

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14231

研究課題名（和文）大断面RC単柱でのセルフセンタリング機構を実現する埋込立体フレームコアの開発

研究課題名（英文）Development of embedded three-dimensional frame core with self-centering capacity for large-scale RC single column

研究代表者

植村 佳大 (Uemura, Keita)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：80882133

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：近年、柱をロックさせてセルフセンタリング機構を実現する柱構造が注目されている。しかし、セルフセンタリング機構を備えた柱には、エネルギー吸収性能が低下し、地震応答が増大する課題がある。本研究では、地震時のエネルギー吸収性能と復旧時のセルフセンタリング機能を両立する構造として、復旧時のみセルフセンタリング機能を発揮する柱構造の開発を行った。具体的には、鋼管で拘束されたコンクリートヒンジ（鋼管拘束コンクリートヒンジ）や立体フレームコア（本研究で提案した4本の鋼管拘束コンクリートヒンジで構成された構造部材）により、復旧時セルフセンタリング機能が実現することを実験および数値解析により明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

優れた地震エネルギー吸収性能を有する柱や地震時にセルフセンタリング機能を発揮する柱に関する研究は、これまで盛んに行われており、数多くの知見が蓄積されてきた。一方で、地震時のエネルギー吸収性能と復旧時のセルフセンタリング機能をともに高いレベルで実現できる構造の検討は行われていない。本提案構造は、復旧時のみセルフセンタリング機能を発揮させることで、地震時のエネルギー吸収性能と復旧時のセルフセンタリング機能が両立可能となる。そのため、本提案構造は、橋梁構造物の耐震性や復旧性の向上に大きく貢献でき、地震時の人命確保や復旧性向上を図る上での新たな構造技術戦略となり得る。

研究成果の概要（英文）：Recently, column structures designed to achieve self-centering capacity by allowing the columns to rock have been garnering interest. However, columns with self-centering capabilities often suffer from reduced energy dissipation and heightened seismic responses. This study developed a column structure that provides self-centering capacity only during the restoration phase to enhance both energy dissipation during earthquakes and self-centering afterward. Specifically, both experiments and numerical analyses revealed that the self-centering capacity during restoration can be achieved using concrete hinges confined by steel pipes (termed steel pipe-restrained concrete hinges) and a three-dimensional frame core. This frame core consists of four steel pipe-restrained concrete hinges.

研究分野：耐震工学

キーワード：柱構造 鉄筋コンクリート構造 鋼構造 セルフセンタリング 復旧性 耐震性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災発生を機に、想定と異なる地震が発生したとしても、社会に深刻な影響を及ぼす被害を防ぎ、被害後の復旧を早めることを目指す「危機耐性」の概念が提案された。しかし、危機耐性向上のための構造技術の開発例は少なく、更なる検討が求められている。そうした中、国外を中心に、柱を剛体挙動（ロッキング）させ、死荷重と柱内部に配置した芯材の部材力によって地震時にセルフセンタリング機構（柱が地震後に元の位置に戻る機構）を実現する柱（セルフセンタリング柱と呼ぶ）の研究が近年盛んとなっている。しかし、セルフセンタリング柱は履歴面積が小さなフラッグ型の復元力特性を有するため、セルフセンタリング機構による復旧性向上効果と引き換えにエネルギー吸収能が低下し、地震応答が増大するという課題がある。また、従来のセルフセンタリング柱は、フレーム構造の構成部材とされる場合や壁式構造とする場合が多い。これは、片持ちで静定な単柱構造にセルフセンタリング柱を採用する場合、フレーム構造や壁式構造と比較して死荷重によるセルフセンタリング機構が維持しにくく、大変形領域で安定したセルフセンタリング機構を維持させるには、多くの芯材量を必要とするためである。

