

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22431

研究課題名（和文）耐震性能の新陳代謝を可能とする鋼・コンクリート複合構造橋脚の開発

研究課題名（英文）Development of Steel/Concrete Composite Structural Columns for Metabolism of Seismic Performance

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） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地震時のエネルギー吸収を期待する外殻部に取り替え可能な鋼管を使用し、その中心部に鉛直力支持機能やセルフセンタリング機能を有する部材を配置する複合橋脚構造を提案した。具体的には、外殻部に鋼管、中心部にゴム支承を使用した構造について検討を実施し、本構造が従来の鋼製橋脚として優れた復元力特性を有すること、また、外殻部の鋼管を取り替えることによって耐震基準改訂や地震被害に応じて柱の耐震性能改変が可能であることを実験的・解析的検討に示した。加えて、中心部の部材にセルフセンタリング機能を有する部材を使用することで、早期復旧を可能とする構造が実現される可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の耐震設計は、大地震発生のために基準が改訂されており、耐震設計が地震に対して「後追い」であるといえる。事実、多くの土木構造物が、耐震基準改定によって既存不適格な構造物となってしまう、後付けの耐震補強を余儀なくされるケースが見受けられる。本研究で提案した構造に適用された、部材の取り替えを想定するという考え方は、ダンパーをはじめとする免制振部材では一般的であるが、橋脚の部材を取り替える技術開発例は極めて少ない。部材の取り替えによる耐震性能の新陳代謝が可能な本提案構造における考え方は、将来の地震に先手を打つことに繋がり、耐震工学における新たなアプローチとなりえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a composite column structure in which a replaceable steel pipe is used in the outer shell for energy absorption during an earthquake, and a member with a vertical force support function and self-centering function is used for the center core of the column. Specifically, a column structure using steel pipe in the outer shell and rubber bearings at the bottom of the center core was studied. The experimental and analytical investigations showed that this column structure has excellent deformation capacity compared with a conventional steel pier and that it is possible to modify the seismic performance of the columns by replacing the steel pipe in the outer shell according to revisions of seismic design codes and the damage in earthquakes. In addition, the use of self-centering members in the central core of the columns shows the possibility of realizing a structure that can be restored quickly after earthquakes.

研究分野：耐震工学

キーワード：柱構造 複合構造 鋼構造 メタボリズム セルフセンタリング 取り替え 復旧性

1. 研究開始当初の背景

我が国の耐震設計は、地震被害の経験とともに改良されて現在まで発展し、その精度を高めている。しかしこれは、大地震発生たびに基準が改訂されており、耐震設計が地震に対して「後追い」であるともいえる。事実、多くの土木構造物が、耐震基準改定によって既存不適格な構造物となってしまう、後付けの耐震補強を余儀なくされるケースが見受けられる。

本研究では、後付けの補強をせず将来の耐震基準改訂に対応可能な橋脚の実現に向けて、部材の取り替えによる耐震性能の新陳代謝が可能な橋脚構造の開発に取り組んだ。過去の研究において、地震時のエネルギー吸収に寄与する橋脚基部の外殻部を、取り替え可能なプレキャスト鉄筋コンクリート (RC) 部材で構成し、常時の鉛直力支持機能は内側のコア部に付与した RC 橋脚を開発した。しかしながら、外殻部 RC 部材の接合部における鉄筋の段落し部が構造上の弱点となっており、部材接合法に課題が残る。

部材の取り替えを想定するという考え方は、ダンパーをはじめとする免制振部材では一般的であるが、その一方で、橋脚の部材を取り替える技術開発例は極めて少ない。部材の取り替えによる耐震性能の新陳代謝が可能な橋脚の開発は、将来の地震に先手を打つことに繋がり、耐震工学における新たなアプローチとなりえる。

2. 研究の目的

本研究では、機械的接合・溶融接合など頑強な部材接合が比較的容易であり、かつ高い変形性能を示す鋼製部材を取り替え可能な部材として使用することで、耐震性能の新陳代謝が可能な橋脚の開発を試みた。具体的には、地震時のエネルギー吸収を期待する外殻部に取り替え可能な鋼管(外殻部鋼管)を使用し、その内部に鉛直力支持機能を期待するコア部材を別途配置した複合構造橋脚を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 提案構造の外殻部(矩形鋼管)に関する検討

