷時の基本性能を確認しているが、実際の地震波のようなランダムな高速繰り返し載荷を受ける状況では、発熱等により載荷速度が履歴特性に与える影響が考えられる。また、本耐震壁は、鋼板と合板の複合構造であるため、静的載荷時とは異なる挙動を示すことが考えられ、動的載荷実験を加えた総合的な性能評価が不可欠である。

### 2. 研究の目的

(1) 間柱型耐震壁を既存鉄骨建物の耐震改修に適用することを想定し、既存骨組の耐力と剛性を考慮した間柱型耐震壁の設計手順を確立する。

(2) (1)で導出した設計手順の妥当性を、「木パ

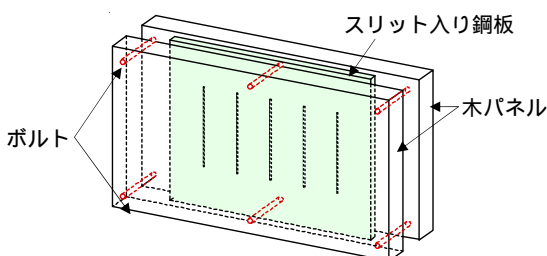


図1 木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁

ネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁」を間柱として設置した骨組の静的載荷実験により検証する。

(3) 本耐震壁の動的載荷時の特性を単体実験により評価し、履歴モデルを作成する。

(4) (3)で作成した履歴モデルを用いて、解析により、種々のモデルにおける設計手順の確認と間柱の配置の最適化、耐震壁の応答低減効果の確認を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 間柱型耐震壁の設計手順の確立

間柱型耐震壁のスパン内における配置や耐震壁の幅・高さを変化させたモデルにおいて、付帯梁と耐震壁が相互に与える影響を検討し、耐震壁の寸法や耐力、剛性に対する設計制約条件を導出した。その条件をもとに、既存建物と耐震壁の耐力比と剛性比を考慮した間柱型耐震壁の設計手順を検討した。

#### (2) 間柱型耐震壁設計手順の実験検証

(1)で提案した設計手順の妥当性を確認するため、設計手順に従い「木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁」を試設計し、本耐震壁を間柱型として設置した1層1スパン鉄骨骨組の正負交番繰り返し載荷実験を

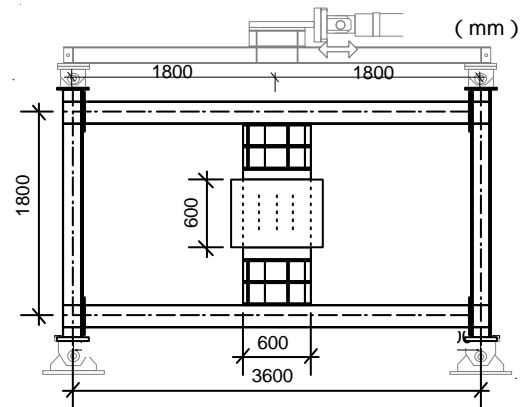


図2 骨組実験の試験体

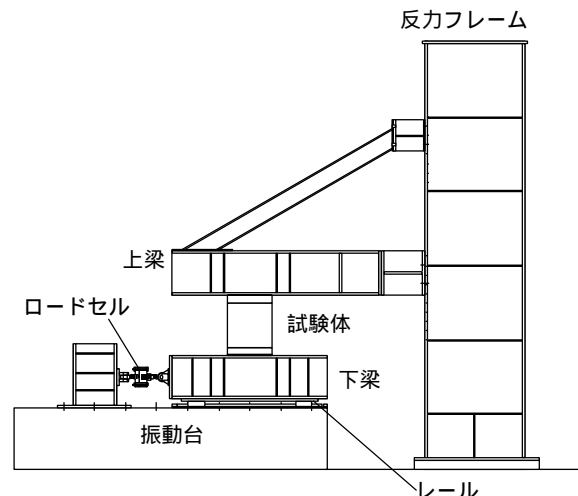


図3 耐震壁の動的載荷実験

実施した(図2)。

(3) 耐震壁単体の動的特性の評価

「木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁」単体の動的載荷実験を行い、載荷速度が履歴特性や耐震壁の挙動に与える影響を調査した。載荷は神戸大学所有の水平一軸振動台を用い、耐震壁の上端を反力フレームに緊結し、下端を水平一軸振動台に固定して、振動台を動的アクチュエータとして利用した(図3)。実験パラメータは、載荷速度と補剛の有無とした。実験結果より、耐震壁の動的特性の影響を考慮した履歴モデルを作成した。