2. 研究の目的

本研究では、地震時のエネルギー吸収性能と復旧時のセルフセンタリング機能を両立する構造として、復旧時のみセルフセンタリング機能を発揮する柱構造の開発を行った。具体的には、鋼管で拘束されたコンクリートヒンジ（鋼管拘束コンクリートヒンジ）や立体フレームコア（本研究で提案した4本の鋼管拘束コンクリートヒンジで構成された構造部材）により、RC柱および鋼製柱の復旧時セルフセンタリング機能が実現することを実験および数値解析により明らかにすることを目的とした。その際、鋼管拘束コンクリートヒンジを柱内部に埋め込んだRC柱の実験的検討は、過去の検討で実施済みであった。そのため、本研究での検討内容は、「立体フレームコアを埋め込んだRC柱の耐震性・復旧性に関する実験的検討（検討1）」、「鋼管拘束コンクリートヒンジを内部に配置した鋼製柱の耐震性・復旧性に関する実験的検討（検討2）」、「鋼管拘束コンクリートヒンジを内部に配置した鋼製柱の耐震性・復旧性に関する数値解析的検討（検討3）」の3つに大別される。

3. 研究の方法

(1) 検討1

検討1では、立体フレームコアを埋め込んだRC柱の耐震性・復旧性に関する実験的検討を実施した。具体的には、図-1に示すRC橋脚の塑性ヒンジ部を模擬した実験供試体に対して正負交番載荷実験を実施し、対象構造の復元力特性を把握した。その後、柱基部の鉄筋およびコンクリートの撤去実験を実施し、対象構造に期待する復旧時セルフセンタリング機能の実現可能性について検討した。なお、正負交番載荷実験は、柱基部の部材撤去実験の前後（計2回）で実施した。

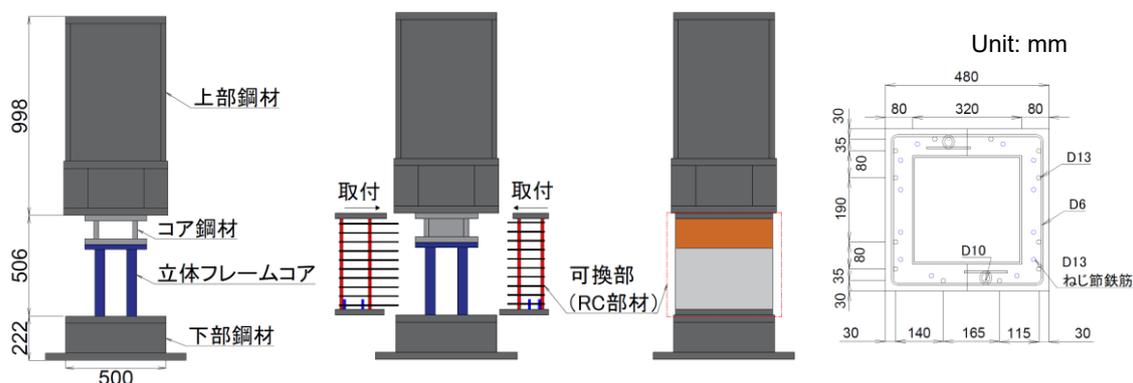


図-1 立体フレームコアを埋め込んだRC柱の塑性ヒンジ部を模擬した実験供試体

(2) 検討2

検討2では、鋼管拘束コンクリートヒンジを内部に配置した鋼製柱の耐震性・復旧性に関する実験的検討した。具体的には、図-2に示す矩形鋼管柱を模擬した実験供試体に対して正負交番載荷実験を実施し、対象構造の復元力特性を把握した。その後、柱基部の塑性化部材の撤去実験を実施し、対象構造に期待する復旧時セルフセンタリング機能の実現可能性について検討した。

