

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25420569

研究課題名（和文）多数回繰返し変形を受ける既存超高層鉄筋コンクリート造住宅の耐震安全性評価及び対策

研究課題名（英文）EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE INDEX AND EFFECT OF RETROFITTING BY ENERGY DISSIPATION DEVICE ON EXISTING HIGH-RISE RC BUILDING DUE TO CYCLIC DEFORMATIONS

研究代表者

和泉 信之（IZUMI, NOBUYUKI）

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80526773

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：日本における既存の超高層RC造住宅を対象に構築した既存骨組モデルについて基準地震動を連続入力する非線形地震応答解析を実施して、多数回繰返し変形を受ける既存骨組モデルの地震応答値を分析した。その分析結果から、既存骨組モデルについて安全性等に関する保有耐震性能及び室内被害指標を評価した。さらに、耐震対策として有望な制振デバイスについて多数回繰返し変形に対する補強効果を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Time history earthquake response analysis of the framed models which represent the existing high-rise RC buildings in Japan was conducted and the seismic responses due to cyclic deformations were examined. As a result, seismic performance index of the framed models and indoor damage index were evaluated from examination of seismic responses. Moreover, improvement on seismic performance index of the framed models retrofitted by energy dissipation devices due to cyclic deformations was indicated.

研究分野：工学

キーワード：コンクリート構造 超高層建築物 耐震性能 地震応答解析 既存建築物

## 1. 研究開始当初の背景

巨大地震の発生が危惧される我が国では、重要な社会資本である既存超高層鉄筋コンクリート造(以下、RC造)住宅は既に500棟を超えており、その長期活用が求められている。超高層RC造では、法の最低要求として大地震時の倒壊防止が規定されてきたが、安全性の余裕等保有耐震性能の実態は明らかでなく、安全・安心の住まいとして十分な耐震性があるのか、議論されていない。そのため、研究の第1段階として、研究代表者らは既存超高層RC造住宅を対象として、標準的な設計用地震動(基準地震動)に対する保有耐震性能の実態を評価するとともに、制振補強対策が有望であることを示した(基盤研究(c)H22~24年度:課題番号22560556「既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能及び制振補強効果の評価」)。

現在、東海・東南海・南海地震により首都圏、中京圏、関西圏等の大都市部では長周期地震動による超高層建築物の被害が警鐘されている。また、2011年東北地方太平洋沖地震では継続時間の長い地震動が観測され、超高層RC造住宅では今までに経験したことのない繰返し回数の揺れを経験したため、社会的な不安が増大した。既に超高層RC造住宅が我が国に建設されて数十年が経過するが、従来の設計用地震動には、過去に観測された地震記録に基づいて設定された地震動が多く、部材の塑性域において経験する繰返し回数は数回程度であるものが大部分であり、大地震動の連動は想定されていない。さらに、既存超高層RC造の地震応答解析で用いる骨組の復元力特性モデルには、多数回の繰返し変形による履歴の変動はほとんど考慮されていない。

そのため、研究代表者らは、繰返しによるRC造部材の履歴特性の変動を考慮した復元力特性を表す履歴モデルを用いて、大地震動の連動を考慮した繰返し変形の回数増大による既存超高層RC造の地震応答の変動を予備的な研究として評価した。その結果から、多数回の繰返し変形による地震応答の増大の可能性を示し、本研究の重要性と必要性を指摘した。

しかし、長周期地震動に対しては、今後建設される超高層RC造住宅では耐震評価が実施され始めたが、既存超高層RC造住宅に関する耐震性能評価は実施されていない。そのため、多数回繰返し変形を受ける既存超高層RC造住宅の耐震安全性の実態については解明されていない。

## 2. 研究の目的

### (1) 研究課題の目的

500棟を超える既存超高層鉄筋コンクリート造(RC造)住宅が首都圏、中京圏や関西圏等の大都市部に建設されてきた。2011年東日本大震災により超高層住宅の長く続く揺れに対する不安が増大し、東海・東南海・南海

地震等長周期地震動への対策が急務とされている。既存超高層RC造住宅は、建設から数十年を経ており、当時の耐震設計では長周期地震動による多数回の繰返し変形は考慮されていない。既存超高層RC造住宅を安全・安心の住まいとして長期に活用するためには、建設時期に応じた構造特性を考慮した上で、長周期地震動による地震応答性状を把握し、住宅として必要な耐震対策の研究が求められている。本研究の目的は、長周期地震動による多数回の繰返し変形を受ける既存超高層RC造住宅の耐震性能を評価し、耐震対策を考察することである。