提案構造の外殻部に矩形鋼管を、コア部にゴム支承を使用した際の提案構造の復元力特性および破壊性状を、材端 3 自由度の載荷試験機を用いた複合応力下における静的正負交番載荷実験により検証した(図 1)。そして、外殻部鋼管の取り替え後、再度静的正負交番載荷実験を行い、外殻部鋼管取り替え前の実験結果と比較することで、部材の取り替えが提案構造の変形性能および破壊性状に与える影響を検証した。加えて、外殻部鋼管取り替え時の余震への対応策の効果を検証するため、外殻部鋼管を取り外して仮設部材(鋼製棒材)を設置した状態で載荷実験を行った。

また、提案構造の数値解析モデルを作成し、上記実験的検討の再現解析を行った。解析的検討により、提案構造の復元力特性のメカニズムを解析的に評価するとともに、外殻部鋼管の形状等が提案構造の耐震性能に与える影響について検討した。

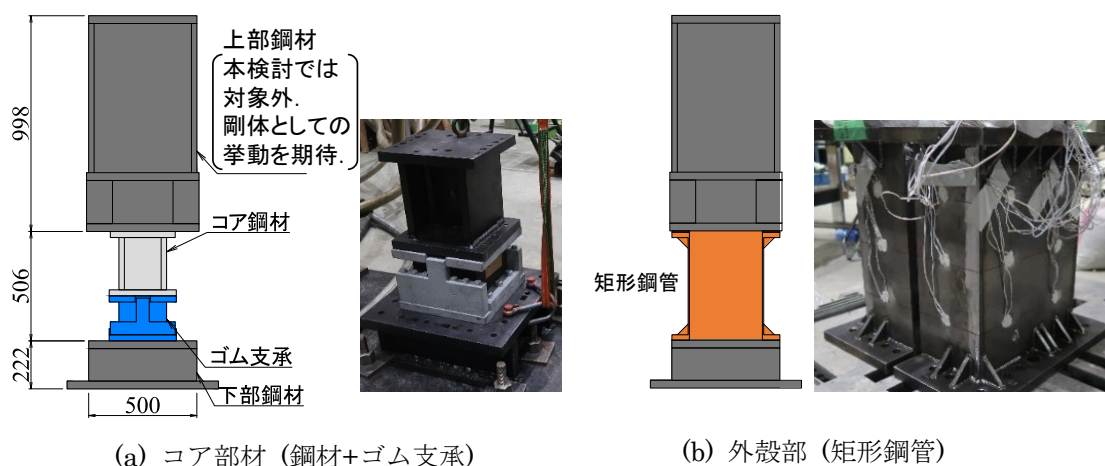


図 1 実験供試体の概略図と寸法 (Unit: mm)

(2) 提案構造の外殻部取り替えに関する検討

本提案構造を実現させるためには、鉛直軸力の作用下での外殻部部材の取り替えを可能とする必要がある。そこで、載荷実験後の供試体に対し、鉛直力作用下での外殻部鋼管の取り替え実験

を行うことで、外殻部鋼管の取り替え可能性について評価した。なお、外殻部鋼管の取り外しの際は、水平外力を加えて柱を鉛直に戻しながら外殻部鋼管の撤去を行うこととした。

(3) 提案構造のコア部材(鋼管拘束コンクリート柱)に関する検討

提案構造のコア部材に鉛直力支持機能およびセルフセンタリング機能を有するコンクリート部材(鋼管拘束コンクリート柱)を使用する効果を解析的に検討した。具体的には、鋼管拘束コンクリート柱単体に対して静的正負交番解析を実施し、復元力特性ならびにセルフセンタリング機構を評価した。その後、外殻部に鉄筋コンクリート部材(RC部材)を、コア部に鋼管拘束コンクリート柱を使用した場合の柱の耐震性能について検討を行った。なお、コア部材に使用する鋼管拘束コンクリート柱の躯体は剛体として挙動し、フーチング上面での目開きによって変形する構造とし(図2)、数値解析においても鋼管拘束コンクリートヒンジ底面での目開きを適切に表現可能な解析モデルを構築した。

