

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420568

研究課題名(和文) 形鋼と乾式接合を利用した耐震補強用靱性方杖部材の開発

研究課題名(英文) Development of Ductile Steel Knee Brace Member with Steel Shapes and Mechanical Joints

研究代表者

原田 幸博 (Harada, Yukihiro)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10272791

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、鉄骨造建物の耐震改修に用いるためのせん断降伏型靱性方杖部材を開発した。同方杖部材は、H形鋼のウェブ部に複数の長孔を開けて楕形に加工することで、同部を早期にせん断降伏させてエネルギー吸収を期待するものである。同方杖部材を組み込んだ部分鉄骨架構の繰り返し載荷実験を行い、同方杖部材が制震要素として機能することが確かめられた。併せて、同実験結果を分析することで靱性方杖部材の低サイクル疲労性能が鋼材の低サイクル疲労試験結果から推定できることが確かめられ、その結果に基づいて、繰り返し変形下での靱性方杖部材の低サイクル疲労性能検証法を提示した。

研究成果の概要(英文)：A new ductile knee brace with a built-in comb-shaped damper for seismic retrofitting is proposed in the present study. The proposed ductile knee brace is composed of a wide-flange member with multiple slot holes in its web plate, which is designed to plastify earlier at shear-yielding struts in the comb-shaped web. Cyclic loading tests of component and subassembly specimens were conducted to investigate cyclic behavior of the knee brace. The test results show that the knee brace exhibited a sufficient deformation capacity, i.e., the knee brace worked as a seismic damper. The strength of the overall knee brace member can be estimated well by a simple mechanical model. The cyclic behavior of the subassembly specimens can be simulated via a frame analysis with a tri-linear axial load-deformation model of the knee brace member. It is also shown that the experimental low cycle fatigue lives of the knee braces can be predicted with the fatigue curve of the steel.

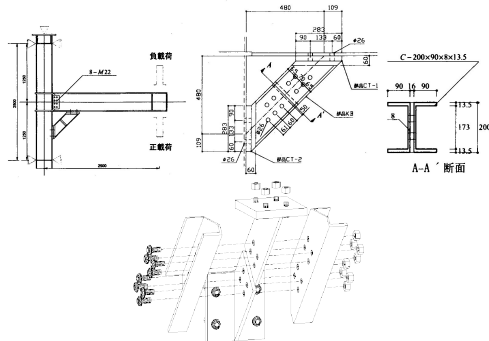
研究分野：建築鋼構造

キーワード：方杖 耐震改修 鉄骨造建物 せん断降伏

1. 研究開始当初の背景

既存鉄骨造建物の耐震改修においては、架構の剛性・耐力を向上させるために方杖・筋かいなどの補強部材が後付け施工で取り付けられるのが一般的である。この後付け施工では、通常は既存部材へのスチフナ等の取り付けのために現場溶接が必要である。しかし、現場溶接の際は、溶接アークを原因とする火災を防ぐため内装材等を広範囲にわたり除去または養生する必要があり、このことは耐震改修の費用増や長期化につながると思われる。もし、現場溶接が不要な補強部材取り付けが可能なら、内装材の除去も最低限で済み、ひいては迅速で費用を抑えた「居ながら補強」の実現につながるだろう。

申請者は、近年、現場溶接を不要とする方杖部材の後付け接合構法の研究を実施してきた。具体的には、スプリットティと呼ばれるT形の金物を介して方杖部材を既存架構の柱・梁部材に高力ボルト接合によって取り付けられる半剛(semi-rigid)方杖端部接合構法の有効性を、実験的に検証した。



後付け施工方杖部材接合部におけるスチフナ省略構法

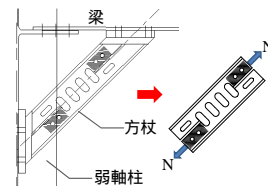
一般的に、方杖補強された架構の耐震性能は、既存架構部材(柱または梁)に塑性ヒンジが形成されることで決定づけられる。これは、周辺部材の部材耐力と比べて、方杖部材の軸方向剛性・耐力が相対的に十分に大きいことが要因である。しかし、補強後も長期間にわたって使用され続ける主架構については、できるだけその損傷を防ぐような補強設計ができることが望ましいだろう。つまり、「強震時には後付けした方杖部材が地震による入力エネルギーの多くを負担し、主架構部材の損傷を防ぐ」ことが理想的である。本研究では、そのような理想的な耐震補強を可能とするような、軸方向剛性が低減されて塑性変形能力に富む「靱性方杖」の開発を目指す。

ところで、低降伏点鋼を用いた方杖部材によって上記の目的を果たそうとする提案は、既に数多くなされている。極低降伏点を座屈拘束した制震ブレースを方杖状に設置する耐震補強法に関する一連の研究、低降伏点鋼を座屈拘束した方杖ダンパーを介する柱梁接合構法に関する一連の研究が、代表的な例である。しかし、本研究では、低降伏点鋼な

