

平成22年 5月17日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360244
 研究課題名（和文）転倒モーメント制御による鉄骨造制振構造システムの耐震設計法の構築

研究課題名（英文）Development of Seismic Design Method for Response-control Structural Systems of Steel Frames under Overturning-moment Control

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：柱脚浮き上がりを許容することで転倒モーメントを制御する鉄骨造制振構造システムは、一般に耐震性能を損なう要因となる鉛直荷重を逆に活用して地震応答低減を図ろうとするものである。柱脚部に用いる浮き上がり降伏するベースプレートの塑性変形能力の評価、本システムを多スパン骨組・筋違付骨組に適用する場合の地震応答特性の解明、柱脚部浮き上がり時の地震時立体挙動の把握、エネルギー応答評価などを行い、本システムの耐震設計の基本を構築した。

研究成果の概要（英文）：One of the advantages of response-control structural systems of steel frames with uplift column-bases under overturning moment control is that the seismic response of the systems is reduced by making use of vertical loads generally deteriorating the seismic performance of ordinary structures. Evaluated and examined are the plastic deformation capacity of column bases with uplift-yielding base plates, the seismic response characteristics of the systems such as multi-span and braced frames, the three-dimensional seismic behavior of the systems, and seismic energy response of the systems. The fundamental seismic design method of the systems is established through summarizing the results of this study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総計	15,500,000	4,650,000	20,150,000

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・材料，鋼構造，制振構造，転倒モーメント，浮き上がり，耐震設計

1. 研究開始当初の背景

被害地震の強震動記録を基礎固定の建物モデルに入力すると、建物の塑性変形あるい

は必要耐力が過大になり、実際に建物が受けた被害を説明できないことがしばしば報告されている。この一因として、強震動記録が

必ずしもその建物の建設地点で記録されていないため、強震動記録の観測地点と地盤条件等が異なることが考えられる。

その一方で、過去の地震被害調査等から、地震時に建物がロッキング振動により浮き上がりを生じることによって、その地震被害が軽減される場合があることが指摘されている。この知見に基づいて、地震時にロッキング振動による建物の浮き上がりを意図的に許容することにより、地震被害軽減を図ろうとする構造方法が提案されている。既往の研究で明らかにされているように、建物に浮き上がりを許容すると、浮き上がり時に建物への地震入力エネルギーの一部がその位置エネルギーと上下方向の運動エネルギーに置換されるため、上部架構自体の水平方向変形に伴う歪エネルギーが低減され、その結果、建物の被害が軽減される。これを別な観点からみると、浮き上がりに伴って建物の転倒モーメントが頭打ちになるとともに、建物全体の剛体回転変位成分が増大し、上部架構自体の変形成分は減少することになる。この点は、縮小模型実験によっても確認されている。

他方、建物に浮き上がりを許容する場合には、建物全体の水平変位が増大し、入力地震動が極めて大きい場合には転倒する恐れがあるのではないかと懸念が指摘されることがある。即ち、墓石や家具の転倒と同様に、建物の浮き上がりは転倒に至る一過程ではないかという考えである。しかしながら、建物程度の大きさ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ので転倒は起こり難くなることが既往の研究で明らかにされている。ちなみに、建物が倒壊しないで転倒に至るためには、その耐力がある程度高い必要があると考えられる。

以上の背景の下、転倒モーメント制御によるロッキング制振構造システムに関する基礎研究および耐震性能評価を行ってきた。その結果、最下層柱脚部を浮き上がらせる本構造システムは、実際規模の鉄骨造架構に適用可能であり、地震応答ベースシアを低減させる効果によって耐震性能の向上を図ることができることを明らかにした。しかし、現状では、本構造システムを実際の設計に適用するために不可欠となる耐震設計法が確立される段階には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、新たに提案された制振構造システムである「転倒モーメント制御による鉄骨造制振構造システム」の耐震設計の基本を構築する。そのために、今までの研究で明確にされていない点に焦点を当てた研究を行う。即ち、本構造システムで重要な役割を担う浮き上がり降伏するベースプレートの終局限界変形性能の評価、本構造システムを多

