

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04711

研究課題名(和文) 鋼構造骨組における丸鋼ダンパーの高性能化および設計法構築

研究課題名(英文) Performance improvement and design method formulation of round steel bar dampers for steel frame structures

研究代表者

田川 浩 (Tagawa, Hiroshi)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：70283629

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)：本研究により次の成果を得た。(1)剛接合された柱梁溶接接合部に座屈拘束丸鋼方杖ダンパーを設置することを提案し、載荷実験および有限要素解析により梁端部の塑性変形領域を拡大できることを示した。(2)心棒架構の下層部柱のフランジ間に座屈拘束丸鋼ダンパーを設置する形式を提案し、繰返し載荷実験により十分な性能を確認した。(3)丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレースの適用範囲拡大を目的として複数の丸鋼芯材を用いた形式を提案し、載荷実験と有限要素解析を通じて有効性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築物の大地震への備えに対する強い社会的要請を背景に、近年では地震被害軽減のためダンパーと呼ばれるエネルギー吸収部材を用いた制振システムの研究が多方面で活発に実施されている。本研究では座屈拘束丸鋼ダンパーに着目し、方杖ブレースへの適用や心棒架構への適用、さらには新形式の座屈拘束ブレースへの適用を検討した。いずれも新しいコンセプトに基づいており設計法を整備するなど学術的意義が高い。地震に強い都市を構築していく上で有効な技術であり社会的な意義も高い研究成果である。

研究成果の概要(英文)：The results of this study outline as follows. (1) The beam-to-column welded connections with knee braces including buckling-restrained round steel bar dampers were investigated. Loading tests and finite element analyses revealed that the proposed system can spread the plasticity region at beam-ends. (2) The spine frame systems with buckling-restrained round steel dampers located between the column flanges were investigated. Cyclic loading tests revealed the hysteretic behavior and sufficient performance as energy dissipating devices. (3) Buckling-restrained braces using multiple round steel bar cores were investigated. This type of the brace enlarges the applicable range of the round steel bar core braces. Loading tests demonstrated the good performance of the proposed brace.

研究分野：建築構造学

キーワード：制振構造 座屈拘束ブレース 丸鋼ダンパー 載荷実験 有限要素解析 建築構造 鋼構造骨組 設計法

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

過去の鋼構造骨組の地震被害において、柱梁接合部が破断し建物が大きく傾斜した例や、座屈や破断が生じてブレースが十分に性能を発揮できなかった例が見られた。建築物の大地震への備えに対する強い社会的要請を背景に、近年では地震被害軽減のためエネルギー吸収部材(ダンパー)を用いた制振システムの研究が多方面で活発に実施されている。鋼材を用いたダンパーは履歴特性が安定し設計が比較的容易であることから各種形式が提案され実用化されている。高い剛性が必要な場合には軸降伏タイプである座屈拘束ダンパーが有効となる。特に斜材として用いられる座屈拘束ブレースの研究は国内外を問わず数多く実施されている。座屈拘束ブレースには芯材として平鋼や鋼管等が用いられ多くの知見が蓄積されているが、本研究で対象とする丸鋼の適用例は少ない。本研究代表者らは最近の研究において、比較的安価で十分な変形性能を有する丸鋼をエネルギー吸収部材として用いるダンパーの開発を進めている。これまでに、座屈拘束ブレースの芯材として用いるタイプや柱梁接合部の梁下フランジに設置するタイプを提案し実験により丸鋼ダンパーの良好な性能を確認している。

2. 研究の目的

本研究では座屈拘束丸鋼ダンパーの高性能化を目的として、ダンパーの構造特性に関する理論的な検討と載荷実験・数値解析の実施を通じてダンパー性能向上について検討する。丸鋼ダンパーの設置箇所として柱梁接合部やブレースに加えて方杖と柱にまで拡張する。既存の座屈拘束ブレースの設計法を応用し提案する座屈拘束丸鋼ダンパーの設計法を構築する。