どの特殊な材料を用いず靱性型方杖部材を実現することを目指す。相対的に迅速かつ安価な耐震補強の実現には、一般的な鋼材のみで行うことが不可欠と考えるからである。

2. 研究の目的

本研究では、上述の既往研究で採用されている鋼材の軸降伏に着目するのではなく、鋼材のせん断降伏による塑性変形を利用する「せん断降伏型靱性方杖部材」の開発を目指す。せん断降伏型の鋼材による制震ダンパーは耐震壁や筋かいに組み込まれることがほとんどで、方杖部材に組み込んだ機構の提案は皆無であり、建築空間の有効な活用と両立する耐震改修につながると思われる。



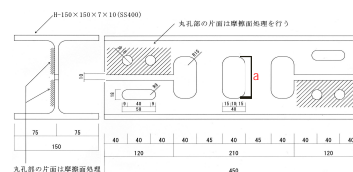
せん断降伏型方杖部材の概要

3. 研究の方法

(1)せん断降伏型靱性方杖部材の形状に関するパラメトリックスタディ

申請者が提案する「せん断降伏型方杖部材」は、前章中に示した形鋼の方杖部材に対して、ウェブに複数の縦長孔を空けて方杖端上下ボルト接合部の一方を長孔としてスライド可能とすることで、形鋼のウェブでせん断応力を卓越させ、鋼材のせん断降伏による安定した塑性変形能力を利用しようとする方杖部材である。このせん断降伏型方杖部材の特徴は、一般的に入手可能な形鋼(溝形鋼・H形鋼)の切削・孔あけ加工のみで安価に製作でき、長孔の形状や数を変えることで方杖部材の剛性・耐力を調整可能なことである。

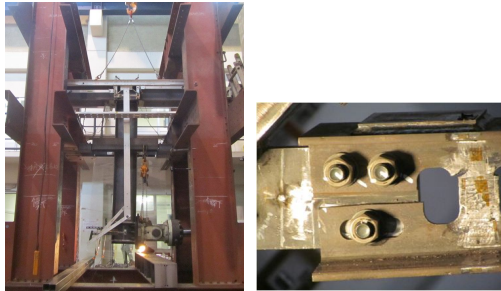
本研究の第一段階では、このせん断降伏型方杖部材の最適な形状を探るための検討を行った。申請者は、既に形鋼の加工形状に関する検証実験(単調引張実験)と数値シミュレーションに着手している。そこで、これらの結果に加えて部材単体の繰り返し載荷実験を実施し、せん断降伏型方杖部材の加工形状に応じた剛性・耐力の評価式を導出する。



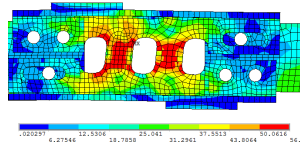
提案するせん断降伏型方杖部材

(2)せん断降伏型靱性方杖部材で補強された鉄骨架構の力学性能検証実験

前項(1)で部材単体としての力学性能を検証したせん断降伏型方杖補強部材の有効性を、部分骨組架構の繰り返し載荷実験(+数値シミュレーション)で検証した。部分架構形状としては、事務所建物等のラーメン架構を想定したT字形とした。この部分骨組実験では、せん断降伏型方杖部材で補強された架構の力学性能を検証する主目的に加えて、現場での施工性の良否を確認するため、方杖部材の取り付け作業を申請者の所属大学の実験場で実施した。併せて、部分骨組実験に対応する有限要素解析による数値シミュレーションも実施した。



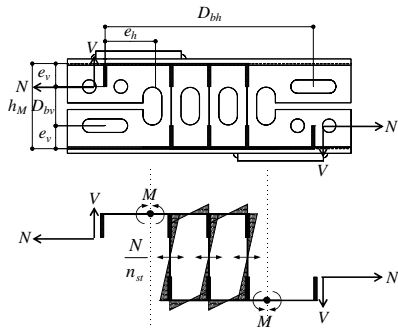
部分架構載荷実験の実施状況



靱性方杖部材挙動のシミュレーション例

(3)せん断降伏型靱性方杖部材の骨組解析用部材モデルの作成

既往実験研究で解明した靱性方杖部材単体ならびに前項(2)の靱性方杖部材で補強された架構の力学挙動に関する実験結果を表現できるような、骨組解析用の靱性型方杖部材モデルを提案した。方杖部材とその周辺の変形には、方杖部材ウェブの曲げせん断変形に加え、方杖部材フランジ部の局所的な曲げ変形と方杖部材端接合部の局所変形が含まれる。ここでは、上記の主要な変形要素を各々モデル化して合成することでせん断降伏型方杖部材全体の軸力-軸方向変形関係を表現できる力学モデルを提示した。

