

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560556

研究課題名（和文） 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

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

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

研究成果の概要（和文）：日本における既存の超高層 RC 造建築物を対象に、RC 構造技術等に着眼して設計時期を3年代に分類して、各年代の RC 構造特性を持つ既存建築物モデルを構築した。この既存建築物モデルについて非線形地震応答解析を行い、各年代の地震応答値を分析した。その分析結果から、既存建築物モデルについて修復性及び安全性等に関する保有耐震性能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補強効果を明らかにした。

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

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

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

省資源型社会を目指す我が国では、巨大な住宅資本である既存超高層鉄筋コンクリート造（以下、RC造）建築物は既に500棟を超えており、その長期活用が必要である。一方、東海地震、南海地震などの巨大地震による超高層建築物の揺れや損傷に対して社会的な不安が高まっている。

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、地震後の修復性及び安全性の余裕など保有耐震性

能の実態は明らかでないため、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。既存の超高層 RC 造建築物を長期に活用するには、まず、その保有耐震性能の現状を評価し、次に、適切な耐震対策を研究することが必要である。

そのため、研究代表者らは、既存の超高層 RC 造建築物を対象に、その設計データから設計時期に分けて構造特性の特徴などを研究してきた。この研究は、主に日本建築学会高強度 RC 構造小委員会にて実施され、その研

研究成果の一部は学会出版物として刊行された。超高層 RC 造建築物は、1995 年兵庫県南部地震の発生以後、制振・免震構造が増加してきたが、既存超高層 RC 造の約 7 割以上は耐震構造が占めている。研究代表者らの研究調査から、耐震構造は法が要求する最低基準の耐震性能を確保しているが、設計時期により使用材料やスパンなどの構造特性が異なるとともに、その保有耐震性能の違いを推測させる結果が得られた。例えば、骨組の短期許容応力度設計用ベースシア係数の平均値は、2000 年以降の建築物では小さくなる傾向があり、骨組が保有する損傷限界レベルの低下が疑われる。さらに、大地震動に対する骨組の応答変形が年代を経るにつれて徐々に増大する傾向がある。これらの傾向は、骨組の剛性・耐力が低下している可能性を危惧させる分析結果である。一方、法改正により、2000 年以降では、建設地盤の特性を考慮した多様な入力地震動に対して検討しており、既往波を用いていた法改正以前の建築物についても同様な入力地震動に対する安全性の検証が必要である。

しかし、一般の既存建築物の耐震診断・補強に比べて、既存超高層 RC 造が保有する修復性及び安全性の余裕に関する耐震性能を評価する研究は実施されていない。そのため、その実態は全く把握されておらず、法の最低規定以上に耐震性能を向上させる補強策について研究が進んでいない。

2. 研究の目的

(1) 研究課題の目的

既存超高層 RC 造建築物は現在 500 棟を超えるが、制振・免震構造は少なく、耐震構造が約 7 割以上を占める。既存超高層 RC 造の研究調査では、耐震構造の特性は設計時期により異なり、法の最低要求値は確保されているが、法要求外の修復限界や安全限界など実際に保有する耐震性能は把握されていない。社会資本の長寿命化が求められる省資源型社会において既存超高層 RC 造を長期に活用するためには、その保有耐震性能の実状を把握し、安全・安心の住まいとして必要とされる耐震対策の研究が求められている。本研究の目的は、既存超高層 RC 造の保有耐震性能を評価し、耐震対策として有望な制振補強効果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、既存の超高層 RC 造建築物を対象に、設計時期の構造特性を考慮したモデルを用いた非線形地震応答解析により、修復性及び安全性などに関する保有耐震性能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補強効果を考察することである。具体的には研究期間において、既存

建築物モデルに関する(A)保有耐震性能指標及び(B)制振補強効果を明らかにする。

①既存建築物モデルの保有耐震性能指標

既存の超高層 RC 造建築物は 500 棟を超え、その設計期間は 35 年に及ぶ。そのため、本研究では、研究調査に基づき、構造特性が異なる 3 つの年代に分けて代表的な既存建築物モデルを構築して評価対象とする。本研究では、保有耐震性能の定量的な値として保有耐震性能指標を算定し、既存超高層 RC 造の修復性及び安全性のレベルを評価する。保有耐震指標は、各限界状態に相当する限界地震動の基準地震動に対する強さの比率とする。