スパン架構・筋違付架構に適用する場合の地震応答特性の評価、柱脚部浮き上がり立体架構の地震時挙動の把握、架構のエネルギー応答の評価などを行い、これらの結果を総合して本構造システムの耐震設計法を構築する。

3. 研究の方法

以下の各項目について研究を行う。(1)本構造システムに用いる浮き上がり降伏するベースプレートの大型試験体静加力実験を行い、これまでの実験結果と合わせてその履歴特性をモデル化するとともに、その終局限界変形性能を実験結果に基づいて評価する。また、降伏型ベースプレートの設計法を提示する。(2)本構造システムを多スパンラーメン架構・筋違付架構に適用した場合の応答低減効果を2次元骨組解析により評価する。その際、柱脚部が浮き上がるスパンと浮き上がらないスパンが混在する多スパン架構のスパン相互の変形適合の程度を評価し、それらの相互作用を把握する。また、これまでの研究によると、浮き上がり架構は上下動の影響を殆ど受けないという解析例が示されているが、解析対象架構についても地震応答における上下動の影響を検討する。(3)柱脚部浮き上がり時の立体架構の地震時挙動を3次元骨組解析により把握する。また、これまでの研究によると、浮き上がり架構は上下動の影響を殆ど受けないという解析例が示されているが、立体架構についても地震応答における上下動の影響を検討する。(4)上記(2)と(3)で対象とする架構のエネルギー応答を評価し、本構造システムにおいて上部構造の歪エネルギーがどの程度低減されるのかを明らかにする。(5)上記(1)から(4)の結果を縮小模型振動台実験によって検証し、最終的に本構造システムの耐震設計法を構築する。なお、これらの研究と並行して、(6)海外共同研究者との協力による制御型ロッキング架構の大規模振動台実験を行う。

4. 研究成果

(1)降伏型ベースプレートの変形性能評価及び設計法

本構造システムに用いる浮き上がり降伏ベースプレート大型試験体の静加力実験を行い、このベースプレートを組み込んだ柱脚部の履歴特性を検討し、その力学特性の簡易評価法を提案するとともに塑性変形能力を評価した。その結果、以下の知見を得た。①降伏ベースプレートのウィング部を簡易な剛棒モデルとして算定した試験体の力学特性値は実験値と概ね対応する。これにより、設計の基本となる力学特性値を評価することが可能になった。②降伏ベースプレートのウィング部にハンチを設けることでウィング端部に損傷が集中せず、ハンチ無しの場合

合より大きな累積塑性変形能力を見込むことができる。その際、吸収エネルギー量により評価した累積塑性変形倍率は最大で700程度となり、座屈拘束ブレースと同程度の塑性変形性能を有している。③降伏ベースプレートウィング端部のハンチ形状によって塑性化の範囲と程度が変わり、塑性化の範囲が大きいハンチ幅が小さい試験体の方が予想通りの大きな塑性変形能力を発揮する。④降伏ベースプレートの累積塑性変形倍率は、最大耐力時で評価すると鋼材SS400に比べSN400Bの方が大きい、最大耐力後の耐力低下領域ではその大小関係は逆転する。⑤降伏ベースプレートウィング端部のハンチの有無やハンチ形状の変化でウィング面の歪集中の箇所に相違が生じるが、何れの試験体においても、歪の最大値はウィング外端部裏面の幅方向両端部で生じる。また、ウィング部長さ方向中央部での歪はほぼ弾性状態に留まる。