(4) 多層骨組に対する間柱型耐震壁の有効性検証

(3)の動的特性を考慮した履歴モデルを用いて、汎用解析ソフト Opensees による時刻歴応答解析を行い、4層4スパン骨組と10層6スパン骨組に対する設計手順の有効性を検証した。また、間柱の配置を変数とした解析を行い、間柱の効率的な配置方法と耐震壁の応答低減効果を確認した。

4. 研究成果

(1) 間柱型耐震壁の設計手順の確立

耐震壁にせん断変形を集中させるため、耐震壁から梁に伝わる鉛直力により耐震壁の左右端で梁の降伏および横座屈が生じない条件での耐震壁の耐力の上限値を求めた。さらに、耐震壁として十分な消費エネルギーを確保するため、最大等価粘性減衰定数の0.8倍以上が得られる耐震壁の剛性の下限値を求めた。

以上の耐震壁の耐力と剛性の条件をもとに、間柱型耐震壁を既存鉄骨建物に設置する際の耐震設計手順を導いた(図4)。

(2) 間柱型耐震壁設計手順の実験検証

階高3m、スパン長さ6mの鉄骨ラーメン構造建物の1層1スパン分を0.6倍に縮小した骨組を対象に、「木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁」を図4の手順に従い試設計し(図5)、せん断載荷実験を行った。実験から得られた履歴ループを図6に示す。耐震壁は骨組に先行して降伏し、梁は耐震壁の左右端で降伏せず、柱梁接合部近傍で降伏したことから、設計意図通りの挙動を示した。また、間柱型耐震壁は、せん断変形角0.09radまで安定した挙動を示した。耐震改修後の等価粘性減衰定数は0.18程度が得られ、耐震壁として十分なエネルギー吸収性能を発揮した。

(3) 耐震壁単体の動的特性の評価

水平一軸振動台を用いて「木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁」単体の動的載荷実験を実施し、耐震壁の動的挙動、載荷速度の影響および補剛の効果について検

証した。補剛ありで載荷周期を1秒とした試験体の履歴ループを図7(a)に、載荷終了後の鋼板の変形状態を図7(b)に示す。補剛をした場合は、補剛がない場合と比較し、鋼板の面外変形量は半分以下に抑制され、消費エネルギー量は2倍以上となった。載荷周期による