②制振補強効果

耐震対策として有望な既存超高層 RC 造の制振補強効果を評価する。上記の基本となる既存建築物モデルに制振デバイスを付加した既存補強モデルを構築して非線形フレーム地震応答解析を行い、制振補強による修復限界指標及び安全限界指標の増大比率を算定する。

3. 研究の方法

(1) 研究方法の概要

本研究では、既存超高層 RC 造建築物を対象に、非線形地震応答解析により、修復限界状態及び安全限界状態を表す保有耐震性能指標を算定するとともに、耐震対策として有望な制振デバイスの付与による保有耐震性能指標の増大効果を評価する。本研究は、「(A) 保有耐震性能指標の解析」、「(B) 制振補強効果の評価」の 2 段階に分けて実施する。

(A) では、まず、既存超高層 RC 造の研究調査に基づき、設計時期による構造特性の違いを考慮した既存建築物モデルを構築する。次に、地震動の強さ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、修復限界指標及び安全限界指標を算定する。(B) では、まず、(A) の既存建築物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する。次に、非線形地震応答解析を実施して、制振デバイスの補強量に応じた修復限界指標及び安全限界指標の増大比率を評価する。

(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) 既存建築物モデルの構築及び (A2) 既存建築物モデルの保有耐震性能指標の算定を実施する。

①既存建築物モデルの構築

研究代表者らは、約 35 年間に設計された既存の超高層 RC 造建築物約 500 棟を対象として、その設計データから設計時期における構造特性を分析し、その特徴を研究している。その分析結果に基づき、既存建築物モデルは 3 つの年代に分けて構築する。構造技術の進

展度などに応じて第1年代は1989年まで、第2年代は1990年から1999年まで、第3年代は2000年以降とする。既存建築物モデルには、研究・設計調査に基づき、各年代における使用材料、骨組形状、固有周期及び設計用地震力などの構造特性を反映して骨組形状や部材の復元力特性を設定する。具体的には、高さの異なる建築物について3つの年代を代表する骨組モデル（使用材料、形状等）を設定し、部材の降伏点と降伏点剛性のばらつきを考慮して、適切な既存建築物フレーム群を設定する。なお、既存建築物モデルの妥当性は、これらのフレームを用いた既往波などによる地震応答解析を実施し、解析結果を各年代の既存超高層RC造の設計データと比較対応することにより、検証する。

②既存建築物モデルの保有耐震性能指標

既存の超高層RC造建築物の保有耐震性能指標は、修復限界状態及び安全限界状態に相当する限界地震動の基準地震動に対する強さの比率として、定量的に評価する。その際、限界地震動の強さは、既存建築物の限界変形を生じさせる地震動の強さとする。また、基準地震動は、時刻歴波形として公的な機関が作成した模擬地震動（BCJ-L2波）とする。なお、この耐震性能指標の定義は、研究代表者が共著者であるRC造建物の耐震性能評価指針案（日本建築学会編）に準拠している。

部材の弾塑性性状を適切にモデル化した既存建築物モデルを用いた非線形フレーム地震応答解析を行う。解析は、基準地震動に倍率を乗じた検討用地震動を用いたパラメトリック解析を行い、保有耐震性能指標を算定する。修復限界状態及び安全限界状態の限界変形は、各年代の構造特性に応じて部材の限界変形（塑性率、または変形角）及び限界層間変形角により適切に設定する。

(3) 制振補強効果の評価

「(B) 制振補強効果の評価」として、(B1) 制振デバイスを付与した既存補強モデルの構築及び (B2) 制振補強による保有耐震性能指標の増大比率の算定を実施する。

①既存補強モデルの構築

既存建築物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する。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る。

