

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 5月20日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360219

研究課題名（和文） ロッキング制振建築構造システムの応用と展開

研究課題名（英文） Development and Application of Seismically Response-control Structural Systems for Buildings Exploiting Rocking Vibration

研究代表者

緑川 光正（MIDORIKAWA MITSUMASA）

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90126285

研究成果の概要（和文）：柱の浮き上がりを伴うロッキング構造システムは、重力による鉛直荷重を活用して地震応答低減を図る。浮き上がりに伴って降伏するベースプレート柱脚部に設置した架構を対象として、今まで地震応答低減効果を明らかにすると同時に課題も指摘してきている。本研究では、本構造システムの応用と展開を図ることを目的として、未だ解明されていない捩れ応答特性の解明、柱脚部浮き上がり架構の課題を克服するための新たな構造システムの提案、耐震設計に関する提言を行う。

研究成果の概要（英文）：The steel frames with uplift column-bases are implemented as response-control structural systems that reduce the seismic effects by exploiting the gravity effect generally deteriorating the seismic performance of ordinary structures. The reduction effect on the seismic response of the base-plate-yielding (BPY) rocking systems with columns allowed to uplift has been evaluated and examined. The advantages and disadvantages of the systems have also been discussed. This study presents the seismic response characteristics with emphasis on the torsional behavior of the BPY systems and proposes the advanced rocking systems resolving the disadvantage of the BPY systems towards developing and applying widely the rocking structural systems. Finally, some suggestions and recommendations are made on the seismic design of the rocking systems.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 4,700,000 | 1,410,000 | 6,110,000 |
| 2011年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 2012年度 | 4,200,000 | 1,260,000 | 5,460,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 13,400,000 | 4,020,000 | 17,420,000 |

研究分野：建築耐震構造、鋼構造、建築振動

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：建築構造、制振、ロッキング、地震応答低減、耐震設計

1. 研究開始当初の背景

建築構造物に要求される基本性能の一つは鉛直荷重を支持することである。ちなみに、建物重量の位置エネルギーは地震入力エネ

ルギーに比べて遙かに大きく、地震動により建物が損傷を受けて鉛直荷重支持能力を失うと、その位置エネルギーが解放されることで建物の損傷が著しく進行することが指摘

されている。このように、鉛直荷重は一般に建物の耐震性能を損なうものと考えられている。一方、過去の地震被害調査等から、地震動を受けた建物がロッキング振動に伴う基礎浮き上がりにより地震被害が軽減される場合があるとの指摘があり、鉛直荷重が建物の耐震性能に正の効果をもたらす場合があることを示唆している。これまでに提案している浮き上がりに伴って降伏するベースプレート（以下、BPY）を柱脚部に設置したロッキング構造システムは、鉛直荷重を正の効果として活用することにより、簡易で安価な方法で地震応答低減を図るものである。

建物の浮き上がりに関する研究は古くから現在まで様々な観点から論じられており、その地震応答特性が次第に明らかにされている。また、建物程度の規模になると転倒に必要なポテンシャルエネルギーが大きくなるために転倒が起こり難くなることも指摘されている。これらの知見に基づいて、様々な浮き上がりを伴うロッキング構造システムに関する研究が行われている。

以上の背景の下、BPYを有するロッキング架構について、地震応答低減効果や平面及び立体架構の地震時挙動を実験と解析により明らかにしてきた。すなわち、最下層柱脚部を浮き上がらせるBPYロッキング構造システムは実際規模の鉄骨造架構に適用可能なこと、地震応答低減によって耐震性能の向上を図れることを明らかにするとともに、BPYを有する縮小模型立体架構の3次元振動台実験を行い、その地震時3次元挙動を実験により初めて検証した。また、3次元振動台実験でBPY架構の偏心の有無による振れ応答を比較したところ、入力レベルが増加しても偏心の有無による差は拡がらずにほぼ一定となる結果が得られたが、その力学機構は未だ解明されていない。さらに、本構造システムの課題として、柱脚部の回転に対する固定度減少に伴って最下層層間変位が柱脚固定の場合よりも増加することが挙げられる。