### (2) 研究期間内に明らかにする点

本研究の目的は、長周期地震動のような超高層建築物に多数回の繰返し変形を生じさせる地震動に対して、既存の超高層RC造住宅を対象に、建設時期の構造特性や多数回繰返し変形を考慮した履歴モデルを用いた非線形地震応答解析により、骨組の安全性等に関する耐震性能や住宅の室内被害を評価するとともに、有効な耐震対策を考察することである。本研究期間内には、既存超高層RC造住宅を対象として多数回繰返し変形を考慮した骨組の耐震性能指標及び住宅の室内被害指標並びに制振補強効果を明らかにする。

既存超高層RC造モデルに関する骨組の耐震性能指標

基準地震動の連続入力による繰返し回数の増大を考慮した既存超高層RC造骨組の耐震性能指標の変動を評価する。骨組の耐震性能指標には、既往の研究で提案した安全性等に関する保有耐震性能指標(限界地震動の基準地震動に対する強さの比率)を用いることとする。

既存超高層RC造モデルに関する住宅の室内被害指標

基準地震動の入力レベルに対応した既存超高層RC造住宅の室内被害指標を評価する。住宅の室内被害指標は、既往の研究で提案した家具の転倒被害・滑り被害や仕上げ材被害を表す室内被害発生率(室内被害が発生する階の全階数に対する比率)等を用いることとする。

既存超高層RC造モデルに関する制振補強効果

耐震対策として有望な既存超高層RC造住宅の制振補強効果を評価する。上記及び評価した既存超高層RC造住宅における骨組の耐震性能指標及び住宅の室内被害指標について、基準地震動の連続入力や地震動入力レベルに対する制振補強による低減効果を評価する。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究方法の概要

本研究では、既存超高層鉄筋コンクリート造(RC造)住宅を対象に、非線形地震応答解析により、骨組の保有耐震性能指標及び住宅

の室内被害指標を評価するとともに、耐震対策として有望な制振デバイスの付与による補強効果を評価した。本研究は、「(A) 保有耐震性能指標の解析」、「(B) 室内被害指標の解析」、「(C) 制振補強効果の評価」の3段階に分けて実施した。既往の研究で構築した既存超高層 RC 造モデルを中核として基準地震動の連続入力回数を変えたパラメトリック非線形地震応答解析を実施して、(A) では安全限界指標等を、(B) では室内被害指標を算定した。(C) では、まず、上記の既存超高層 RC 造モデルに補強量の異なる制振デバイスを付与した既存補強モデルを構築した。次に、基準地震動の連続入力等による非線形地震応答解析を実施して、制振デバイスの補強効果を評価した。

#### (2) 保有耐震性能指標の解析

「(A) 保有耐震性能指標の解析」として、(A1) 履歴特性モデルの構築及び (A2) 既存超高層 RC 造モデルの保有耐震性能指標の算定を実施した。

##### 履歴特性モデルの構築

履歴特性モデルとしては、耐震設計に一般的に用いられている「設計モデル」(Takedaモデル)のほかに、繰返し変形を考慮した「劣化モデル」を用いた。劣化モデルは、多数回の繰返し変形による RC 造部材の特性変動を表現するために繰返し変形によるスリップ性状や耐力低下の影響を考慮した齊藤博士が提案している履歴モデルを用いた。この履歴特性モデルは、繰返し変形による特性変動を考慮するために、数種のパラメータを設定する必要がある。そのために、構造実験との比較等を実施して、既存超高層 RC 造の骨組を表すパラメータを設定した。まず、多数回繰返し変形を行った既往の実験結果と繰返し変形による特性変動を考慮した履歴特性モデルの比較を行った。これらの検討結果から、劣化モデルのパラメータを設定した。

既存超高層 RC 造モデルの保有耐震性能指標の算定

「既存超高層 RC 造モデル」は、既往の研究において使用材料、骨組形状、固有周期及び設計用地震力等の構造特性を反映して構築した骨組モデル(基準モデル、耐力・剛性が異なる強弱・剛柔モデル)を中核として設定した。なお、これらの骨組モデルは設計時期を3つの年代にわけて設定されており、その妥当性は既存の実施物件データとの比較により検証されている。