3. 研究の方法

(1) 座屈拘束丸鋼ダンパーの方杖ブレースへの適用

本研究項目では図1(a)に示すよう鋼構造骨組に対して、図1(c)に示す新しい接合形式を検討した。これは丸鋼を用いたコンパクトな座屈拘束ダンパーを方杖として柱梁接合部に取り付け、梁端部の塑性変形領域を拡大するという新しいコンセプトに基づく接合形式である。図1(b)に示す一般的な剛接合では塑性化領域は梁端部付近に限定されるのに対し、提案形式では方杖を軸降伏させることで塑性変形領域を方杖取り付け位置の内側と外側に広げることが可能となる。梁端部の塑性化領域を2倍以上拡大することにより建物に入力される地震エネルギーの吸収性能が大きく向上し高い耐震性能が期待できる。

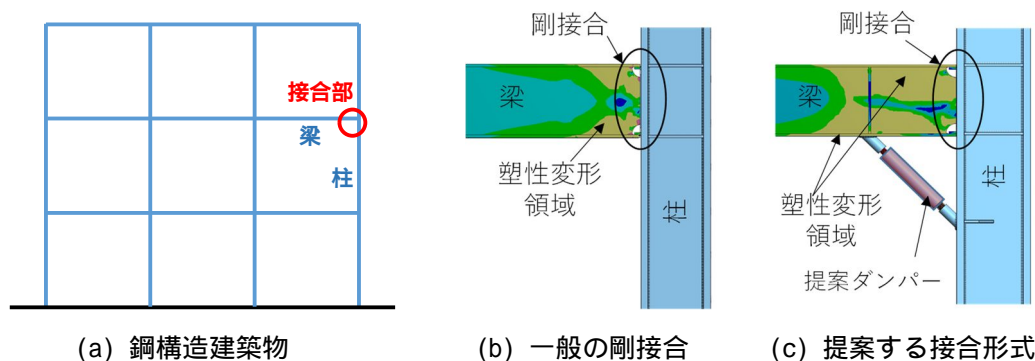


図1 鋼構造建築物と柱梁接合部詳細

提案ダンパーの挙動が想定通りとなることを実験と有限要素解析により確認した。図2に載荷実験の概要を示す。強い柱を使用することで梁端部が塑性変形するように試験体を設計した。試験体は全部で3体を製作し、比較のための方杖のない試験体と、短い方杖を用いた試験体、長い方杖を用いた試験体である。繰返し載荷実験を通じて高い繰返し変形性能を発揮することなど、方杖ダンパーが想定通りの十分なエネルギー吸収性能を有することを確認した。さらに、ダンパーが的確に性能を発揮するための設計法を構築した。

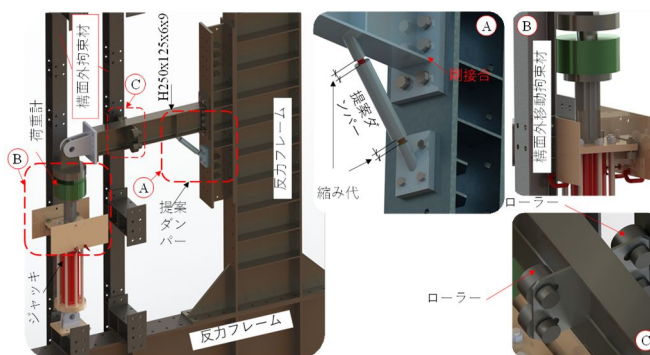


図2 載荷実験の概要

実験と並行して有限要素解析を実施した。解析では多数のモデルを構築し、方杖に用いる座屈拘束丸鋼ダンパーの形状を少しずつ変化させて解析を行うことで最適な寸法を検討した。図3に解析結果の例を示す。同図では固定している左が柱側に対応する。通常の剛接合モデルの図3(a)では黄色の部分つまり塑性化する領域が固定側に偏っているのに対して、図3(b)に示した提案形式では塑性化する領域が2倍以上になっている。方杖プレースの座屈拘束管に目立った変形が生じておらず、確実に丸鋼の座屈を抑止できることを確認した。