(2) 多スパン骨組・筋違付骨組の地震応答特性評価（エネルギー応答評価を含む）

2次元骨組解析に先立ち、降伏ベースプレートを有する建築物を対象とした簡易な解析モデルを用いて、本構造システムの基本的な地震応答性状を検討するとともに、等価粘性減衰定数を評価し、以下の知見を得た。①基礎固定モデルよりも浮き上がりモデルのベースシア係数が低減するのは、極短周期側と長周期側を除いた固有周期の或る範囲であり、低減の程度と周期範囲は、構造物のアスペクト比や浮き上がり耐力比、そして入力地震動レベルによって影響を受ける。②水平動入力のみの場合、浮き上がりモデルでは、水平方向のみの総入力エネルギーから位置エネルギーを減じたものが、構造物に加わる総入力エネルギーに一致する。即ち、ロッキング振動に伴って浮き上がりを生じている間、構造物に加わる総入力エネルギーは位置エネルギーの変動分だけ低減されることが、本解析でも検証された。ただし、地震動終了時の総入力エネルギーは、地動加速度により質点に作用する慣性力と質点の相対変位の水平方向成分のみから算出した場合でも、水平・上下方向全ての成分を考慮した場合でも同じである。③浮き上がりモデルでは、水平変位、水平速度、層せん断力などの水平方向の最大応答値は、地震動の上下動成分の影響を殆ど受けない。一方、上下方向の最大浮き上がり変位は、上下動成分の影響を受け、水平動と上下動が同時に入力した場合、その最大値は、水平動のみが入力した場合に比べて平均値で約10%増加する。④浮き上がりモデルのエネルギーの釣り合いに基づく等価減衰定数は、静的履歴に基づくものに比べると、アスペクト比と浮き上がり耐力比の影響を受け難く、比較的安定している。簡易な解析

でロッキング構造システムの地震応答を推定する際には、エネルギーの釣り合いに基づく値と静的履歴に基づく値を適切に評価して等価減衰定数を設定することが望ましい。⑤浮き上がりモデルの静的解析から得られる履歴では旗型の履歴を描くのに対して、地震応答解析により得られる履歴では静的解析による履歴に高次振動成分が加わった形状を呈する。また、浮き上がり耐力比が大きいほど、アスペクト比が小さいほど、層数が少ないほど、転倒モーメント比の最大値が増加する傾向を示す。

次に、既往の仮動的地震応答実験で用いられた偏心筋違付鉄骨造実大6層建物を対象として2次元骨組解析による地震応答解析を行い、実験された基礎固定建物と筋違付スパン最下層柱脚部のみの浮き上がりを許容した建物の解析モデルにおける応答を比較することにより、部分的に柱脚部浮き上がりを許容した偏心筋違付鉄骨架構の弾塑性地震応答性状を考察し、以下の知見を得た。

①1952Taft NSと1995JMA Kobe NSの最大地動速度と最大頂部変位の関係において、地動速度によらず、浮き上がり(BPY)モデルの方が浮き上がり柱脚の回転剛性が下がるために基礎固定(FIX)モデルよりも頂部変位は大きくなる。②TaftとKobeの最大地動速度と最大ベースシア係数の関係において、ベースシア係数は、地動速度によらずBPYモデルの方がFIXモデルよりも小さくなる。また、BPYモデルでは、地動速度90(cm/s)前後でベースシア係数の増加が頭打ちとなる傾向を示す。このことは、実大試験体の終局限界状態を2階シアリンクが限界変形角に達する時(ベースシア係数で0.920)とすると、FIXモデルよりもBPYモデルの方が、2階シアリンクの限界変形角に達する時の地動速度が大きいことを示している。③TaftとKobeの90(cm/s)入力時の最大層間変形角の高さ方向分布において、BPYモデルでは、FIXモデルに比べて層間変形角が高さ方向に一樣になる傾向を示す。これは浮き上がり部分から上の筋違構面が剛体的にロッキング変形をするためだと考えられる。しかし、剛体回転成分を含む筋違構面の変位が大きくなる影響を受けて層間変形角がかなり大きくなってしまふことに注意する必要がある。④TaftとKobeの90(cm/s)入力時の建物最下部の転倒モーメントと頂部変位の関係において、FIXモデルでは安定した紡錘形の履歴挙動を示すのに対して、BPYモデルでは転倒モーメントが大きく変動する履歴挙動を示す。これは、BPYモデルでは浮き上がり振動中に基礎固定時とは異なる高次モード振動を生じるためと考えられる。⑤TaftとKobeの90(cm/s)入力時のエネルギー応答時刻歴において、FIXモデルでは、シアリンクが履歴吸収エネルギー

の大部分を占め、柱と梁の履歴吸収エネルギーは全体の1割程度である。一方、BPYモデルでは、シアリンクの履歴吸収エネルギーは減少し、柱と梁の履歴吸収エネルギーは増加するが、ベースプレートの履歴吸収エネルギーが全体の2~3割を占め、浮き上がり降伏するベースプレートにある程度の履歴エネルギー吸収が期待できることを示している。

