

令和 4 年 6 月 5 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15145

研究課題名（和文）コンクリート系骨組への制振ダンパーの合理的活用法の提案とその構造性能評価法の構築

研究課題名（英文）Proposal of rational utilization method of dampers in concrete frames and construction of its structural performance evaluation method

研究代表者

毎田 悠承 (Maida, Yusuke)

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：10756422

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）：本研究では、まず、RC造部材とダンパーの接合部の要素実験と有限要素解析を行い、各種接合方法の耐力・剛性の評価法を検討した。次いで、摩擦ダンパーを組み込んだアンボンドPC架構の実験と有限要素解析を行った。パラメータはダンパーの接合形式とした。実験から、いずれの接合形式においても、エネルギー吸収能力に富む履歴特性となることを確認した。解析から、架構の応力状態を把握した。また、過去に行った様々な実験を再現する有限要素解析を行い、より適切な設計法を検討した。さらに、ダンパーを適用したC系骨組の地震応答解析を行い、接合形式の違いによる制振効果などを確認した。最後に、提案した構造の構造性能評価法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

C系骨組にダンパーを組み込むことは耐震安全性、地震後の建物継続使用性、財産保持性の確保に有効である。しかし、C系骨組においてダンパーは活用されていない実情がある。この原因として、ダンパーの接合方法が力学的に不明な部分が多く、未だに決定的なディテールがないことが挙げられる。また、ダンパーの種類の違いや、ダンパーの接合形式の違いによる制振効果の定量的評価法がない。本研究で提案する構造の構造性能評価法を構築することで、実建物へのダンパーの適用・普及が進み、人命、建物の骨組、非構造材、機能、財産などを保護できる社会が創造される。

研究成果の概要（英文）：In this study, component tests were conducted and finite element analysis was performed on connections between RC members and dampers. Further, methods of evaluating the strength and stiffness of various types of connections were examined. Next, tests and finite element analysis were performed on unbonded PC frames with friction dampers by considering the connection type of the damper as a parameter. The results confirmed that all types of connections exhibited restoring force characteristics with abundant energy dissipation capacities. Based on the analysis, the stress state of the PC frame was also ascertained. In addition, a finite element analysis was conducted that reproduced the results of various tests conducted in the past. Additionally, seismic response analysis was performed on the concrete frames with dampers and the effect of different types of connections on damping was evaluated. Finally, a method was constructed to evaluate the performance of the proposed structure.

研究分野：建築構造

キーワード：鉄筋コンクリート構造 プレストレストコンクリート構造 ダンパー

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

過去の被災経験から、既存の鉄筋コンクリート（以下、RC）造建築物に対する耐震補強が推進されており、その補強方法として制振ダンパー（以下、ダンパー）を取り付ける方法がある。また、近年では地震後の建物継続使用性・財産保持性が求められるため、ダンパーの新築RC骨組、プレストレストコンクリート（以下、PC）骨組への適用も増加している。以上のように、既存・新築のRC、PC骨組（以下、総称して、C系骨組）にダンパーを組み込むことは耐震安全性、地震後の建物継続使用性、財産保持性の確保に有効であることは明らかである。しかし、C系骨組においてダンパーは活用されていない実情がある。この原因として、C系部材とダンパーの接合方法に決定的なディテールがないこと、ダンパーの種類の違いや、ダンパーの接合形式の違いによる制振効果の定量的評価法がないことなどが挙げられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、C系骨組の耐震安全性・エネルギー吸収性能を向上するために合理的にダンパーを活用する接合方法・形式を提案し、実験と解析により、この力学挙動解明と制振効果の定量的評価を行うとともに、具体的な構造性能評価法を構築することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、上述の研究目的を達成するために、以下に示す4つの項目について検討した。

#### 1) C系部材とダンパーの接合部における力学挙動

C系部材へのダンパー接合方法を複数検討した。既往の研究事例調査および、ディテール検討の結果を基に、孔あき鋼板ジベルを用いた方法、頭付きスタッドを用いた方法、バーリングシアコネクタを用いた方法、PC鋼棒により圧着接合する方法の4種のディテールを対象とした。壁部材のような断面が薄い部材にもダンパーを活用できるように、C系部材の対象をRC造壁部材とし、ダンパー接合部の要素実験（図1）を行った。また、実験を再現する有限要素解析を行った。ジベルにおける孔や、頭付きスタッドなどの寸法、数量、配置等のディテールをパラメータにしたパラメトリックスタディを行い、耐力・剛性などの評価法を検討した。