2. 研究の目的

BPYロッキング構造システムに関する今までの研究成果に基づき、未解明の特性を明らかにし、かつBPY架構の課題を解決するための新たなロッキング構造システムを提案し、解析及び実験によりロッキング構造システムの応用と展開を図る。すなわち、(1)偏心を有するBPY架構において地震動入力レベルが増加しても振れ変形が抑制されるという振れ応答特性とその力学機構の解明、(2)BPY架構では柱脚部の回転に対する固定度減少に伴って最下層層間変位が柱脚固定の場合よりも増加する場合があるという課題に対して、最下層層間変位を抑制できる新たなロッキング構造システムの提案とその

地震時挙動の解明、(3)自重を復元力として活用するBPY架構に対して自重を活用できない架構に対応可能な新たなロッキング構造システムの提案とその地震時挙動の解明、(4)ロッキング構造システムの非構造部材の必要耐震性能の検討を行う。

3. 研究の方法

本研究では次の4つの課題について研究を行い、最終的に耐震設計に関する提言をまとめる。

(1)BPY架構に関する今までの研究において未解明の振れ応答特性、すなわち、偏心を有するBPY架構において地震動入力レベルが増加しても振れ応答が抑制される場合があるという応答特性の力学機構を過去に実施した実験結果を分析しつつ解析により検討する。(2)BPY架構では柱脚部の回転に対する固定度減少に伴って最下層層間変位が柱脚固定の場合よりも増加するという課題を解決するために、最下層の柱中間部に浮き上がりを許容する（以下、CMU）機構を設けた新たなロッキング構造システムの地震時挙動を解析により検討するとともに、CMU機構の力学特性を実験により把握する。(3)自重を復元力として活用するBPY架構に対して自重を活用できない架構に対応可能な新たなロッキング構造システムとして、自重の代わりに張力材（PTワイヤー）で初期鉛直張力を導入して架構を初期位置に復元させる新たな構造システムの地震時挙動を日米共同研究として実施した実験結果の分析をまじえながら解析により検討する。(4)ロッキング構造システムの実用化に際して必要となる非構造部材の耐震性能を検討し、その必要性能をまとめる。

4. 研究成果

(1)偏心を有するBPY（柱脚浮き上がりに伴うベースプレート降伏）ロッキング架構における振れ応答特性と力学機構の評価

先行研究で実施した3次元振動台実験の鉄骨造3層縮小模型BPYロッキング架構を対象とし、地震動入力レベルと振れ応答の関係に着目して偏心率を変数とした3次元地震応答解析を行い、その振れ応答特性及びエネルギー応答特性と力学機構を評価した。その結果、以下の知見を得た。

①BPY架構では浮き上がりに伴い応答周期が延びることにより、入力地震動のエネルギースペクトルの増減に応じて、FIX架構よりも総入力エネルギーがY方向で約430%、X方向で約80%になる。また、運動エネルギーはBPY架構がFIX架構に比べて、Y方向で約130%になり、それ以外では30%程度小さくなる。②地震動鉛直成分入力は総入力エネルギーには殆ど影響しない。一方、鉛直方向

応答に関する BPY 架構位置エネルギーを 10% 程度、BPY 履歴吸収エネルギーを 10-20% 程増加させる。③総入力エネルギーは、水平 1 方向入力のみと水平 2 方向同時入力の結果が概ね等しくなるが、その他のエネルギーでは等しくならない。④偏心有無モデルを比較すると、総入力エネルギーと運動エネルギーはほぼ同じであるが、BPY 架構位置エネルギーと BPY 履歴吸収エネルギーの最大値は偏心有モデルの方が約 15% 増加する。⑤各層の最大層間揺れ角は、入力地震動レベルの増加につれて、FIX 架構は各層で概ね一様に増加するが BPY 架構は他層に比べ 1 層がやや卓越する。⑥BPY 架構の揺れ応答に関して、地震動鉛直成分入力の影響はあまり大きくない。⑦解析結果において、FIX 架構に対する BPY 架構の 1 層の最大層間揺れ角の比は入力レベルの増加に従って増加するが、その増加傾向は入力地震動によって異なる。一方、偏心率の増加に対してはいずれの地震動においても減少傾向を示す。⑧BPY 架構の浮き上がり時の揺れ応答には比較的長周期の成分が含まれ、入力レベルが大きくなるほどそれが顕著になる。