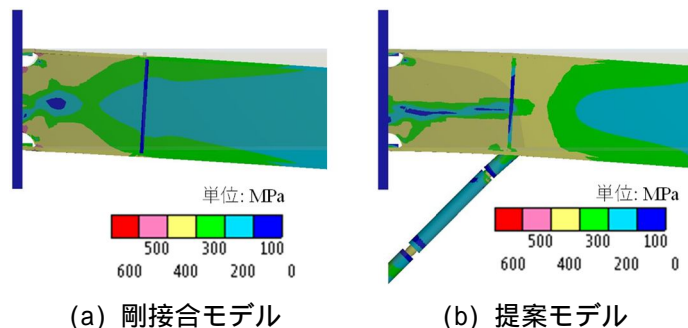


図3 有限要素解析の実施例

(2) 座屈拘束丸鋼ダンパーの心棒架構制振システムへの適用

本研究項目では、図4右に示すように座屈拘束丸鋼ダンパーを心棒架構下部の柱に設置するシステムを検討した。なお図4左はダンパー設置のために心棒架構の柱を延伸することを示す図である。ダンパーはH形鋼柱のウェブ部分に取り付けられる(図5)。丸鋼芯材の座屈を円形鋼管で直接拘束し、鋼管の座屈を心棒架構の柱に固定されたサポーターという部材を介して拘束する。提案ダンパーの特徴の1つは、サポーターを利用して芯材を直接拘束する部材の座屈長さを調整できることである。

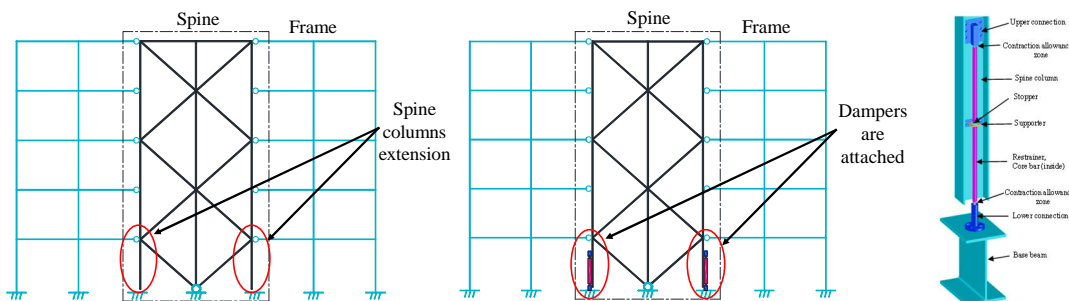


図4 心棒架構下部への丸鋼芯材ダンパーの設置

図5 設置詳細

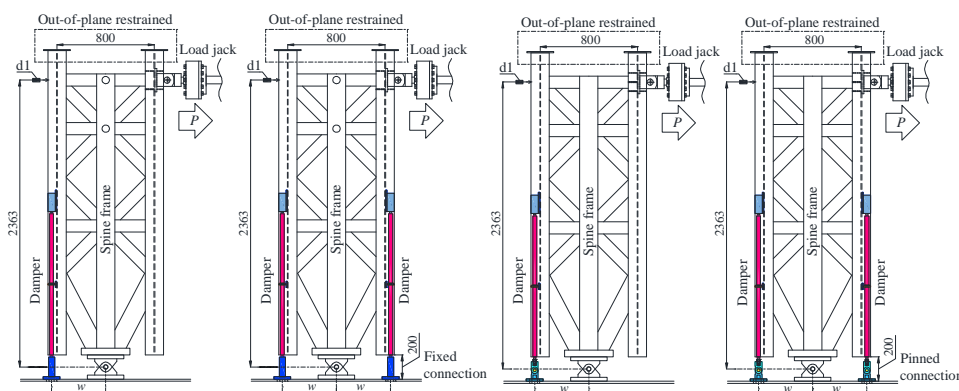


図6 試験体及びセットアップ

提案システムの有効性及びダンパーのエネルギー吸収性能を確認するため、ダンパーの長さ、サポーターの配置、縮み代の設定、下部構造であるベースビームとの取り付け方法などをパラメータとし、10体の縮小制振心棒架構試験体の繰返し載荷実験を行った。図6に試験体例を示す。各試験体の履歴特性や局部挙動など様々な角度から分析を行った。サポーター及び縮み代を適切に設定したダンパーは安定した履歴性能及び十分なエネルギー吸収性能を有することを確認した(図7)。