⑥TaftとKobeの90(cm/s)入力時の部材の累積塑性回転角を見ると、FIXモデルはBPYモデルに比べてシアリンクに塑性変形が集中する。一方、BPYモデルでは、シアリンクへの塑性化の集中が減る代わりに、全層にわたって塑性化が広がる。特に、筋違付スパンに接続する梁では、柱脚部の浮き上がりに伴い部材角が生じて塑性化の程度が大きくなるため、部分的に柱脚部浮き上がりを許容する構造では注意する必要がある。

⑦ベースプレート降伏耐力と柱脚部最大浮き上がり変位の関係において、BPY50%（数値は常時荷重時柱軸方向力に対するベースプレート浮き上がり降伏耐力の比の百分率）以下になると、ベースプレート降伏耐力が低下するにつれて浮き上がり変位が増大していく傾向を示す。

⑧ベースプレート降伏耐力と最大頂部水平変位の関係において、BPY50%以上では最大頂部水平変位はFIXモデルにほぼ等しく、BPY50%以下では、ベースプレート降伏耐力の低下とともに増大していく傾向を示す。

⑨ベースプレート降伏耐力と最大ベースシア係数の関係において、BPY50%以下になると、ベースプレート降伏耐力が低下するにつれて最大ベースシア係数が小さくなる傾向がやや強くなり、地震動の入力レベルによるベースシア係数の差も小さくなる傾向がある。

⑩各部材の累積塑性回転角において、ベースプレート降伏耐力が小さくなるほどシアリンク及びBPY以外の部材の塑性化が著しくなる。また、BPYモデルでは、FIXモデルに比べて部材の累積塑性変形角が高さ方向に一樣に分散される傾向を示す。これは浮き上がり部分である筋違スパンが剛体的にロッキング変形するためと考えられる。

⑪ベースプレート降伏耐力が小さくなるほど総入力エネルギーは減少するものの、ベースプレート自体が負担する履歴吸収エネルギーも減少し、他の部材が負担する履歴吸収エネルギーが増加してしまうので、適切なベースプレート降伏耐力の設定が必要である。

⑫ベースプレート降伏耐力がある程度以上の場合には、動的解析による層せん断力が静的解析による層せん断力を下回る傾向を示すが、ベースプレート降伏耐力が小さい場合には逆の傾向になる。部分的に柱脚部浮き上がりを許容したBPYモデルでも、ベースプレート降伏耐力が小さい場合には、基礎固定時と異なる高次モード振動が生じる可能性が示唆される。

(3) 柱脚部浮き上がり時の立体架構の地震時挙動の把握

浮き上がりに伴って降伏するベースプレートを最下層柱脚部に組み込んだ10層鉄骨架構を対象とし、柱脚固定(FIX)モデルと最下層柱脚部に降伏ベースプレートを組み込んだ降伏ベースプレート(BPY)モデルの2種類の立体架構モデルについて、水平1方向(1成分地震動)、水平2方向同時(2成分地震動)、水平・上下3方向同時(3成分地震動)の地震動を入力した場合の3次元有限要素法による弾塑性地震応答解析を行い、その応答性状を検討した。その結果、以下の知見を得た。

①柱脚部に浮き上がり降伏ベースプレートを組み込むことで、2成分地震動、3成分地震動を入力した場合においても、平面架構と同様に、立体架構のベースシアと基部転倒モーメントが頭打ちとなる傾向を示す。また、BPYモデルの地震応答解析結果は、水平1方向載荷時の静的荷重増分解析結果と良く一致する。

②平面架構と同様に、立体架構の最大層せん断力は全層にわたってBPYモデルの方がFIXモデルよりも小さくなる。

③柱脚部浮き上がりによって架構の剛体回転成分が生じることで上部構造自体の変形が抑制されるため、3層以上の最大層間変形角は、BPYモデルの方がFIXモデルよりも概ね小さくなる。しかし、BPYモデルでは、柱脚部の回転に対する固定度が小さくなるため、最下層の層間変形角はFIXモデルよりも増大する。柱脚部浮き上がり構造の設計に際しては、この点に配慮する必要がある。