#### 2) ダンパーを組み込んだC系骨組の力学挙動

まず、本研究課題での実験を計画するにあたり、過去に行った筋かい型摩擦ダンパー付きRC架構実験を再現する有限要素解析を行い、その解析モデルを基にして、ダンパーの接合方法や接合形式の違い、PC架構にした場合など、パラメトリックスタディを行い、製作する試験体を検討した。検討結果に基づき計画した、摩擦ダンパーを組み込んだ1層1スパンのアンボンドプレキャスト（PCa）PC圧着架構の実験（図2）を行った。実験パラメータはダンパーの接合形式とし、筋かい型と、方杖型の計2種とした。また、実験を再現する有限要素解析を行った。

また、過去に行ったダンパー付きRC造方立壁を有するRC造架構実験を再現する有限要素解析（図3）および、RC造外付け耐震補強部に方杖型ダンパーを有する既存RC造ト形部分架構実験を再現する有限要素解析（図4）を行った。

#### 3) ダンパーを適用したC系骨組の地震応答

ダンパーを適用したC系骨組の立体フレームモデルによる地震応答解析を行った。RC、PCなど構造種別、ダンパーの種類、接合形式、ダンパーの活用方法の違いなどをパラメータとした。

#### 4) ダンパー付きC系骨組の構造性能評価法の構築

3)で行った地震応答解析により抽出された問題点について、2)で作製した種々の有限要素解析モデルを用いて改善策を検討した。また、それぞれのダンパー付きC系骨組の挙動について有限要素解析モデルを用いて検討を重ね、構造性能評価法を検討した。