(2)CMU (柱中間部浮き上がり許容) 機構を持つロック構造システムの地震応答特性の評価

BPY ロッキング架構では柱脚浮き上がりにより架構の剛体回転が生じて上部構造自体の変形が抑制されるため、最大層間変形角は柱脚固定架構よりも概ね小さくなる。しかし、BPY 架構は柱脚部回転固定度が小さいため最下層の層間変位角は柱脚固定架構より増大する場合がある。この課題を解決するため、最下層柱中間部に CMU 機構を持つロック構造システムの地震応答特性を評価すると同時に、試作した CMU 機構とそこに併設する鋼材ハニカムダンパーを有する縮小模型柱試験体の静加力実験を行い、その基本力学特性を把握した。その結果、以下の知見を得た。

①CMU 架構は、上部構造が浮き上がることで FIX 架構に比べて応答周期が伸びる。②CMU 架構は FIX 架構に比べて上部構造の変形を抑制し、ベースシア係数が低減する。また、CMU 架構最下層の最大層間変形角は BPY 架構に比べて低減する。③CMU 架構の履歴は旗形に加えて高次振動成分を含んだ形状を呈し、FIX 架構に比べて CMU 架構は転倒モーメントが頭打ちとなる。④頂部水平変位角と浮き上がり変位角は共にダンパー剛性比 $\kappa=0.08$ (κ : ダンパー軸方向剛性/1 層柱軸方向剛性) 程度までは κ が大きくなるにつれて減少するが、 $\kappa=0.08$ 以上になると減少傾向は頭打ちとなる。上部構造の最大頂部変形角は κ の影響をあまり受けず概ね一定の値

となる。また、頂部水平変位角と浮き上がり変位角はダンパー耐力比 β (β : ダンパー降伏耐力/最下層柱の常時軸力) が大きくなるに従って減少し、上部構造の変形角は $\beta=0.3$ で最小となる。⑤普通鋼ダンパー (SGH400) は载荷初期では耐力が大きいためエネルギー吸収能力が高いが、塑性変形性能に乏しい。一方、低降伏点鋼ダンパー (SPCE) は最大耐力が SGH400 よりも小さいが、载荷が繰り返された後も破断せずにハニカム鋼板が変形するため耐力の低下が小さい。⑥漸増変位振幅繰返し载荷では、SGH400 より SPCE の方が最大耐力時の累積塑性変形量が大きい。一定変位振幅繰返し载荷では、最大耐力時には両者に大きな差は見られないが、耐力の低下に従い、累積塑性変形倍率は、SGH400 は殆ど増加しないのに対して SPCE は大きく増加する。

(3)初期鉛直張力による自己復元機構を持つロック構造システムの地震応答特性の評価

自重を復元力として活用する BPY 架構に対して自重を活用できない架構に対応するために、自重の代わりに張力材 (PT ワイヤ) で初期鉛直張力を導入して架構を初期位置に復元させる制御型ロック架構を対象として地震応答解析を行い、その適用範囲と応答特性を評価した。この構造システムは、耐震要素以外の架構の梁端がウェブボルト接合による単純接合部で負担床面積が小さくて自重が少ない米国に多く見られる耐震要素架構の場合に、自己復元機能を有効に付与できるもので、我国でも自重が少ない架構の場合には有効な構造システムである。その結果、以下の知見を得た。