基準地震動の連続入力による多数回の繰返し変形を考慮した既存超高層 RC 造モデルの耐震性能指標の変動を評価した。骨組の耐震性能指標には、既往の研究で提案した安全性等に関する保有耐震性能指標を用いることとした。保有耐震性能指標は、(A1) で設定した履歴特性モデルを用いた非線形立体フレーム地震応答解析により評価した。その際、連続入力する基準地震動は、標準的な模擬地震動(日本建築センター模擬地震動 BCJL2 波)

とした。

#### (3) 室内被害指標の解析

「(B) 室内被害指標の解析」として、地震動入力レベルに対応した既存超高層 RC 造モデルの室内被害指標を評価した。住宅の室内被害指標は、既往の研究で提案した家具の転倒被害・滑り被害や仕上げ材被害を表す室内被害の発生状況を表す室内被害発生率(室内被害が発生する階の全階数に対する比率)等を用いることとした。

#### (4) 制振補強効果の評価

「(C) 制振補強効果の評価」として骨組の保有耐震性能指標及び住宅室内被害指標に関する制振デバイスの補強効果を評価した。

##### 既存補強モデルの構築

既存超高層 RC 造モデルに補強量を変えた制振デバイスを付与した既存補強モデルを構築した。制振デバイスには、オイルダンパーを用いた粘性系デバイス等を用いた。

##### 既存補強モデルの保有耐震性能指標

既存補強モデルの非線形立体フレーム地震応答解析を実施して、(A) 及び (B) で用いた各々の指標値を評価した。

### 4. 研究成果

(1) (A1) では、耐震設計に一般的に用いられている設計モデルのほかに、劣化モデルを用いて多数回繰返し変形を与えた梁・骨組の構造実験との比較等を実施して、既存超高層 RC 造骨組の履歴特性を表す2つの履歴モデルを構築することができた。その際、劣化モデルの構築においては、多数回繰返し変形を実施した既往の実験結果との比較結果から、劣化モデルのパラメータを設定することができた。

(2) (A2) では、設計時期を3つの年代にわけて設定した既存超高層 RC 造モデルについて設計モデルとともに(A1) で設定した劣化モデルを用いて非線形立体フレーム地震応答解析を実施して保有耐震性能指標等を評価することができた。

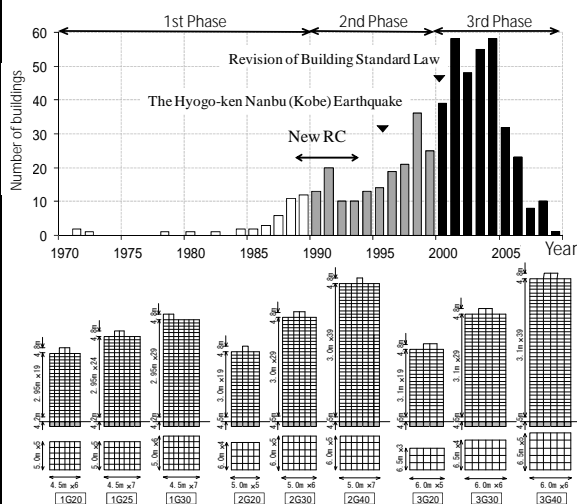


図1 3年代と既存超高層 RC 造モデルの例

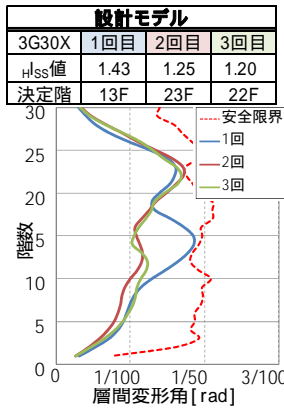


図2 基準地震動の連続入力による層間変形角の推移の評価例(設計モデル)

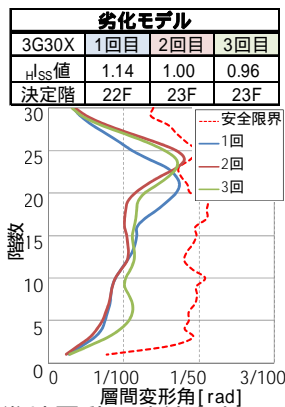


図3 基準地震動の連続入力による層間変形角の推移の評価例(劣化モデル)