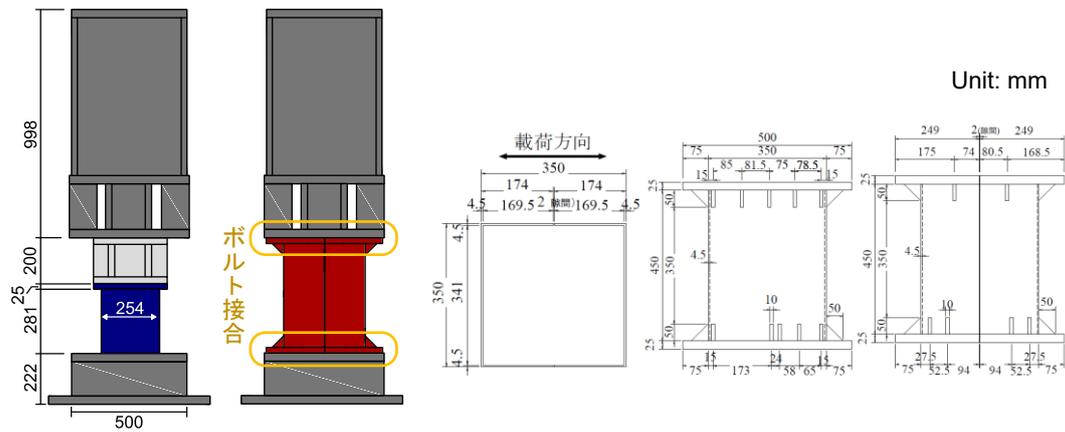


図-2 鋼管拘束コンクリートヒンジを内部に配置した鋼製柱を模擬した実験供試体

(3) 検討3

検討3では、検討2で実施した鋼製柱に対する実験的検討の再現解析を実施することで、対象構造の設計を可能とする数値解析モデルの開発を行った。具体的には、数値解析ソフトOpenSeesを用いて、柱基部の矩形鋼管をシェル要素で、鋼管拘束コンクリートヒンジをファイバー要素でモデル化した数値解析モデルを作成し(図-3)、一連の実験を模擬した数値解析を実施した。

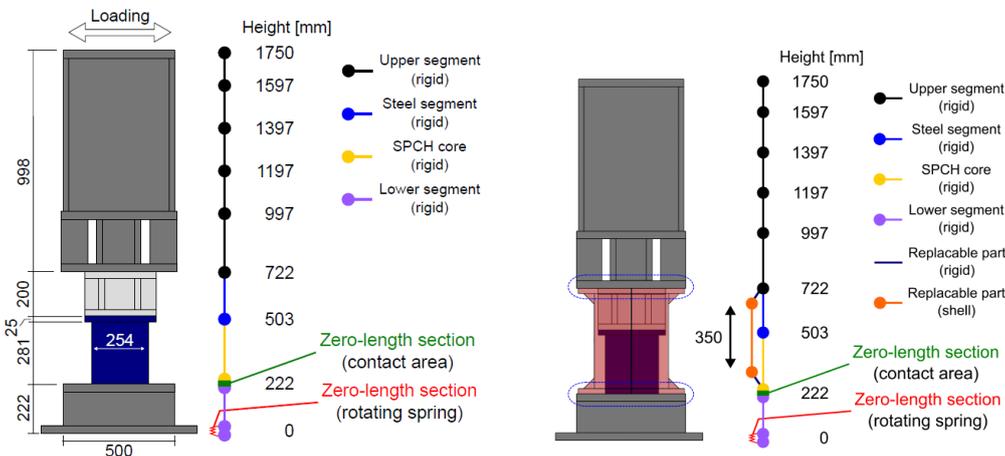


図-3 鋼管拘束コンクリートヒンジを内部に配置した鋼製柱を模擬した数値解析モデル

4. 研究成果

(1) 検討1

図-4に柱基部の部材撤去実験の前後に実施された正負交番載荷実験で得られた荷重-変位関係を示す。図より、立体フレームコアを埋め込んだRC柱は、従来のRC柱と同様の紡錘型の履歴特性を示しており、優れたエネルギー吸収性能を有することが確認された。また、塑性ヒンジ部における鉄筋およびコンクリートの撤去実験では、柱に外力を加えずとも、柱の残留変位が低減していく挙動が確認でき、復旧時セルフセンタリング機能が期待通りに発揮されることを確認した(図-5)。

(2) 検討2

図-6に正負交番載荷実験で得られた荷重-変位関係を示す。図より、提案構造は、従来の鋼製柱と同様の優れたエネルギー吸収性能を有することが確認された。また、塑性ヒンジ部において鋼製部材の座屈が発生したとしても、柱内部に配置した鋼管拘束コンクリートヒンジが軸力を支持することで、荷重低下が防止されることが明らかになった。そして、塑性ヒンジ部における鋼製部材の撤去実験では、柱に外力を加えずとも、柱の残留変位が低減していく挙動が確認でき、復旧時セルフセンタリング機能が期待通りに発揮されることを確認した。

(3) 検討3

図-7に正負交番載荷解析で得られた荷重-変位関係を示す。図より、本研究で提案した数値解析モデルによって、鋼管拘束コンクリートヒンジを内部に配置した鋼製柱の復元力特性が概ね再現可能であることが示された。また、正負交番載荷実験の前後で鋼管拘束コンクリートヒンジ