①簡易解析モデルから得られる地震応答は、骨組解析モデルにより得られる高次振動成分を含まないが、簡易解析モデルで制御型ロック架構の地震応答を概ね再現できることを確認した。②PT ワイヤが降伏しない範囲では、最大頂部水平変位が最も低減する最適耐力比 ($\beta=1$, β : $2 \times$ ダンパー降伏時水平せん断力/系全体の降伏水平せん断力) が存在し、最適耐力比では、最大頂部水平変位は最大約 40~50% 低減する。なお、PT ワイヤが降伏するか耐力比 β が 1.5 を超えると、ほとんどの解析ケースで一般の鉄骨造建物の修復限界とされる 0.5% 以上の残留層間変位角が生じるが、本架構では躯体の残留変位ではないため、張力を再導入又は弾塑性ダンパーを取り替えることで残留変位の除去が可能である。③剛性比 κ (κ : 弾塑性ダンパーの初期剛性/架構の初期剛性) が増加するに従い、最大頂部水平変位は、降伏せん断力係数 $C_y=0.3, 0.4$ の場合は減少し、 $\kappa=0.5$ に比べて $\kappa=5$ では 40~60% 低減する。降伏せん断力係数 C_y

=0.1, 0.2 の場合は、剛性比 κ によらずほぼ一定となる。また、最大ベースシア係数は剛性比 κ によらずほぼ一定となることから、本解析範囲における最適剛性比 κ は 5 となる。④旗形履歴を描く制御型ロッキング架構の地震応答には、通常のバイリニア弾塑性系の応答特性と同様の変位一定則が当てはまることを確認した。従って、最大ベースシア係数が最小となる二次剛性比 $\alpha=0$, PT ワイヤー長さ $L_{PT} = (3 \times \text{頂部高さ})$ が、本解析範囲における最適値となる。⑤入力レベルが大きい場合($PGV=0.5, 0.75, 1.0(m/s)$), 降伏せん断力係数 C_Y が大きくなるに従って、頂部水平変位比は一定もしくは減少するが、PT ワイヤーは降伏しやすくなる。

(4) ロッキング構造システムの非構造部材の耐震性能の評価

ロッキング構造システムの実用化に際しては、建物下層部で生じる浮き上がりのために、内外装材などの非構造部材や免震構造と同様に設備配管等の変形追従性能を検討する必要がある。本研究で行った様々なロッキング構造システムの地震応答解析結果を参照して、地震応答時の最下層部浮き上がり変位に対する非構造部材・設備配管等の変形追従性能をどの程度に設定するべきかを評価した。

(5) 上記(1)から(4)の成果を総括してロッキング制振建築構造システムの耐震設計に関する提言をまとめた。

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 8 件)

- ① 大友啓徳, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 制御型ロッキング架構におけるエネルギー吸収部材の最適強度比, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 59B, pp. 255-262, 2013 年 3 月.
- ② Gregory Deierlein, Xiang Ma, Matthew Eatherton, Jerome Hajjar, Toru Takeuchi, Kazuhiko Kasai and Mitsumasa Midorikawa, Earthquake resilient steel braced frames with controlled rocking and energy dissipating fuses, Steel Construction, 査読有, vol.1, No.3, 2011, pp. 171-175, DOI: 10.1002/stco.201110023
- ③ 大友啓徳, 緑川光正, 竹内徹, 山本洋介, 麻里哲広, エネルギー吸収部材を有する制御型ロッキング架構の地震応答評価, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 19 巻, 2011 年, pp. 469-474

- ④ 成尾渉, 長谷川達也, 緑川光正, 石原直, 小豆畑達哉, 柱脚浮き上がりを許容した 1 軸偏心鉄骨造架構の地震応答, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 19 巻, 2011 年, pp. 461-468
- ⑤ 竹内徹, 山本洋介, 緑川光正, ほか 5 名, 座掘拘束ブレースを用いた制御型ロッキング架構の応答評価—汎用慣性質量装置を用いた鉄骨造ロッキング架構の振動台実験 その 2—, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 76 巻 667 号, 2011 年, pp. 1695-1704, DOI: 10.3130/aijs.76.1695
- ⑥ 石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正, 均一せん断棒で模擬された多層建築物の浮き上がり挙動に対する回転慣性の影響—アスペクト比の小さい建築物への浮き上がりの活用, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 76 巻 667 号, 2011 年 pp. 1601-1610, DOI: 10.3130/aijs.76.1601
- ⑦ 緑川光正, 竹内徹, 引野剛, 笠井和彦, ほか 4 名, せん断パネル及び張力材を有するロッキング架構の耐震性能—汎用慣性質量装置を用いた鉄骨造ロッキング架構の震動台実験 その 1—, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 75 巻, 654 号, 2010 年, pp. 1547-1556, DOI: 10.3130/aijs.75.1547
- ⑧ 緑川光正, 長谷川達也, 石原直, 小豆畑達哉, 麻里哲広, ロッキング架構に用いる浮き上がり降伏ベースプレートの履歴特性と塑性変形能力, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 75 巻, 654 号, 2010 年, pp. 1159-1166, DOI: 10.3130/aijs.75.1159