(3) (A2)では、既存超高層 RC 造モデルについて基準地震動の連続入力による非線形立体フレーム地震応答解析を実施して保有耐震性能指標の変動等を評価することができた。

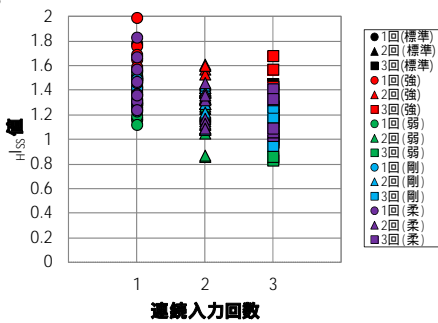


図4 基準地震動の連続入力による安全限界指標の推移の評価例(設計モデル)

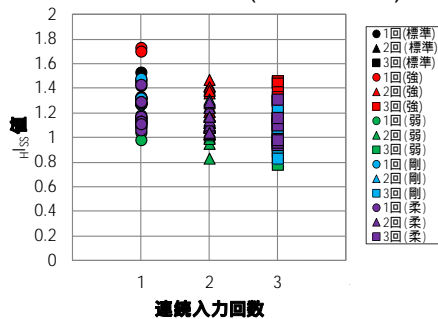


図5 基準地震動の連続入力による安全限界指標の推移の評価例(劣化モデル)

(4) (B)では、履歴特性に設計モデルを用いた既存超高層 RC 造モデルの非線形フレーム地震応答解析を実施して家具の転倒被害・滑り被害や仕上げ材被害を表す室内被害発生率を評価することができた。また、基準地震動の連続入力による室内被害への影響は、仕上げ材被害に見られた。

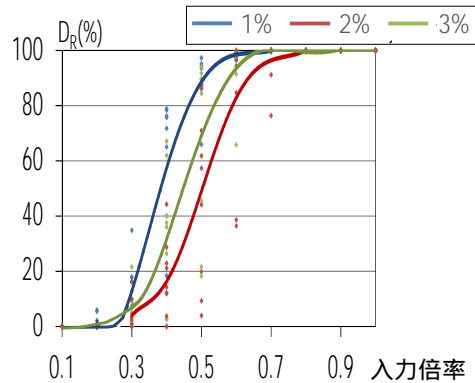


図6 家具転倒被害発生率の評価例

(5) (B)では、地震動入力レベルを漸増させて既存超高層 RC 造モデルの非線形フレーム地震応答解析を実施して家具の転倒・滑り被害や仕上げ材被害を表す室内被害発生率曲線を評価することができた。

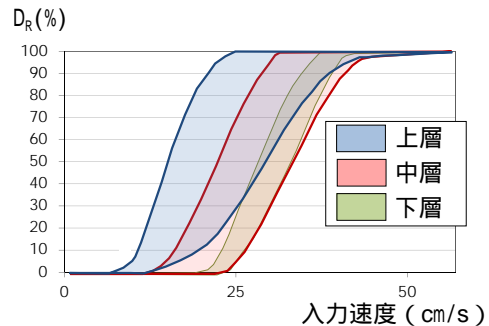


図7 家具の転倒被害に関する室内被害発生率曲線の評価例

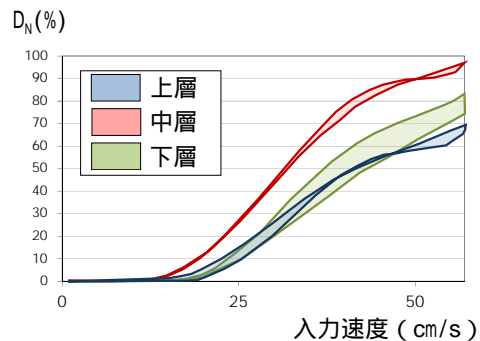
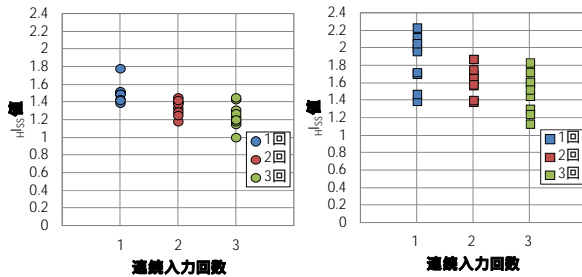