が示す最大復元力も再現していることがわかる。よって、本数値解析モデルにより、提案構造の地震時性能のみならず、地震後に鋼管拘束コンクリートが有する復元力特性の評価をも行うことが可能であることが示された。

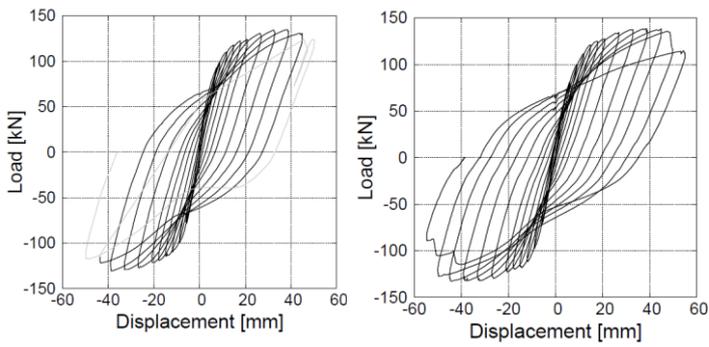


図-4 正負交番荷重実験 (検討1) で得られた荷重-変位関係

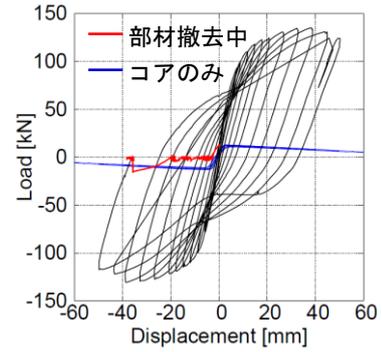


図-5 部材撤去実験 (検討1) で得られた荷重-変位関係

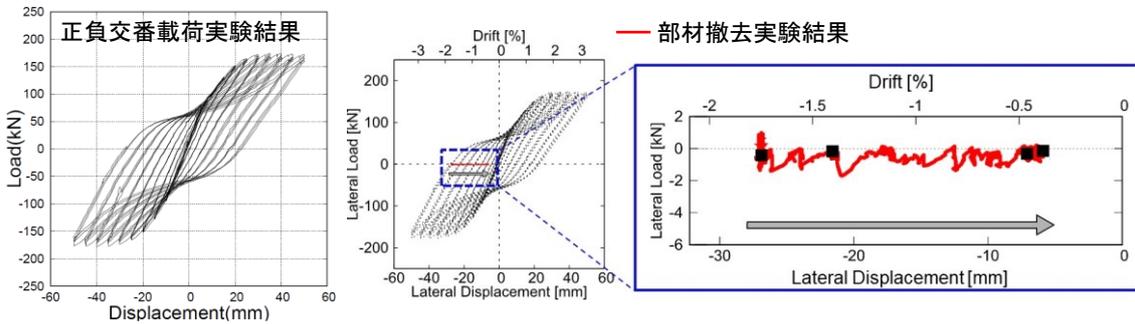


図-6 正負交番荷重実験および部材撤去実験 (検討2) で得られた荷重-変位関係

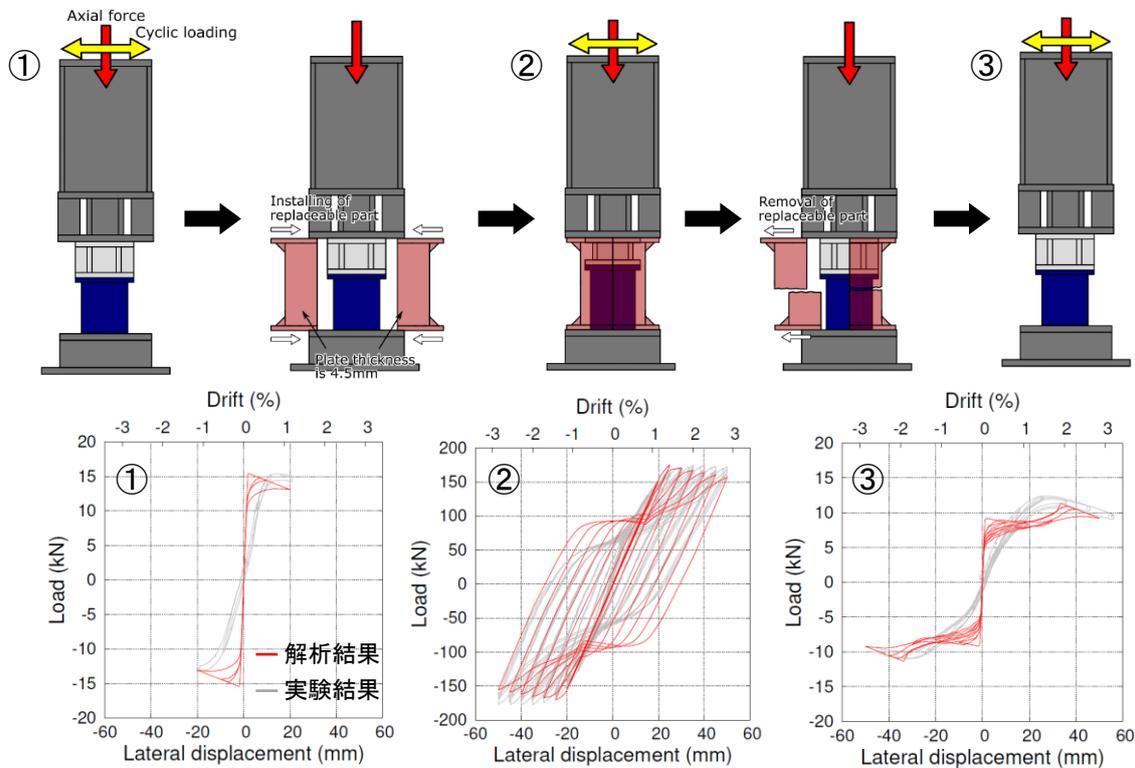


図-7 正負交番解析 (検討3) で得られた荷重-変位関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 畠山 琴羽, 植村 佳大, 高橋 良和	4. 巻 79
2. 論文標題 2層式RCラーメン高架橋の地震後構造性能とサービス水準に関する考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文	6. 最初と最後の頁 22-13027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-13027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 植村佳大, 白井洵, 高橋良和	4. 巻 80
2. 論文標題 機能分離により地震後の早期復旧を可能とするメタボリズム鋼製柱構造の改良	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 土木学会論文	6. 最初と最後の頁 in press
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 白井洵, 植村佳大, 高橋良和	4. 巻 78
2. 論文標題 復旧時セルフセンタリング機構を有する メタボリズム柱構造の解析的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_523-I_536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.78.4_I_523	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Keita Uemura, Jun Shirai, Yoshikazu Takahashi	4. 巻 in press