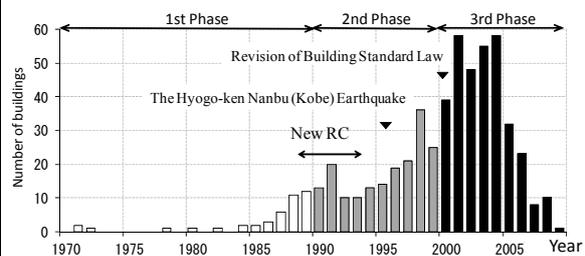
②既存補強モデルの保有耐震性能指標

上記の制振デバイスを付与した既存補強モデルの非線形フレーム地震応答解析を行う。解析は、基準地震動に倍率を乗じた検討用地震動を用いたパラメトリック解析を行い、修復限界指標及び安全限界指標を算定する。補強量の異なる制振デバイスの付与により、既存建築物モデルに比べて既存補強モデ

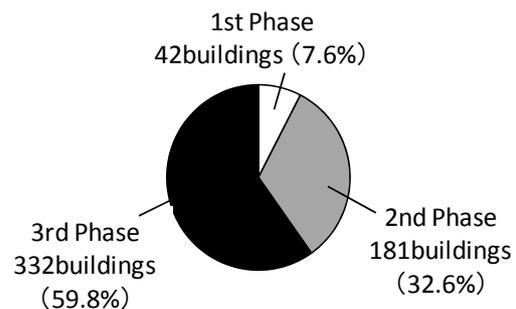
ルの修復限界指標及び安全限界指標がどの程度増大したか、その比率を算定する。

4. 研究成果

(1) (A1) では、既存超高層RC造の研究調査に基づき、設計時期による構造特性の違いを考慮した既存建築物モデルを構築することができた。まず、約35年間に設計された既存の超高層RC造建築物約500棟を対象として、その設計データから設計時期における構造特性を分析した。その分析結果に基づき、既存建築物モデルは計画通り3つの年代に分けて構築した。第1年代は1989年まで、第2年代は1990年から1999年まで、第3年代は2000年以降とした。既存建築物モデルには、研究調査及び設計実績に基づき、各年代における使用材料、骨組形状、固有周期及び設計用地震力などの構造特性を反映して骨組形状や部材の復元力特性を設定した。



(a) 棟数と設計時期



(b) 3年代別の棟数

図1 既存超高層RC造と3年代の棟数

(2) (A1) で構築した骨組モデルは3つの設計年代における使用材料、骨組形状、固有周期及び設計用地震力などの構造特性を反映して骨組形状や部材の復元力特性を設定することができた。基本モデルとして、3つの設計年代ごとに高さの異なる建築物を3体ずつ設定し、X, Y 方向別に骨組モデルを設定した。このほか、各年代の設計用ベースシア係数の分析結果に基づいて梁の曲げ耐力を増減させた強モデル及び弱モデルなど適宜検討モデルを設定した。

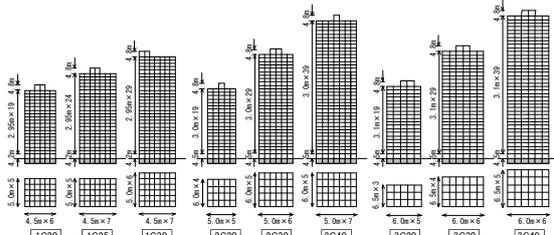
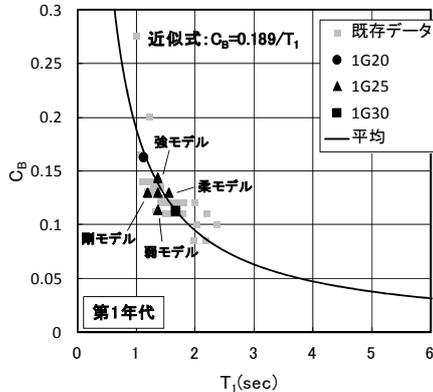
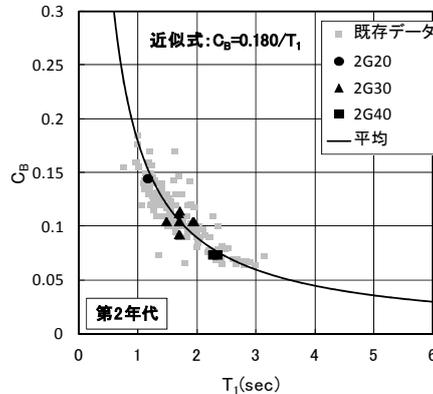