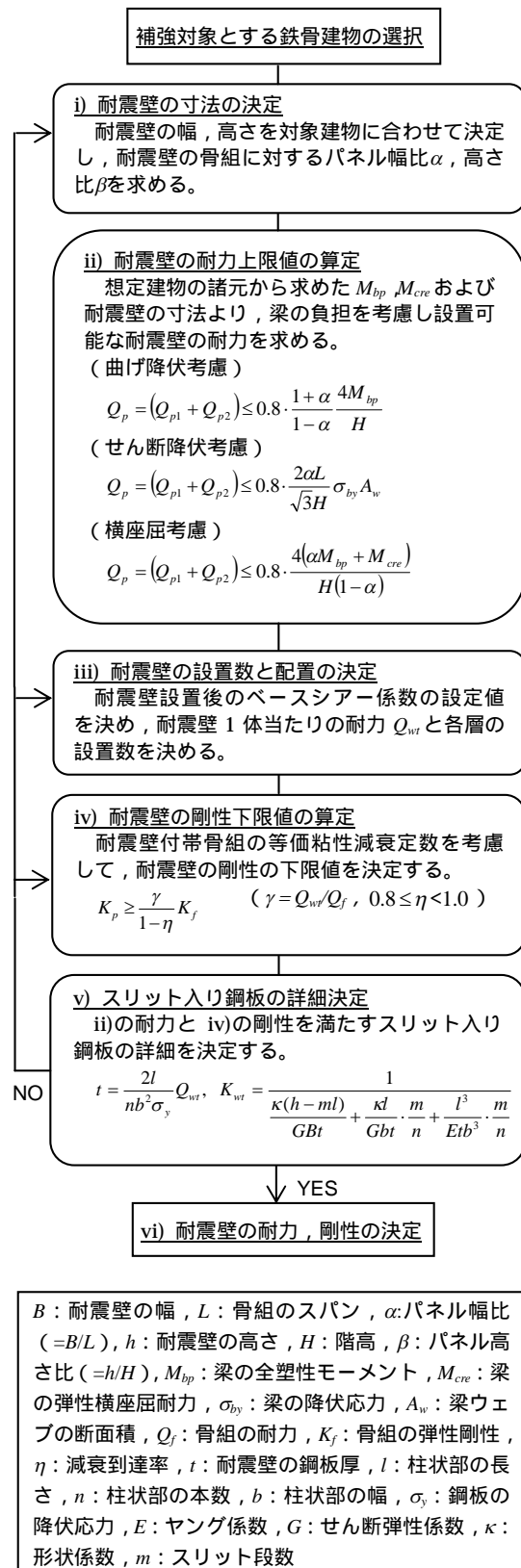


図4 耐震壁の耐震改修設計手順

違いはほぼ見られず、既往の静的載荷実験の結果と概ね一致した。さらに、汎用解析ソフト Opensees を用いて、耐震壁の動的特性の影響を考慮した履歴モデルを作成した。

(4) 多層骨組に対する間柱型耐震壁の有効性検証

(3)で作成した耐震壁の履歴モデルを用いて、4層4スパン骨組、10層6スパン骨組に間柱型耐震壁を設置したモデルの時刻歴応答解析を実施した。その結果、耐震壁は骨組に先行して降伏し、梁は耐震壁の左右端で降伏しなかったことから、多層多スパン骨組における設計手順の有効性が確認できた。また、耐震壁の設置場所や数を変数とした検討を行った結果、耐震壁をスパン中央に配置し、さらに骨組の下層に集中して配置することで、目標層間変形角(レベル2地震動で1/150以内、レベル2を超える地震動で1/100以内)に抑えられることがわかった(図8)。さらに、骨組の等価粘性減衰定数も0.15程度が得られ、間柱型耐震壁の応答低減効果が確認できた。

以上の検討より、間柱型耐震壁のエネルギー吸収性能を最大限発揮させるための、信頼

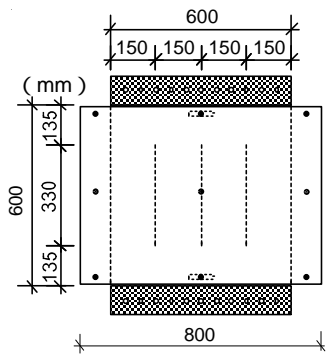
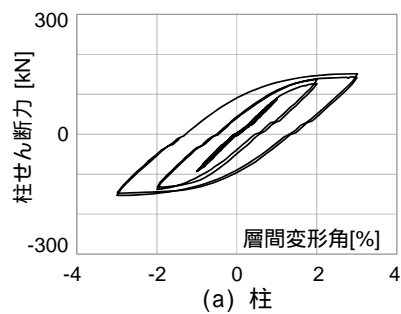
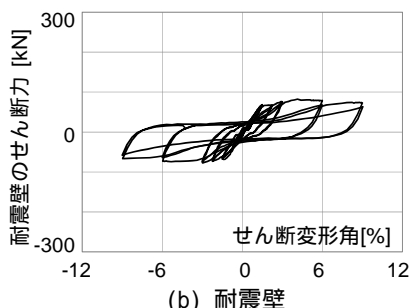