④1成分地震動、2成分地震動、3成分地震動入力時の全ての場合において、BPYモデルの最大応答値は、FIXモデルに比べると、平均で、頂部水平変位は10%程度増加し、ベースシア係数は25-30%程度、頂部水平加速度は10%減少する。

⑤BPYモデルにおいて、頂部水平変位、頂部水平加速度、ベースシアなどの水平方向の最大応答値には、地震動の上下動成分は殆ど影響しない。一方、柱脚部の最大浮き上がり変位は、地震動の上下動成分の影響を受けて平均で15%程度増加する。また、2成分地震動、3成分地震動入力時における屋上階の最大捩れ回転角を見ると、FIXモデルに比べてBPYモデルの方がかなり大きな捩れ応答を生じており、柱脚部浮き上がり構造の設計の際にはこの点に留意する必要がある。

⑥FIXモデルでは、短辺、長辺方向ともに2~8階の梁端が降伏するのに対して、BPYモデルでは、梁端の降伏範囲が減少するものの、上記③に係り、2階梁端に塑性変形が集中する。

(4) 転倒モーメント制御制振システムの縮小模型振動台実験による検証

3層鉄骨造縮小模型架構を用いて、浮き上

がり降伏するベースプレート(BPY)を1層柱脚部に組み込んだ試験体と1層柱脚部を固定した試験体の2種類の偏心無モデル,及びそれらに偏心を持たせた2種類の偏心有モデル,計4種類の試験体について3次元振動台実験を実施し,水平1方向(1成分地震動),水平2方向同時(2成分地震動),水平・上下3方向同時(3成分地震動)の地震動を入力した場合の弾塑性応答性状に関する比較検討を行い,それらの地震時立体挙動について考察した。その結果,以下の知見を得た。

①浮き上がりモデル(BPY及びBPYASモデル)に対する地震動入力方向次数の影響を検討した結果,柱脚部の最大浮き上がり変位は3方向入力でも大きく,次いで2方向,1方向の順になる。また,頂部水平変位やベースシア係数などの水平方向の最大応答は,入力方向次数による影響を殆ど受けない。②浮き上がりモデルと柱脚固定モデル(FIX及びFIXASモデル)の最大応答値を比較した結果,浮き上がりモデルのベースシア係数は,入力の増大に伴って頭打ちとなる傾向を示し,偏心の有無に拘わらず柱脚固定モデルよりも小さくなり,浮き上がりモデル短辺方向では,柱脚固定モデルよりも15~20%程度減少する。また,屋上床振れ角は,浮き上がりモデルの方が柱脚固定モデルより3~4倍大きくなる。③浮き上がりモデルであるBPY及びBPYASモデルの最大屋上床振れ角,最大浮き上がり変位及び最大剛体回転角を比較すると,入力レベルが増加しても両者の差は拡がらず,ほぼ一定かむしろ減少する。④柱脚固定モデルの最大屋上床振れ角は,入力レベルの大きさによらず偏心無より偏心有の方が40%程度大きくなる。一方,浮き上がりモデルでは,偏心無でも柱脚固定の場合より大きな屋上床振れ角を生じることになるが,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。⑤偏心無であるBPYモデルの最大層間変形角は,浮き上がりによる剛体回転成分を除くと,各層でFIXモデルと同程度かそれ以下になる。また,剛体回転による変位が上部架構全体の変位に占める割合は入力レベルが大きくなるに従って増加する。⑥部材の最大応答値を比較すると,BPYモデルの1層の最大柱軸方向力はFIXモデル以下であり,特にBPYモデルの引張柱軸方向力はBPYが浮き上がり降伏するために頭打ちが顕著となる。⑦柱脚部の浮き上がり力と浮き上がり変位の関係は,多方向地震動入力を受ける場合であっても,既往の1方向載荷による静加力実験結果と同様な履歴を描く。