図8 室内仕上げ材被害に関する室内被害発生率曲線の評価例

(6) (C)では、既存超高層 RC 造モデルに補強量を変えた制振デバイスを付与した既存補強モデルを構築できた。制振デバイスには、低降伏点鋼を用いた履歴系デバイス、あるいはオイルダンパーを用いた粘性系デバイスを用いた。

(7) (C)では、上記の制振デバイスを付与した既存補強モデルについて基準地震動の連続入力による非線形立体フレーム地震応答解析を実施して、保有耐震性能指標の変動等を評価することができた。また、既存補強モデルについて室内被害階率の変動等を評価することができた。



(a) 非制振 (b) オイルダンパー制振  
図9 既存補強モデルの安全限界指標の推移の評価例(設計モデル)

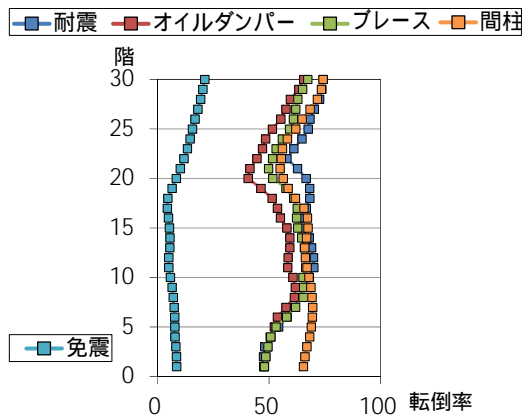


図10 既存補強モデルの家具転倒率の評価例(設計モデル)

(8) 既存超高層 RC 造建築物の耐震診断・補強という新規の研究分野において、多数回繰返し変形を受ける既存超高層 RC 造モデルの保有耐震性能及び室内被害発生率について評価できた。これらの結果により、長周期地震動に対する既存超高層 RC 造住宅における骨組損傷と室内被害について耐震評価と対策の必要性を明らかにすることができた。

今後、これらの成果を活かして、長周期地震動に対する既存超高層 RC 造住宅の耐震診断・補強に関する研究を推進したい。

## 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 9 件)

道下龍太郎、仁科智貴、毎田悠承、和泉信之、超高層鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能残存率と被災度、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.38、No.2、2016、pp.901-906

Michishita Ryutaro, Nishina Tomoki, Maida Yusuke, Izumi Nobuyuki, Residual Seismic Capacity and Damage Evalu-

ation of High-rise RC Buildings, 6th ASIA CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, Abstract 査読有, 2016

横川智裕、濱田聡、竹中啓之、和泉信之、多数回繰返し载荷を受ける高強度鉄筋コンクリート梁の履歴特性、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.37、No.2、2015、pp.265-270

岩田望、藤原実咲、濱田聡、和泉信之、既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能評価における基準地震動と指標値、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.37、No.2、2015、pp.667-672

福岡穂菜美、濱田聡、林達哉、和泉信之、既存超高層鉄筋コンクリート造住宅の地震時室内被害の推定、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.37、No.2、2015、pp.661-666

川野千咲、濱田聡、道下龍太郎、和泉信之、多数回繰返し変形を受ける既存超高層 RC 造建築物の安全限界指標と耐震性能の評価、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.37、No.2、2015、pp.739-744

知野裕和、濱田聡、秋田知芳、和泉信之、多数回繰返し载荷を受ける超高層 RC 造骨組の履歴特性と地震応答、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.36、No.2、2014、pp.36-39

藤原実咲、川野千咲、秋田知芳、和泉信之、多数回繰返し変形を受ける既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の簡易終局指標値、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.36、No.2、2014、pp.685-690

濱田聡、菅澤和真、梁川幸盛、秋田知芳、和泉信之、多数回繰返し载荷を受ける既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の地震応答評価、構造工学論文集、査読有、Vol.59B、2013、pp.27-37

〔学会発表〕(計 25 件)

仁科智貴、和泉信之ほか、既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能評価に関する研究(その10 被災度評価の検討) 日本建築学会、2016年8月24日、大会会場(福岡市・福岡大学)