2. 論文標題 Development of Aseismic Column with Self-Centering Capacity Only During Restoration	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Structural Engineering	6. 最初と最後の頁 in press
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 1件）

1. 発表者名 畠山琴羽, 植村佳大, 高橋良和
2. 発表標題 損傷した2層式RCラーメン高架橋の列車走行性に関する基礎的検討
3. 学会等名 2022年度 土木学会関西支部 年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畠山琴羽, 植村佳大, 高橋良和
2. 発表標題 地震後の2層式RCラーメン高架橋の列車走行性に関する基礎的検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会 第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畠山琴羽, 植村佳大, 高橋良和
2. 発表標題 中層梁が損傷した2層式RCラーメン高架橋の構造性能
3. 学会等名 第25回橋梁等の耐震設計シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畠山琴羽, 植村佳大, 高橋良和
2. 発表標題 地震により被災した二層ラーメン高架橋の 構造性能とサービス水準に関する考察
3. 学会等名 第42回地震工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Shirai, Keita Uemura, Yoshikazu Takahashi
2. 発表標題 Numerical Study on RC Column Exhibiting Self Centering of Concrete Hinge Only During Restoration Process
3. 学会等名 The 33rd KKHTCNN Symposium on Civil Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白井洵, 植村佳大, 高橋良和
2. 発表標題 復旧時にセルフセンタリング機構を発揮するRC柱の解析的検討
3. 学会等名 第41回地震工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井洵, 植村佳大, 高橋良和
2. 発表標題 RC柱構造における復旧時セルフセンタリング機構実現に向けた解析的検討
3. 学会等名 日本地震工学会・大会 - 2021
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
---------	---------