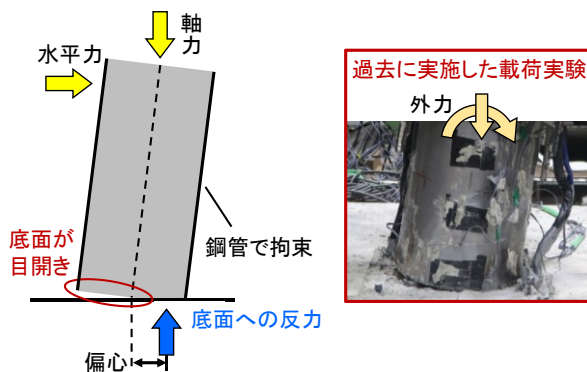


図2 鋼管拘束コンクリート柱の概略図

4. 研究成果

(1) 提案構造の外殻部に関する検討

外殻部鋼管の取り替え前と取り替え後の供試体の荷重-変位関係を図3(a), (b)に、外殻部に仮設部材(鋼製棒材)を取り付けた際の荷重-変位関係を図3(c)示す。図3(a), (b)より、外殻部に矩形鋼管を使用した両ケースにおいて安定した履歴形状が得られたことがわかる。また、本検討では取り替え後に板厚の大きな外殻部鋼管を使用しており、取り替え後の供試体の最大耐力が取り替え前よりも向上しており、履歴面積も大きくなっていることが確認される。つまり、外殻部を取り替えることにより、耐震性能の新陳代謝が可能であることがわかる。また、図3(c)から、外殻部鋼管取り外し時に仮設部材を設置することで、正負ともに100kN程度の復元力が得られたことが確認された。また、水平変位をゼロにすると荷重が概ねゼロとなるような弾性的な挙動を示しており、期待通りの耐震性能が発揮されたことが確認される。よって、提案構造では、外殻部の矩形鋼管取り替え時に鋼製棒材を仮設することで、P- Δ 効果や余震に弾性範囲内で抵抗できる程度の復元力を確保できることがわかった。

また本実験では、外殻部に矩形鋼管を使用した両ケースにおいて矩形鋼管の座屈が発生しており、降伏後の荷重低下は可換部の座屈によるものと判断できた。その一方で、大変形領域まで载荷を行った外殻部鋼管取り替え前の供試体のポストピーク挙動を見ると、矩形鋼管の座屈以降も一定の荷重を保っていることがわかる。これは、コア部材(ゴム支承)が軸力を支持しているためであると考えられる。以上より、本提案構造は、従来の鋼製柱と異なり、たとえ柱基

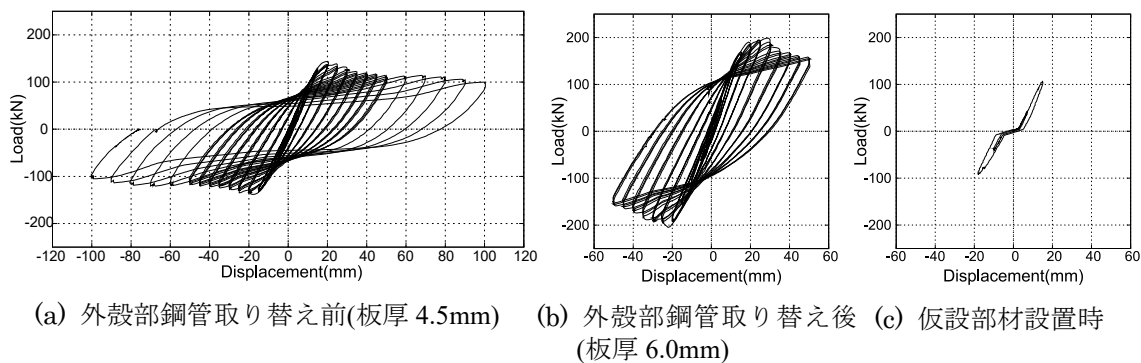


図3 正負交番载荷実験で得られた荷重-変位関係

部における鋼材の座屈が発生したとしても、コア部材が軸力支持機能を維持しているため、急激な復元力低下が発生しないことが明らかとなった。

次に、正負交番載荷実験の再現解析結果を図4に示す。図より、座屈直後の挙動に実験結果との差異があるものの、変位の大きな範囲における荷重が概ね一致していることがわかる。よって本解析により、中心に軸力を支持するコア部材が存在することで、外殻部鋼管座屈後の荷重低下が抑制されるという傾向が表現できたといえる。