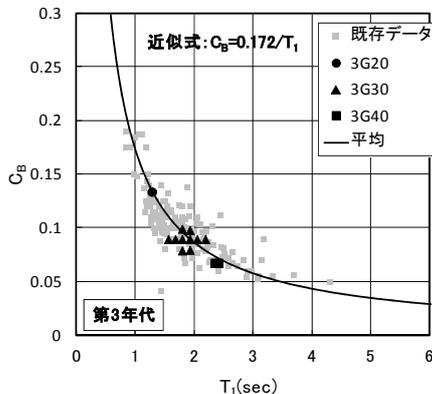
図2 年代別の既存建築物モデルの例



(a) 第1年代



(b) 第2年代



(c) 第3年代

図3 年代別の既存建築物モデルと既存データの設計用ベースシア係数の対応例

(3) (A1) で構築した既存建築物モデルについて骨組モデルを用いた既往波などによる地震応答解析を実施し、解析結果を各年代の既存超高層 RC 造の設計データと比較対応することにより、その妥当性を検証することができた。

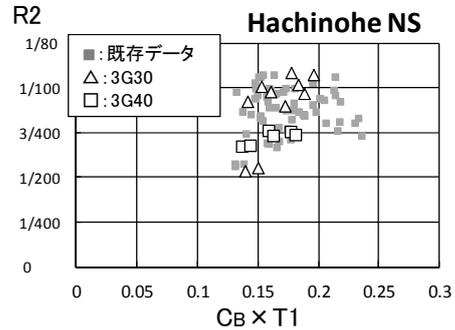


図4 第3年代既存建築物モデルと既存データの最大層間変形角の対応例 (Hachinohe NS 波の応答値)

(4) (A2) では、骨組モデルに対して地震動の強さ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、保有耐震性能指標を評価することができた。解析対象は、部材の弾塑性性状を適切にモデル化した既存超高層 RC 造建築物の骨組モデルとした。基本モデルと検討モデルの立体フレームモデルを用いて非線形地震応答解析を行い、保有耐震性能指標は各限界状態に相当する限界地震動の基準地震動に対する強さの比率として定量的に評価できた。その際、限界地震動の強さは、既存建築物の限界変形 (部材の塑性率) を生じさせる地震動の強さとした。

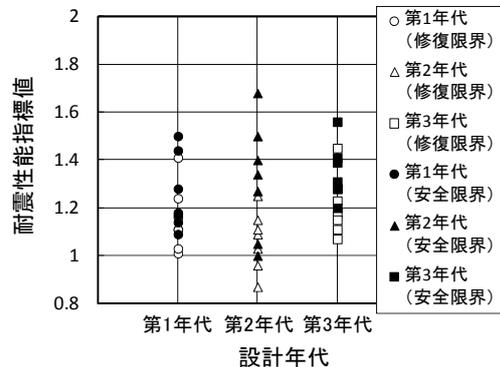


図5 各年代の既存建築物モデルの保有耐震性能指標

(5) (A2) で算定した3年代の保有耐震性能指標について構造特性 (建物高さ、固有周期 T_1 、塔状比、設計用ベースシア係数 C_B 、 $C_B \times T_1$ 等) との関係について分析して、その分布傾向を示すことができた。さらに、保有耐震性能指標と地震応答値 (最大層間変形角、梁最