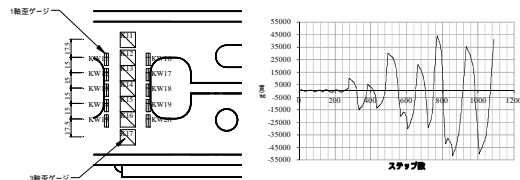


せん断降伏型靱性方杖部材の力学モデル

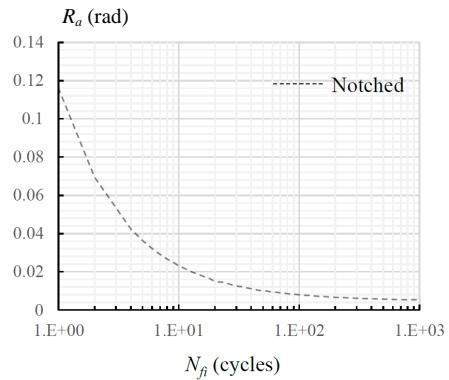
(4)せん断降伏型靱性方杖部材の低サイクル疲労性能検証

せん断降伏型靱性方杖部材の繰り返し載荷実験においては、最終的にはせん断降伏するウェブ内のストラット端部にき裂が発生して方杖部材が耐力を失うような終局状態を示した。このような終局状態に至るまでに、方杖部材がどの程度の塑性変形能力(エネルギー吸収能力)を発揮できるのかを解明しておくことが、今後の実用化において必要である。そこで、鋼材レベルでの低サイクル疲労試験結果とストラット端部のひずみ履歴から靱性方杖部材の低サイクル疲労性能を推定できないかと考え、前項(2)の靱性方杖付き部分架構の繰り返し載荷実験で得られた靱性方杖ストラットのひずみデータを分析し、靱性方杖部材の終局時までの累積損傷度を算定した。その結果、ストラット端部の2軸ひずみ状態から得られる相当ひずみと鋼材の低サイクル疲労曲線から靱性方杖部材の低サイクル疲労性能が精度良く推定できることが確かめられた。

さらに、実用上はひずみ実測値を得ることが困難であることから、方杖部材または架構の変形から方杖部材内の局所的なひずみを推定する評価式を載荷実験結果に基づいて導出し、方杖部材・架構水平変形による低サイクル疲労性能検証法を提示した。



ストラット部のひずみ履歴



靱性型方杖付き架構の全体変形角-破断サイクル数関係

4. 研究成果

本研究課題での成果は、以下のようにまとめられる。

(1)入手の容易なH形鋼に孔あけなどの簡単な加工を施すだけで安価に製作可能な靱性型方杖部材を提案し、実際に製作できることを確認した。具体的には、H形鋼のウェブに複数の縦長孔を空けて方杖端上下ボルト接

合部の一方を長孔としてスライド可能とすることで、形鋼のウェブでせん断応力を卓越させ、鋼材のせん断降伏による安定した塑性変形能力を利用するものである。その優れた塑性変形能力を利用し、耐震改修用の制震ダンパーとしてこのせん断降伏型靱性型方杖部材の実用性を検証した。

(2)せん断降伏型靱性方杖部材の有効性を、事務所建物等のラーメン架構を想定したT字形部分骨組架構の繰り返し載荷実験と有限要素解析による数値シミュレーションで検証した。その結果、せん断降伏型靱性方杖部材で補強された架構の力学性能が向上することが確認できた。

(3)せん断降伏型靱性方杖部材の力学挙動(軸力-軸方向変形関係)を表現できるような、骨組解析用の靱性型方杖用部材の力学モデルを提案した。具体的には、同方杖部材の主要な変形要素である方杖部材ウェブ(曲げせん断変形)と方杖部材フランジ部(局所的な曲げ変形)を各々モデル化して合成することで、せん断降伏型方杖部材全体の力学モデルを構成できることを示した。

(4) 繰り返し載荷実験で得られた靱性方杖ストラットのひずみデータより算出される相当ひずみと鋼材の低サイクル疲労曲線とから、靱性方杖部材の終局時までの累積損傷度を算定することで、靱性方杖部材の低サイクル疲労性能を精度良く推定できることが確認できた。さらに、ひずみデータが得られない場合でも適用できる方杖部材・架構水平変形による低サイクル疲労性能検証法を併せて提示した。

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 1 件)

ディモ シデロフ ゼーレフ, 本間 小百合, 原田 幸博: 楕形ダンパーを組み込んだ靱性型方杖部材の力学挙動に関する数値シミュレーション, 日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集, 査読有, Vol. 23, 43-49, 2015.11

〔学会発表〕(計 2 件)

Yukihiro Harada, Sayuri Honma: Development of Ductile Steel Knee Brace Member with Built-in Comb-Shaped Damper, Eighth International Conference on Advances in Steel Structures, University of Lisbon (Portugal, Lisbon), 22-24 July, 2015

本間 小百合, 原田 幸博, 江波戸 和正: 靱性型方杖部材を取り付けた部分

骨組架構の力学挙動に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, 1097-1098, 神戸大学(兵庫・神戸), 2014年9月12-14日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

原田 幸博 (HARADA YUKIHIRO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10272791

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

本間 小百合 (HONMA SAYURI)
石川工業高等専門学校・助教
研究者番号: 60772499