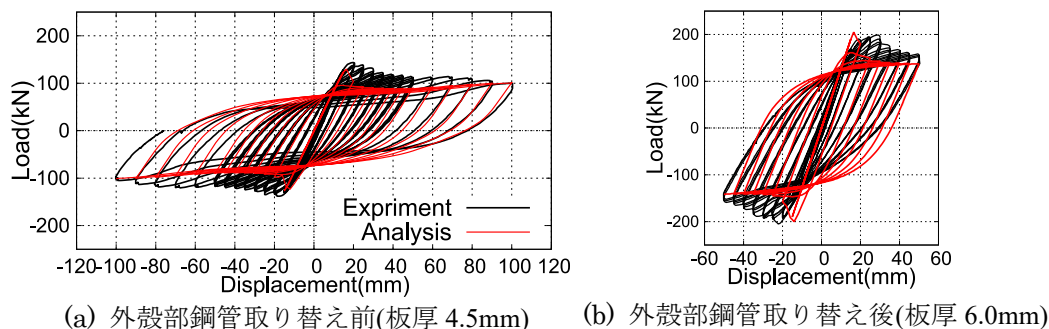


図4 再現解析で得られた荷重-変位関係

(2) 提案構造の外殻部取り替えに関する検討

図5に、外殻部鋼管撤去中のコア部材の負担軸力-水平変位関係を赤線で示す。なお、図中の黒線は正負交番載荷実験中のコア部材の負担軸力-水平変位関係であり、赤矢印が水平変位の調整方向である。図より、正負交番載荷実験後に外殻部鋼管に残留している引張応力が外殻部鋼管撤去の中で開放され、コア部材の負担軸力が軽減されていることがわかる。そして最終的に、コア部材の負担軸力が、柱への作用軸力(200kN)と等しくなっている様子が確認できる。以上より、コア部材が軸力を支持した状態で、残留応力を有する外殻部鋼管を撤去できることが実証されたといえる。

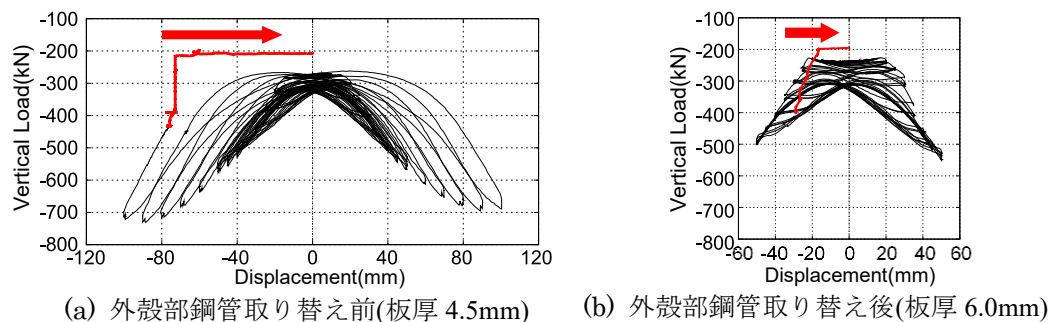


図5 コア部材の負担軸力-水平変位関係 (黒線: 載荷実験時, 赤線: 外殻部鋼管撤去時)