大塑性率等)との関係について分析して、その分布傾向を示すことができた。

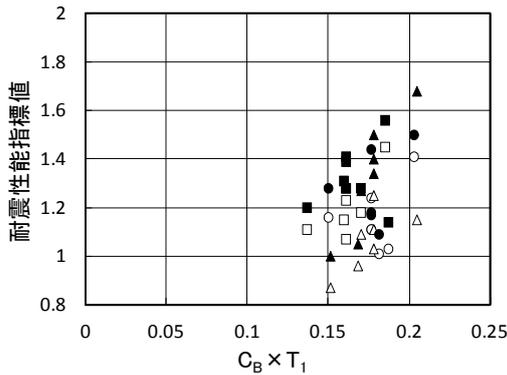


図6 既存建築物モデルの保有耐震性能指標と $C_B \times T_1$ の関係

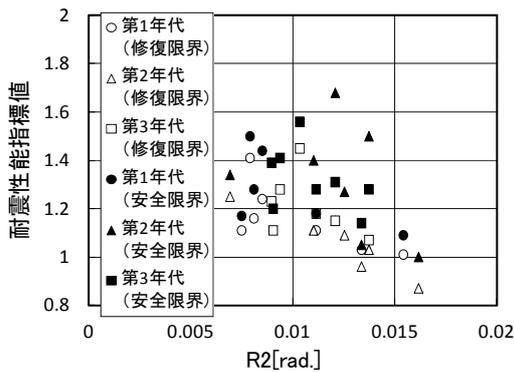


図7 既存建築物モデルの保有耐震性能指標と最大層間変形角 (BCJ-L2 入力時)

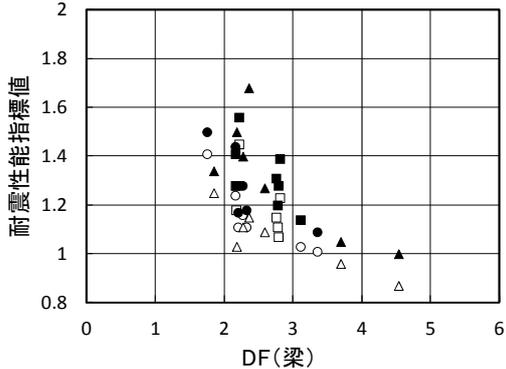


図8 既存建築物モデルの保有耐震性能指標と梁最大塑性率 (BCJ-L2 入力時)

(6) (B1) では、既存建築物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することができた。制振デバイスには、低降伏点鋼を用いた履歴系デバイス及びオイルダンパーを用いた粘性系デバイスを用いた。制振補強量は、制振部材の種類を2種類、各層に設置する個数を3種類設定した。

(7) (B2) では、上記の制振デバイスを付与した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た。地震応答解析は、

基準地震動に倍率を乗じた検討用地震動を用いたパラメトリック解析を行い、修復限界指標及び安全限界指標を算定した。補強量の異なる制振デバイスの付与により、既存建築物モデルに比べて既存補強モデルの修復限界指標及び安全限界指標がどの程度増大したのか、その比率を算定した。その結果から、修復限界状態及び安全限界状態の保有耐震性能指標値について、制振デバイスの累積エネルギー吸収率に対する各指標値の増大比率を示すことができた。これらの制振補強では、安全限界指標より修復限界指標において補強効果が大きい傾向が見られた。

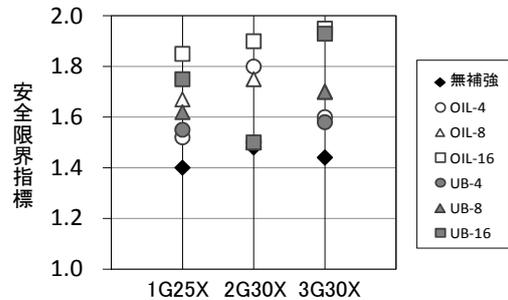
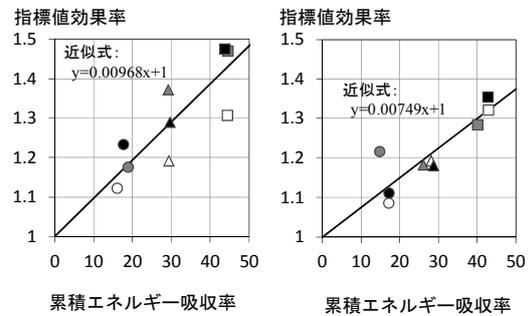


図9 既存建築物モデルと制振補強モデルの安全限界指標



(a) 修復限界指標 (b) 安全限界指標
図10 粘性ダンパーの制振補強効果

(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、既存データの調査分析及び設計実績に基づいた独創的な手法により既存建築物モデルを構築することができた。さらに、既存建築物モデルの保有耐震性能を評価し、耐震対策の重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、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 6 件)