道下龍太郎、和泉信之ほか、既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能評価に関する研究(その11 被災度評価の適用) 日本建築学会、2016年8月24日、大会会場(福岡市・福岡大学)

道下龍太郎、和泉信之ほか、Residual Seismic Capacity and Damage Evaluation of High-rise RC Buildings, 6th ACEE、2016年9月23日、フィリピン・セブ市

仁科智貴、和泉信之ほか、繰返し地震動を受ける 30 階建 RC 造建築物の被災度、日本地震工学会、2016 年 9 月 26 日、大会会場（高知市・高知工科大学）

岩田 望、和泉信之ほか、既存超高層 RC 造建築物の使用限界・安全限界指標値と地盤種別、日本地震工学会、2015 年 11 月 20 日、大会会場（東京都・東京大学）

道下龍太郎、和泉信之ほか、30 階建鉄筋コンクリートフレーム構造の耐震性能残存率、日本地震工学会、2015 年 11 月 20 日、大会会場（東京都・東京大学）

福岡穂菜美、和泉信之ほか、既存超高層 RC 造住宅の地震時室内被害曲線の評価、日本地震工学会、2015 年 11 月 20 日、大会会場（東京都・東京大学）

倉持真也、和泉信之ほか、50 階建高強度 RC 造骨組の履歴特性と地震応答、日本地震工学会、2015 年 11 月 20 日、大会会場（東京都・東京大学）

岩田望、和泉信之ほか、既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能評価に関する研究（その 5 基準地震動と指標値）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

道下龍太郎、和泉信之ほか、既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能評価に関する研究（その 6 耐震性能残存率）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

川野千咲、和泉信之ほか、既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の保有耐震性能評価に関する研究（その 7 多数回繰返し変形時の簡易終局指標値）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

横川智裕、和泉信之ほか、高強度鉄筋を用いた RC 梁の復元力特性に関する研究（その 3 復元力特性の考察）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

倉持真也、和泉信之ほか、多数回繰返し载荷を受ける超高層 RC 造建築物の応答性状に関する研究（その 6 50 階建骨組モデル地震応答解析）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

林達哉、和泉信之ほか、超高層鉄筋コンクリート造建築物の地震時室内安全性に関する研究（その 6 既存超高層 RC 造住宅の室内被害推定）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

福岡穂菜美、和泉信之ほか、超高層鉄筋コンクリート造建築物の地震時室内安全性に関する研究（その 7 既存超高層 RC 造住宅の室内被害発生率）、日本建築学会、2015 年 9 月 4 日、大会会場（平塚市・東海大学）

知野裕和、和泉信之ほか、多数回繰返し载荷を受ける超高層 RC 造骨組の履歴特性と地震応答、第 14 回日本地震工学シンポジウム、2014 年 12 月 4 日、大会会場（千葉市・幕張メッセ）

藤原実咲、和泉信之ほか、既存超高層 RC 造骨組の地震時変形と終局限界指標、第 14 回日本地震工学シンポジウム、2014 年 12 月 4 日、大会会場（千葉市・幕張メッセ）

横川智裕、和泉信之ほか、多数回繰返し载荷を受ける超高層 RC 造建築物の応答性状に関する研究（その 4 1 質点系モデルの地震応答解析）、日本建築学会、2014 年 9 月 12 日、大会会場（神戸市・神戸大学）

知野裕和、和泉信之ほか、多数回繰返し载荷を受ける超高層 RC 造建築物の応答性状に関する研究（その 5 30 階建立体フレームモデルの地震応答解析）、日本建築学会、2014 年 9 月 12 日、大会会場（神戸市・神戸大学）

川野千咲、和泉信之ほか、既存超高層 RC 造建築物の簡易終局指標値に関する研究（その 2 多数回繰返し変形時の簡易終局指標値）、日本建築学会、2014 年 9 月 12 日、大会会場（神戸市・神戸大学）

他 5 件

〔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〕

ホームページ等:特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

和泉 信之 (IZUMI NOBUYUKI)  
千葉大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 80526773

### (2) 研究分担者

該当者なし

### (3) 連携研究者

柏崎 隆志 (KASHIWAZAKI TAKASHI)  
千葉大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 40251178

秋田 知芳 (AKITA TOMOFUSA)  
千葉大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 60512374

(以上)