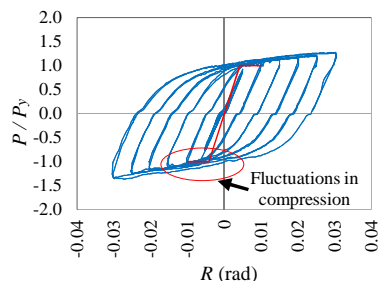


図7 荷重 - 変形関係

(3) 複数の丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレース

本研究項目では、幅広い範囲の軸力に対応できる丸鋼による座屈拘束ブレースを開発することを目的とし、複数の丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレースを検討した。提案 BRB の構成概要を図 8 に示す。軸力を伝える複数の丸鋼芯材を用い、1 次補剛管と 2 次補剛管の 2 種類の鋼管を組み合わせた座屈拘束材を用いる。芯材の座屈を 1 次補剛管で直接拘束し、1 次補剛管には 2 次補剛管が 1 次補剛管を座屈拘束できるように一定間隔で複数のスペーサーが取り付けられている。

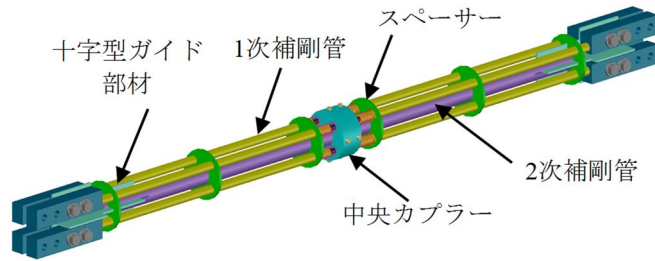


図 8 複数の丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレースの構成

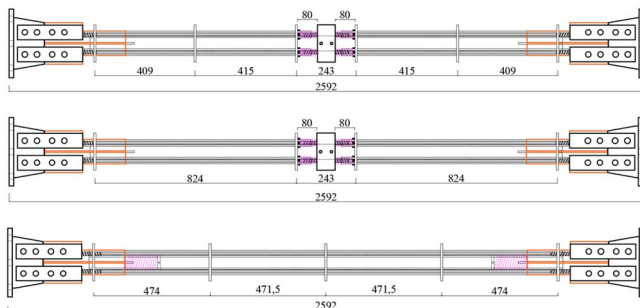


図 9 座屈拘束ブレース試験体

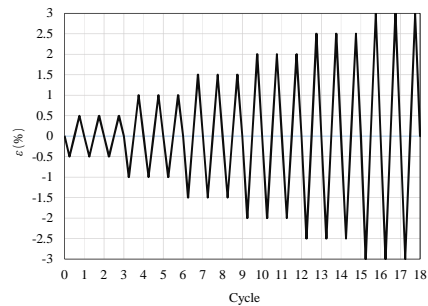


図 10 荷重プログラム

提案ブレースの有効性及びエネルギー吸収性能を確認するため、図 9 に示す試験体を製作して繰返し荷重実験を行った。試験体は、上からスペーサーが 6 個のモデル、スペーサーが 4 個のモデル、比較のため製作した中央カプラーが無いモデルである。図示しないがスペーサーが 8 個のモデルも対象とした。荷重プログラムは図 10 に示すように振幅が漸増する平均ひずみで制御し各振幅 3 サイクルずつ正負繰返し荷重を行った。図 11 にスペーサーが 6 個のモデルの荷重 - 変形関係を示す。良好な履歴挙動が確認できた。なお、スペーサーが 4 個のモデルは 1 次補剛間の座屈、中央カプラーが無いモデルは丸鋼芯材露出部の局部曲げのため早期に実験を終了した。