- ① N. Izumi, T. Akita, M. Yasui,
K. Arai and K. Sugasawa, STRUCTURAL

CHARACTERISTICS OF EXISTING HIGH-RISE RC BUILDINGS IN JAPAN, 15TH WCEE PROCEEDINGS, Abstract 査読有, 2012, No. 597

- ② T. Akita, N. Izumi, M. Yasui, M. Kawamura and M. Sakamoto, SEISMIC RESPONSE OF FRAMED MODEL FOR HIGH-RISE RC BUILDINGS IN JAPAN 15TH WCEE PROCEEDINGS, Abstract 査読有, 2012, No. 1791
- ③ 菅澤和真, 五百位壮, 秋田知芳, 和泉信之, 既存超高層 RC 造建築物の保有耐震性能に関する簡易終局指標値, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 34, No. 2, 2012, pp. 859-864
- ④ 秋田知芳, 栗本耕太郎, 石塚圭介, 和泉信之, 既存超高層 RC 造建築物の保有耐震性能評価に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 34, No. 2, 2012, pp. 853-858
- ⑤ 秋田知芳, 五百井壮, 江田拓也, 栗本耕太郎, 和泉信之, 既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の構造特性と骨組モデル, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 33, No. 2, 2011, pp. 925-930
- ⑥ 秋田知芳, 五百井壮, 江田拓也, 栗本耕太郎, 和泉信之, 既存超高層 RC 造建築物の構造計画と耐震設計値, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, アブストラクト 査読有, Proc. of 13JEES, 2010, pp. 3081-3086

[学会発表] (計 14 件)

- ① 石塚圭介, 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法, 日本地震工学会, 2012年11月9日, 大会会場 (東京都・代々木オリンピック青少年センター)
- ② 秋田知芳, 和泉信之ほか, SEISMIC RESPONSE OF FRAMED MODEL FOR HIGH-RISE RC BUILDINGS IN JAPAN, 15TH WCEE, 2012年9月28日, ポルトガル・リスボン市
- ③ 和泉信之, 秋田知芳ほか, STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF EXISTING HIGH-RISE RC BUILDINGS IN JAPAN, 15TH WCEE, 2012年9月25日, ポルトガル・リスボン市
- ④ 石塚圭介, 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 1), 日本建築学会, 2012年9月13日, 大会会場 (名古屋市・名古屋大学)
- ⑤ 秋田知芳, 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 1), 日本建築学会, 2012年9

月 12 日, 大会会場 (名古屋市・名古屋大学)

- ⑥ 菅澤和真, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の保有耐震性能に関する簡易終局指標値, 日本コンクリート工学会, 2012年7月4日, 年次大会会場 (広島市・広島国際会議場)
- ⑦ 秋田知芳, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の保有耐震性能評価に関する基礎的検討, 日本コンクリート工学会, 2012年7月4日, 年次大会会場 (広島市・広島国際会議場)
- ⑧ 安井真理子, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の骨組モデルと耐震設計値, 日本地震工学会, 2011年11月11日, 大会会場 (東京都・代々木オリンピック青少年センター)
- ⑨ 安井真理子, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の構造特性に関する研究 (その 3), 日本建築学会, 2011年8月24日, 大会会場 (東京都・早稲田大学)
- ⑩ 栗本耕太郎, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の構造特性に関する研究 (その 4), 日本建築学会, 2011年8月24日, 大会会場 (東京都・早稲田大学)
- ⑪ 秋田知芳, 和泉信之ほか, 既存超高層鉄筋コンクリート造建築物の構造特性と骨組モデル, 日本コンクリート工学会, 2011年7月13日, 年次大会会場 (大阪市・大阪国際会議場)
- ⑫ 秋田知芳, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の構造計画と耐震設計値, 日本地震工学会, 2010年11月20日, 日本地震工学シンポジウム (つくば市)
- ⑬ 五百井壮, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の構造特性に関する研究 (その 1), 日本建築学会, 2010年9月10日, 大会会場 (富山市・富山大学)
- ⑭ 江田拓也, 和泉信之ほか, 既存超高層 RC 造建築物の構造特性に関する研究 (その 1), 日本建築学会, 2010年9月10日, 大会会場 (富山市・富山大学)

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

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)