[学会発表] (計 23 件)

- ① Ishihar, T., Azuhata, T. and Midorikawa, M., Modal Analysis of Dynamic Behavior of Buildings Allowed to Uplift at Mid-story, Proc. 15th World Conference on Earthquake Engineering, September, 2012, Lisbon, Portugal, Paper ID: 4635, Lisbon Congress Center
- ② Azuhata, T., Ishihara, T. and Midorikawa, M., Multi-dimensional Earthquake Response of Self-centering Building Structural System Using Uplift Mechanism, Proc. 15th World Conference on Earthquake Engineering, September, 2012, Lisbon, Portugal, Paper ID: 1960, Lisbon Congress Center
- ③ 成尾渉, 緑川光正, 岡崎太一郎, 松本博樹, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 最下層柱中間部浮き上がりを許容した鉄骨造架構の履歴特性と地震応答(その 2)地震応答解析結果 日本建築学会大会学術講演演梗概集, 2012. 9, C-1 構造 III, pp.

- 951-952, 名古屋大学 (愛知県)
- ④ 松本博樹, 緑川光正, 岡崎太一郎, 成尾涉, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 最下層柱中間部浮き上がりを許容した鉄骨造架構の履歴特性と地震応答(その1)簡易解析モデルによる履歴特性及び地震応答解析概要 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012. 9, C-1 構造 III, pp. 949-950, 名古屋大学 (愛知県)
- ⑤ 大友啓徳, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 制御型ロッキング架構の地震応答評価—エネルギー吸収部材と張力材の強度比の影響— 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012. 9, C-1 構造 III, pp. 947-948, 名古屋大学 (愛知県)
- ⑥ 石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正, 浮き上がり地震応答における回転慣性の影響に関する模型振動台実験 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012. 9, B-2 構造 II, pp. 1085-1086, 名古屋大学 (愛知県)
- ⑦ 大友啓徳, 緑川光正, 竹内徹, 山本洋介, 麻里哲広, 制御型ロッキング架構の地震応答評価 その3 (E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その76), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1147-1148, 2011. 8, 早稲田大学 (東京都)
- ⑧ 竹内徹, 緑川光正, 笠井和彦, ほか3名, 制御型ロッキング架構の地震応答評価 その2 (E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その75), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1145-1146, 2011. 8, 早稲田大学 (東京都)
- ⑨ 多田尊紀, 竹内徹, 緑川光正, ほか3名, 制御型ロッキング架構の地震応答評価 その1 (E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その74), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1143-1144, 2011. 8, 早稲田大学 (東京都)
- ⑩ 長谷川達也, 成尾涉, 緑川光正, 石原直, 小豆畑達哉, 麻里哲広, 柱脚浮き上がりを許容した1軸偏心鉄骨造架構の地震応答エネルギー及び振れ応答評価 その3 振れ応答と偏心率の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 837-838, 2011. 8, 早稲田大学 (東京都)
- ⑪ 緑川光正, 長谷川達也, 成尾涉, 石原直, 小豆畑達哉, 麻里哲広, 柱脚浮き上がりを許容した1軸偏心鉄骨造架構の地震応答エネルギー及び振れ応答評価 その2 3次元応答解析概要と振れ応答実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 835-836, 2011. 8, 早稲田大学 (東京都)
- ⑫ 成尾涉, 長谷川達也, 緑川光正, 石原直, 小豆畑達哉, 麻里哲広, 柱脚浮き上がりを許容した1軸偏心鉄骨造架構の地震応答エネルギー及び振れ応答評価 その1 実験概要と応答エネルギー評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 833-834, 2011. 8, 早稲田大学 (東京都)
- ⑬ Deierlein, G., Ma, X., Eatherton, M., Hajjar, J., Krawinkler, H., Takeuchi, T., Kasai, K. and Midorikawa, M., Earthquake Resilient Steel Braced Frames with Controlled Rocking and Energy Dissipating Fuses, 6th European Conference on Steel and Composite Structures (EUROSTEEL2011), August, 2011, Budapest Univ. of Tech. and Economics, (Budapest, Hungary)
- ⑭ Takeuchi, T., Midorikawa, M., Kasai, K., et al., Shaking Table Test of Controlled Rocking Frames Using Multipurpose Test Bed, 6th European Conference on Steel and Composite Structures (EUROSTEEL2011), August, 2011, Budapest Univ. of Tech. and Economics, (Budapest, Hungary,)
- ⑮ 草刈崇圭, 長谷川達也, 緑川光正, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 柱脚浮き上がりを許容した鉄骨造架構の3次元振動台実験による地震応答エネルギー評価 その2 柱脚浮き上がり架構のエネルギー応答と柱脚着地時の衝撃の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1169-1170, 2010. 9, 福井大学 (福井県)
- ⑯ 長谷川達也, 草刈崇圭, 緑川光正, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 柱脚浮き上がりを許容した鉄骨造架構の3次元振動台実験による地震応答エネルギー評価 その1 実験概要と柱脚固定架構のエネルギー応答, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 1167-1168, 2010. 9, 福井大学 (福井県)
- ⑰ 緑川光正, 山崎僚平, 竹内徹, ほか3名, せん断パネル及び張力材を有するロッキング架構の耐震性能 その4—E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その58—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 805-806, 2010. 9, 福井大学 (福井県)
- ⑱ 山崎僚平, 緑川光正, 竹内徹, ほか4名, せん断パネル及び張力材を有するロッキング架構の耐震性能 その3—E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その57—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 803-804, 2010. 9, 福井大学 (福井県)
- ⑲ 山本洋介, 大林優, 緑川光正, ほか3名, せん断パネル及び張力材を有するロッキング架構の耐震性能 その2—E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その56—, 日