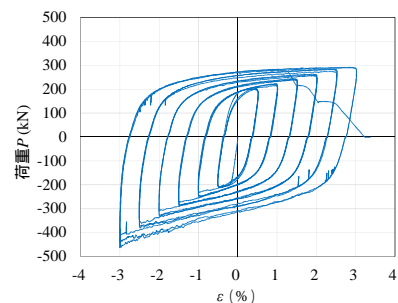


図 11 荷重 - 変形関係

4. 研究成果

本研究で行った主な研究項目について研究成果を以下にまとめる。

(1) 座屈拘束丸鋼ダンパーの方杖ブレースへの適用

剛接合された柱梁溶接接合部に座屈拘束丸鋼方杖ダンパーを設置することを提案し、荷重実験および有限要素解析により梁端部の塑性変形領域を拡大できることを示した。従来形式のいわゆる塑性ヒンジの概念を拡張したものであり、大地震時における鋼構造骨組の耐震性能を高める技術として期待できる。方杖ブレースの全長が比較的長い場合についても検討しており、中央カプラーと補強カバー鋼管を組合せた形式についても十分な性能を確認している。

(2) 座屈拘束丸鋼ダンパーの心棒架構制振システムへの適用

心棒架構制振システムは建築物の局所層の変形増大を抑止する技術として近年注目されつつある。心棒架構へのダンパーの取付方法は各種提案されているが、本研究では新たに心棒架構の下層部柱のフランジ間に座屈拘束丸鋼ダンパーを設置する形式を検討した。複数のサポーターを設置することで座屈拘束管の座屈長さを調節するという特徴を有しており、繰返し荷重実験により十分な性能を確認した。実際の 5 階建の鋼構造建築物を想定した解析モデルの地震応答解析も行っており提案制振システムの制振効果について分析を行っている。

(3) 複数の丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレース

既往の研究で有効性が確認されている丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレースの適用範囲拡大を目的として取り組んだ研究であり、荷重実験を通じて有効性を明らかにした。また 1 次補剛管のみを対象として有限要素解析を行っており構築した設計法の妥当性を確認している。今後に向けたテーマとして角形鋼管を 2 次補剛管に用いたモデルの検討も開始している。

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 Tagawa Hiroshi, Nagoya Yuta, Chen Xingchen	4. 巻 169
2. 論文標題 Bolted beam-to-column connection with buckling-restrained round steel bar dampers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Constructional Steel Research	6. 最初と最後の頁 106036 ~ 106036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcsr.2020.106036	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 Mateus Jhon Alexander Segura, Tagawa Hiroshi, Chen Xingchen	4. 巻 229
2. 論文標題 Buckling-restrained steel bar damper for spine frame system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 111593 ~ 111593
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2020.111593	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 Munkhunur Togtokhbuyan, Tagawa Hiroshi, Chen Xingchen	4. 巻 250
2. 論文標題 Steel rigid beam-to-column connections strengthened by buckling-restrained knee braces using round steel core bar dampers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 113431 ~ 113431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2021.113431	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 3件）

1. 発表者名 Togtokhbuyan Munkhunu, Hiroshi Tagawa, Xingchen Chen
2. 発表標題 Finite element analysis of steel beam-to-column joints strengthened by buckling-restrained knee bracing using steel bar cores
3. 学会等名 Twelfth Pacific Structural Steel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jhon A. Mateus, Hiroshi Tagawa, Xingchen Chen
2. 発表標題 Cyclic loading tests on spine frame with buckling-restrained steel bar dampers
3. 学会等名 Twelfth Pacific Structural Steel Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Togtokhbuyan Munkhunu, H. Tagawa, X. Chen
2. 発表標題 Experimental study on steel beam-to-column joint strengthened by buckling-restrained knee brace using steel bar core
3. 学会等名 17th World Conf. on Earthquake Eng. (17WCEE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田知隆、田川 浩、陳 星辰
2. 発表標題 並列心棒架構間に座屈拘束ブレースを配置した制振システム
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張思晋、田川浩、陳星辰
2. 発表標題 複数の丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレースの繰返し載荷実験
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中塚壮太、張思晋、田川浩、陳星辰
2. 発表標題 角形鋼管を外管に用いた複数の丸鋼芯材による座屈拘束ブレースの載荷実験
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張思晋、田川浩、陳星辰
2. 発表標題 複数の丸鋼芯材を用いた座屈拘束ブレースの有限要素解析
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022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
研究 分担者	陳 星辰 (Chen Xingchen) (00816564)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	

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
---------	---------