図5 耐震壁の詳細図



(a) 柱



(b) 耐震壁

図6 骨組実験結果

性の高い設計手順が新たに導出できた。「木パネルで面外補剛したスリット入り鋼板耐震壁」を間柱型耐震要素として使用することで、低コストで短工期の簡易な耐震改修が可能となり、集合住宅や学校など開口の多い中低層建物の耐震改修が促進される。

5. 主な発表論文等

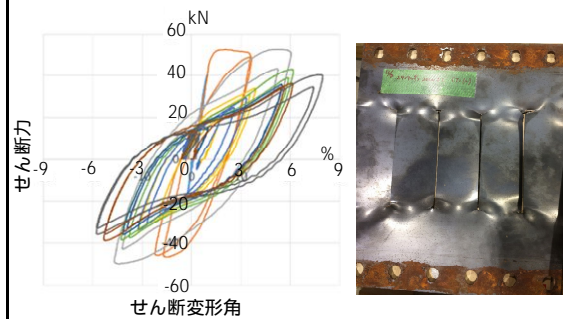
〔学会発表〕(計8件)

伊藤麻衣, 藤谷秀雄: スリット入り鋼板ダンパーの動的特性に関する実験検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8.

伊藤麻衣, 藤谷秀雄: スリット入り鋼板ダンパーの動的挙動検証実験, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 2017.5

Mai Ito, Kazuhiro Hayashi, Yudai Taniguchi, Masahiro Kurata, Masayoshi Nakashima: Design Procedure for Seismic Retrofit Using Stud-type Dampers in Consideration of Strength and Stiffness of Surrounding Frames, Proceedings of the 16<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Chile, No.2417, pp.1-12, 2017.1

熊澤匡輝, 藤谷秀雄, 伊藤麻衣: 既存骨



(a) 履歴ループ

(b) 鋼板の最終状態

図7 動的載荷実験結果

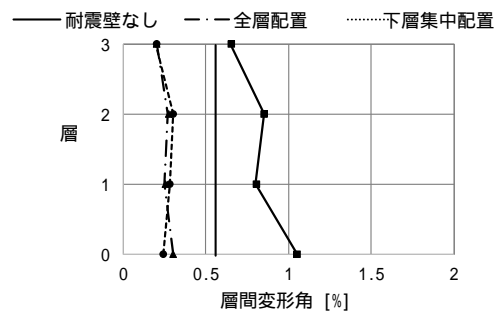
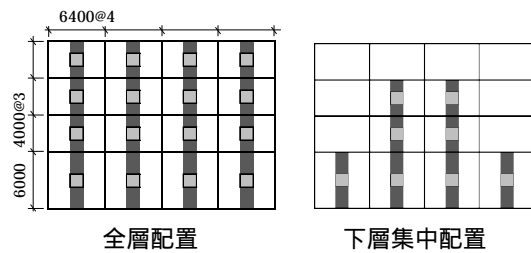


図8 時刻歴応答解析結果 (El Centro Lv.2)

組の剛性と耐力を考慮した間柱型粘弾性ダンパーによる制振設計法の構築，日本建築学会大会学術講演梗概集，2016.8.

中居宣紀，伊藤麻衣，藤谷秀雄：スリット入り鋼板間柱型ダンパーによる制振補強設計と性能評価，日本建築学会近畿支部研究報告集，2016.5.

中居宣紀，伊藤麻衣，藤谷秀雄：木パネル補剛スリット入り鋼板間柱型耐震壁の配置方法の検討とモデル化の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，2015.8.

熊澤匡輝，伊藤麻衣，藤谷秀雄：履歴系及び粘性系間柱型ダンパーで補強された既存鋼構造建物の動的挙動の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，2015.8.

熊澤匡輝，伊藤麻衣，藤谷秀雄：履歴系及び粘性系間柱型ダンパーを設置した既存鉄骨建物の動的挙動の比較，日本建築学会近畿支部研究報告集，2015.5.

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

伊藤 麻衣 (ITO, Mai)

神戸大学・先端融合研究環・助教

研究者番号： 90647421

### (2) 研究協力者

藤谷 秀雄 (FUJITANI, Hideo)