本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 801-802, 2010.9, 福井大学 (福井県)

- ⑳ 竹内徹, 大林優, 緑川光正, ほか 3 名, せん断パネル及び張力材を有するロッキング架構の耐震性能 その 1—E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その 55—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp. 799-800, 2010.9, 福井大学 (福井県)
- ㉑ 石原直, 小豆畑達哉, 小松豊, 緑川光正, 中間層浮き上がり構造の地震応答に関する模型振動台実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2 構造 II, pp. 37-38, 2010.9, 福井大学 (福井県)
- ㉒ Ma, X., Deierlein, G., Eatherton, M., Krawinkler, H., Hajjar, J., Takeuchi, T., Kasai, K., Midorikawa, M. and Hikino, T., Large-scale Shaking Table Test of Steel Braced Frame with Controlled Rocking and Energy Dissipating Fuses, 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, July, 2010, Toronto, Ontario, Canada, Westin Harbour Castle Hotel
- ㉓ Midorikawa, M., Ishihara, T., Azuhata, T., T., Takai, S., Kanagawa, M., Hori, H., Kusakari, T. and Asari, T., Three-dimensional Shaking Table Tests on Three-story Reduced-scale Steel Rocking Frames, 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, July, 2010, Toronto, Ontario, Canada, Westin Harbour Castle Hotel

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :

取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

緑川 光正 (MIDORIKAWA MITSUMASA)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号 : 90126285

(2) 研究分担者

麻里 哲広 (ASARI TETSUHIRO)
北海道大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号 : 90250472

(3) 連携研究者

小豆畑 達也 (AZUHATA TATSUYA)
国土技術政策総合研究所・建築研究部・室長
研究者番号 : 00251629

石原 直 (ISHIHARA TADASHI)
独立行政法人建築研究所・建築生産研究グループ・主任研究官
研究者番号 : 50370747

岡崎 太一郎 (OKAZAKI TAICHIRO)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号 : 20414964