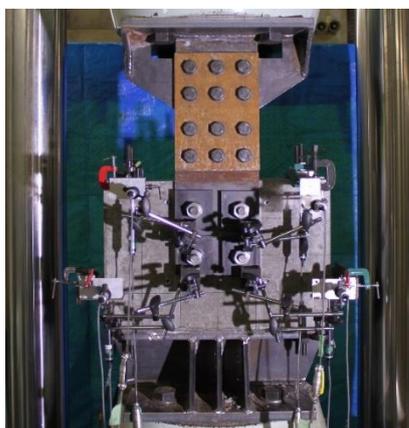


図1 RC造壁部材とダンパーの接合部要素実験

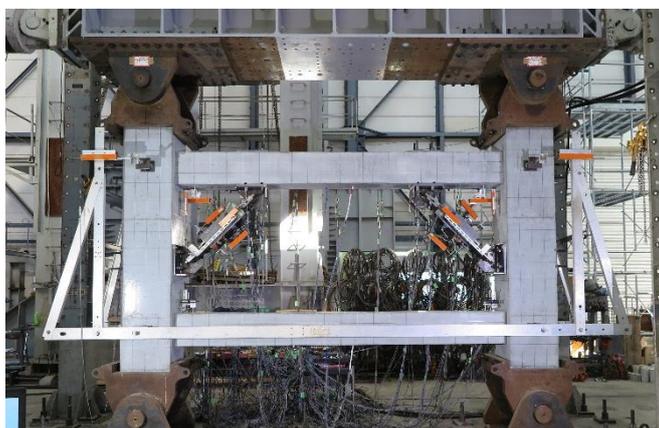


図2 摩擦ダンパーを組み込んだアンボンドPCaPC圧着架構の実験

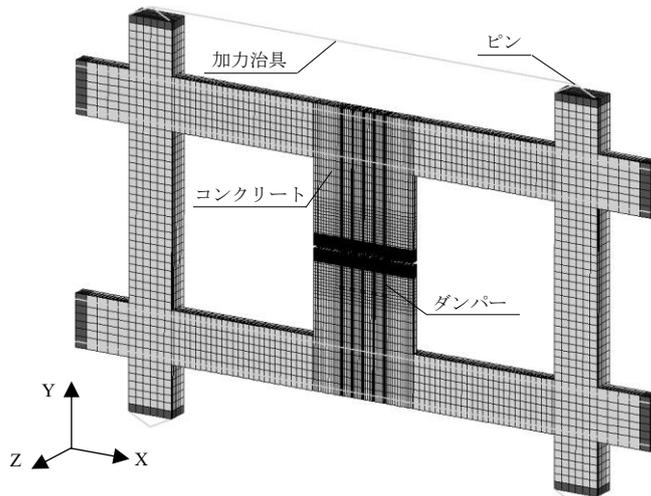


図3 RCダンパー付きRC造方立壁を有するRC造架構の有限要素解析モデル

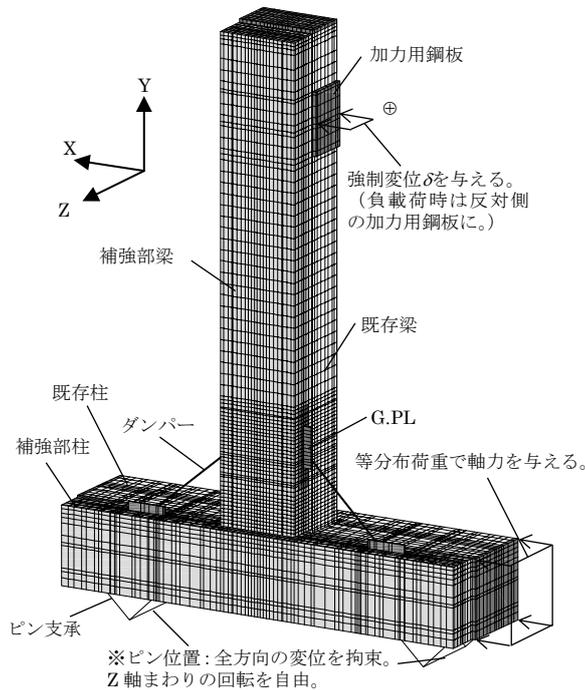


図4 RC造外付け耐震補強部に方杖型ダンパーを有する既存RC造ト形部分架構の有限要素解析モデル

#### 4. 研究成果

##### 1) C系部材とダンパーの接合部における力学挙動

実験から、それぞれの接合方法の耐力・剛性などのデータを得た。孔あき鋼板ジベルを用いた方法では、複数枚の鋼板を用いた際の耐力・剛性の算定方法に関しては、ジベル間距離の影響などを考慮する必要があることが分かった。頭付きスタッドを用いた方法では、壁部材に偏心接合した場合でも、既往の設計式による耐力を発揮した(図5(a))。PC鋼棒により圧着接合する方法では、他の方法に比べ、剛性が大きいことを確認した(図5(b))。

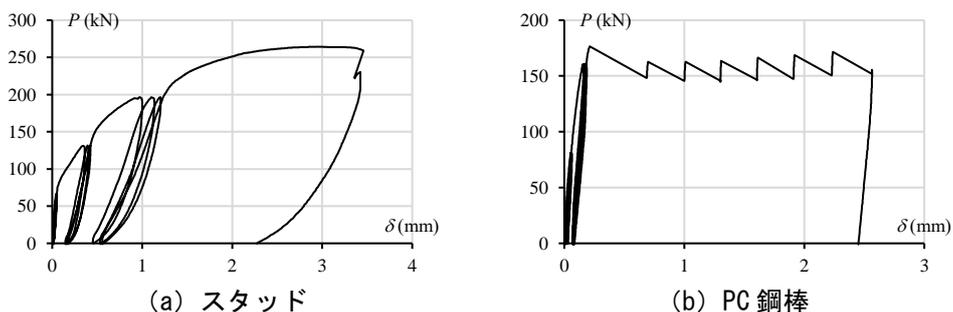


図5 RC造壁部材とダンパー接合部の荷重-変形関係

## 2) ダンパーを組み込んだC系骨組の力学挙動

摩擦ダンパーを組み込んだアンボンド PCaPC 圧着架構の実験実験から、いずれの接合形式の試験体においても、摩擦ダンパーをアンボンド PCaPC 圧着架構に取り付けることで、柱梁の損傷をほとんど生じさせることなく、エネルギー吸収能力に富む履歴特性 (図 6) となることを確認した。また、その実験を再現する有限要素解析から、PCaPC 部材の応力状態を確認した。

ダンパー付き RC 造方立壁を有する RC 造架構実験を再現する有限要素解析では、部材の最小主応力度分 (図 7) を把握するとともに、考案した棒鋼ダンパーのせん断力評価法を検討し、実験値を良好に評価できた。

RC 造外付け耐震補強部に方杖型ダンパーを有する既存 RC 造ト形部分架構実験を再現する有限要素解析では、既存 RC 造架構と外付け耐震補強部材との接合部に用いたあと施工アンカーのせん断抵抗について検討し、ダンパーの有無によるあと施工アンカーのせん断応力度 (図 8) の違いを把握した。