(3) 提案構造のコア部材(鋼管拘束コンクリート柱)に関する検討

図6(a)に、コア部材(鋼管拘束コンクリート柱)のみの荷重-変位関係を示す。図より、P- Δ 効果による負勾配が確認できるものの、正の復元力が維持できているため、P- Δ 効果による柱の倒壊は発生せず、セルフセンタリング機構が実現できていることがわかる。次に、図6(b)に外殻部材(RC部材)と組み合わせた際の荷重-変位関係を示す。図より、標準RC柱と同一の復元力特性を示していることがわかる。ここで変位振幅50mmにおける等価減衰定数を算出すると、標準RC柱が0.397、提案構造が0.398となり、等価減衰定数の値に大きな差はないことがわかる。よって提案構造は、標準RC柱と同様の優れた減衰性能を発揮することがわかった。また、載荷変位50mm時のコア部材底面における鉛直変位分布を図-7に示す。図より、コア部材である鋼管拘束コンクリート柱底面とフーチング上面の接触が切れ、コア部材に軸力が伝達されていないことがわかる。よって、外殻部材と組み合わせることで、コア部材による復元力が発現しなかったため、結果として柱全体の復元力特性に影響を及ぼさなかったといえる。このように、コア部材に軸力が作用しない状況は鋼管拘束コンクリート柱が地震時に損傷なく維持できることを表し、地震後の復旧時に性能が維持されていることが要求されるコア部材にとって有利な状況といえる。

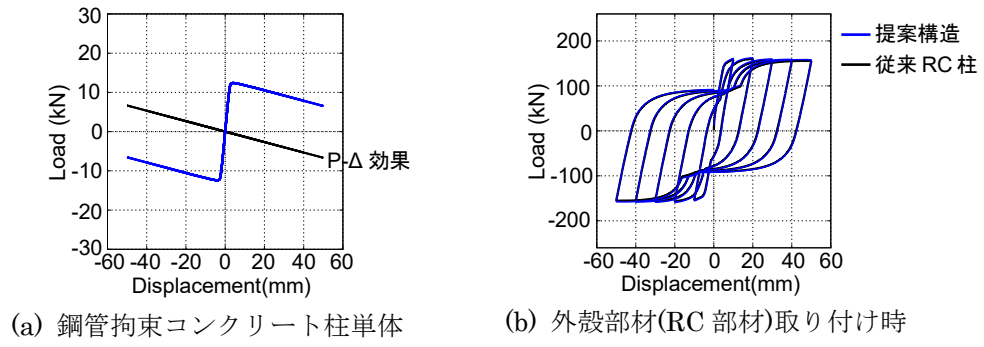


図6 解析で得られた荷重-変位関係

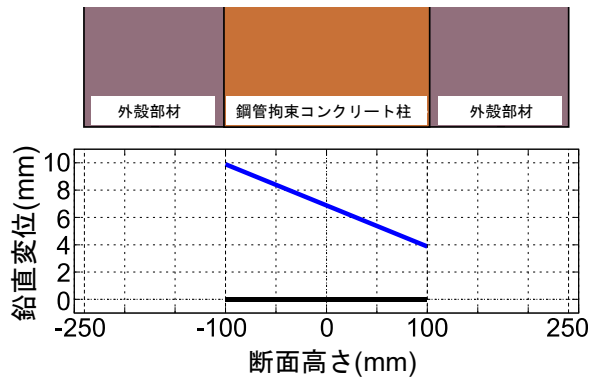


図7 鋼管拘束コンクリート柱底面の鉛直変位分布(外殻部材取り付け時)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 植村佳大, 前田紘人, 高橋良和	4. 巻 78
2. 論文標題 軸力支持下で耐震性能の改変が可能な鋼製メタボリズム柱構造の開発	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 -
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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 前田紘人
2. 発表標題 軸力支持下において性能の改変可能なメタボリズム鋼構造の正負交番載荷実験
3. 学会等名 第76回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井洵
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メタボリズム耐震橋脚構造の解析的検討
3. 学会等名 2021年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田紘人
2. 発表標題 軸力支持下において耐震性能の改変が可能な鋼製メタボリズム柱構造の正負交番載荷実験
3. 学会等名 第24回橋梁等の耐震設計シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井 洵
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橋脚構造の解析的検討
3. 学会等名 第24回橋梁等の耐震設計シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植村 佳大
2. 発表標題 軸力支持下において耐震性能の改変が可能な鋼製メタポリズム柱構造の正負交番載荷実験
3. 学会等名 第41回地震工学研究発表会
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
---------	---------