以上の解析から、架構全体や局所の応力状態を把握し、より適切な設計法に関して検討した。

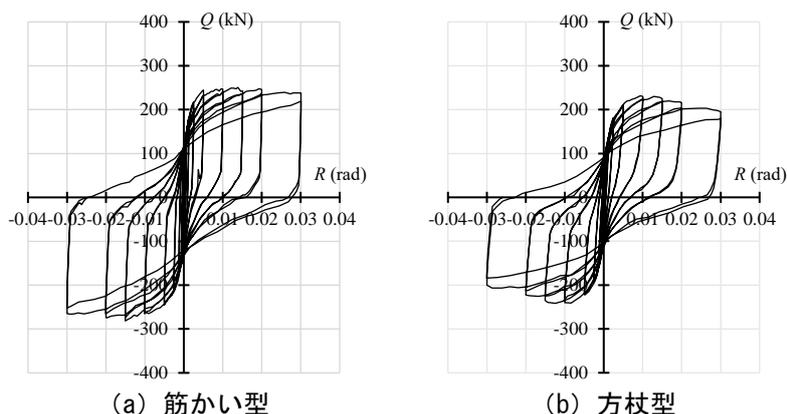


図 6 摩擦ダンパーを組み込んだアンボンド PCaPC 圧着架構の層せん断力-層間変形角関係

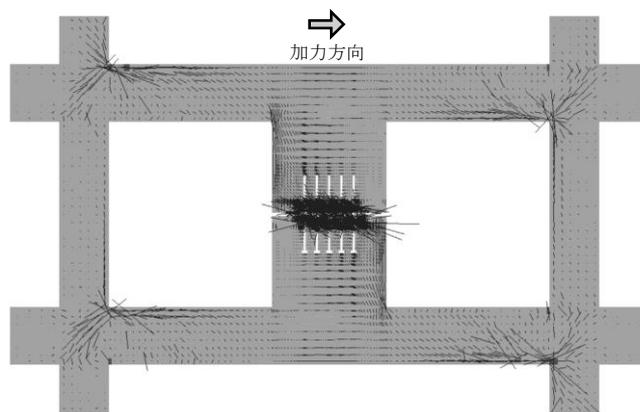


図 7 ダンパー付き RC 造方立壁を有する RC 造架構の最小主応力度分布

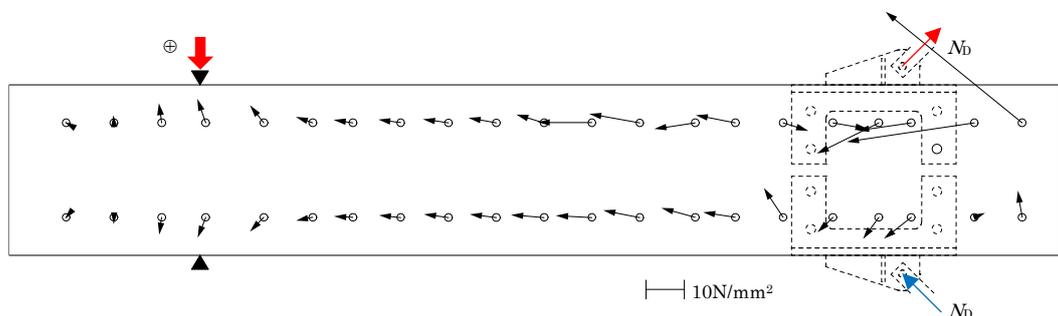


図 8 アンカーのせん断応力度 (ダンパーあり) ( $R=+1/100\text{rad}$ )

## 3) ダンパーを適用したC系骨組の地震応答

RC, PC など構造種別, ダンパーの種類・接合形式, ダンパーの活用方法の違いによる骨組全体の動的挙動, 制振効果などを確認した。同じダンパー量であっても, ダンパーの接合形式により, 応答変位や制振効果に差異があることなどを確認し, それらを定量的に評価した。

## 4) ダンパー付きC系骨組の構造性能評価法の構築

本研究で提案した C 系骨組へのダンパーの様々な合理的活用法について, それぞれの構造性能評価法を構築した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 MAIDA Yusuke, SAKATA Hiroyasu, SHIMAZAKI Kazushi, IZUMI Nobuyuki, TAKENAKA Hiroyuki, WATANABE Toru, SAEKI Eiichiro, SHIBUTA Keiichiro	4. 巻 85
2. 論文標題 DESIGN METHOD OF DAMPER CONNECTIONS BY POST-TENSIONED CONNECTION UTILIZING DUCTILE CAST IRON PLATE WITH SHEAR-KEY AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF RC FRAME WITH DAMPERS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 563～573
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijs.85.563	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 毎田悠承, 坂田弘安	4. 巻 42, 2
2. 論文標題 梁の軸方向力を考慮した摩擦ダンパー筋違付きRC門型架構の有限要素解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 775～780
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 -
1. 著者名 毎田悠承, 森貴禎, 坂田弘安, 和泉信之, 前川利雄	4. 巻 67B
2. 論文標題 棒鋼ダンパーを用いたRC造方立壁の有効活用に関する解析研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 1～11
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 -
1. 著者名 Maida Yusuke, Sakata Hiroyasu, Qu Zhe, Maegawa Toshio, Suzuki Hiro	4. 巻 236
2. 論文標題 Cyclic loading test of lightly reinforced concrete wall piers with slit dampers in RC frames	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 112099～112099
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.engstruct.2021.112099	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 該当する

1. 著者名 MAIDA Yusuke, SATO Yuki, SAKATA Hiroyasu, MAEGAWA Toshio, HATTORI Tsubasa	4. 巻 86
2. 論文標題 THE EFFECTS OF THE DE-BONDING OF BEAM LONGITUDINAL REBARS ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF BUCKLING RESTRAINED BRACED RC FRAMES WITH A GUARANTEED HINGE POSITION	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 815 ~ 826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.815	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 毎田悠承, 中野佑太, 佐藤匠, 坂田弘安	4. 巻 43, 2
2. 論文標題 既存RC造架構とダンパー付きRC造外付け耐震補強部材との接合部に用いたあと施工アンカーのせん断抵抗に関する解析研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 499 ~ 504
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 -

1. 著者名 Maida Yusuke, Sakata Hiroyasu	4. 巻 25
2. 論文標題 Cyclic loading test of reinforced concrete frames protected with brace-type friction dampers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Structural Engineering	6. 最初と最後の頁 83 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/13694332211042785	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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 佐々木裕一, 佐藤裕貴, 坂田弘安, 前川利雄, 毎田悠承, 服部翼
2. 発表標題 座屈拘束ブレース付きRC骨組の力学的挙動に対して梁主筋の付着除去が与える影響 その1 実験概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 服部翼, 佐藤裕貴, 坂田弘安, 前川利雄, 毎田悠承
2. 発表標題 座屈拘束ブレース付きRC骨組の力学的挙動に対して梁主筋の付着除去が与える影響 その2 実験結果とFEM解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤裕貴, 坂田弘安, 前川利雄, 毎田悠承, 服部翼
2. 発表標題 座屈拘束ブレース付きRC骨組の力学的挙動に対して梁主筋の付着除去が与える影響 その3 FEM解析による考察
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木下雄貴, 毎田悠承, 坂田弘安
2. 発表標題 摩擦ダンパー付きブレースを組み込んだRCフレームの有限要素解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 毎田悠承, 佐藤裕貴, 坂田弘安, 前川利雄, 服部翼
2. 発表標題 梁主筋の付着除去を施した座屈拘束ブレース付きヒンジ位置保証型RC骨組の力学挙動
3. 学会等名 日本地震工学会大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Maida, Kazuhiko Kasai, Hiroyasu Sakata
2. 発表標題 EXPERIMENTAL EVALUATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF RC FRAMES WITH BRACE HAVING FRICTION DAMPER
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Maida, Shuhei Harada, Hiroyasu Sakata, Takumi Sato, Masaharu Kubota
2. 発表標題 STRUCTURAL BEHAVIOR OF CONNECTIONS BETWEEN CONCRETE COMPONENTS AND GUSSET PLATE WITH STUD BOLTS
3. 学会等名 The Eleventh International Structural Engineering and Construction Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤迅, 木下雄貴, 毎田悠承, 立花弘, 島田安章, 服部翼, 前川利雄
2. 発表標題 摩擦ダンパーを取り付けたアンボンドPCaPC圧着架構の力学的挙動に関する研究 その1 実験概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前川利雄, 木下雄貴, 毎田悠承, 齋藤迅, 立花弘, 島田安章, 服部翼
2. 発表標題 摩擦ダンパーを取り付けたアンボンドPCaPC圧着架構の力学的挙動に関する研究 その2 実験結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下雄貴, 毎田悠承, 齋藤迅, 立花弘, 島田安章, 服部翼, 前川利雄
2. 発表標題 摩擦ダンパーを取り付けたアンボンドPCaPC圧着架構の力学的挙動に関する研究 その3 FEM解析による考察
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
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		
中国	China Earthquake Administration		