(5)転倒モーメント制御による制振構造システムの耐震設計法の構築

上記(1)から(4)の成果を総合して本構造システムの耐震設計の基本を構築した。

(6)海外共同研究者との協力による制御型ロッキング架構の大型振動台実験

エネルギー吸収部材(ヒューズ)及び張力材(PTワイヤ)付きロッキング架構(制御型ロッキング架構)に対する大規模振動台実験を実施し,提案した制御型ロッキング架構の地震動入力下における応答性状を検証し,実験結果を数値解析と比較しながら分析・評価した。その結果,制御型ロッキング架構はほぼ想定通りの動的挙動を示すこと,即ち,PTワイヤにヒューズの降伏耐力以上の初期張力を導入することで,架構に復元力を与え,大地震動後にも残留変形を生じさせない架構が実現できることが確認された。また,以上の応答性状は簡単な平面骨組解析モデルで概ね再現できることを示した。これにより,転倒モーメント制御による制振構造システムが有効に機能することが実証され,国内外での今後の応用と展開が期待される。

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16件)

(1) 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, 652号, 2010

(2) 緑川光正, 佐々木大輔, 麻里哲広: 柱脚浮き上りを許容した10層鉄骨造架構の3次元地震応答における降伏ベースプレートの応力状態と架構の変形状態, 構造工学論文集, 査読有, Vol.56B, 411-417, 2010

(3) 緑川光正, 草刈崇圭, 石原直, 麻里哲広, 小豆畑達哉: 簡易解析モデルによるロッキング構造システムの地震応答性状と等価減衰定数の評価, 構造工学論文集, 査読有, Vol.56B, 237-245, 2010

(4) 緑川光正, 堀泰健, 石原直, 小豆畑達哉, 草刈崇圭, 麻里哲広: ベースプレート降伏により柱脚浮き上りを許容した鉄骨造縮小模型架構の3次元振動台地震応答実験, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 75巻, 647号, 213-221, 2010

(5) 麻里哲広, 長谷川達也, 緑川光正, 小豆畑達哉, 石原直: ハンチ付浮き上がり降伏ベースプレートの履歴特性と累積塑性変形性能, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 17巻, 121-126, 2009

(6) 石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正: 1層1軸偏心構造物の地震時浮き上がり挙動に関する基礎実験, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 17巻, 115-120, 2009

(7) 石原直, 緑川光正, 小豆畑達哉: 均一せ

ん断棒による多層建築物の浮き上がりモード特性と自由振動, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 74 巻, 640 号, 1055-1061, 2009

(8) 緑川光正, 堀泰健, 麻里哲広: 部分的に柱浮き上がりを許容した偏心筋違付鉄骨架構の地震応答 ベースプレートの浮き上がり耐力が応答に及ぼす影響, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 55B, 527-535, 2009

(9) 緑川光正, 須藤智文, 麻里哲広, 小豆畑達哉, 石原直: ベースプレート降伏により柱脚浮き上がりを許容した 10 層鉄骨架構の 3 次元地震応答, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 74 巻, 第 637 号, 495-502, 2009

(10) 緑川光正, 豊巻真悟, 堀泰健, 麻里哲広, 小豆畑達哉, 石原直: 部分的に柱浮き上がりを許容した偏心筋違付鉄骨架構の地震応答, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 54B, 535-545, 2008

(11) 須藤智文, 石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正: 浮き上がり降伏型ベースプレートの履歴特性と累積塑性変形性能, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 15 巻, 493-498, 2007

(12) 石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正: 1 層 1 軸偏心 2×2 構面弾性モデルの浮き上がり 2 次元解析, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 15 巻, 489-492, 2007

(13) 鈴木琢也, 石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正: 柱浮き上がり架構の地震応答に対する降伏型ベースプレートの効果, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 15 巻, 481-488, 2007

(14) Azuhata, T., Ishihara, T. and Midorikawa, M.: Effect of impulsive force on earthquake response of rocking structural systems, ERES VI, 査読有, 459-468, Bologna, 2007

(15) Ishihara, T., Azuhata, T., Noguchi, K., Morita, K. and Midorikawa, M.: Shaking table test on seismic response of reduced-scale models of multi-story buildings allowed to uplift, ERES VI, 査読有, 175-184, Bologna, 2007

(16) Midorikawa, M., Azuhata, T. and Ishihara, T.: Seismic response three-dimensional analyses of ten-story steel frames with column uplift, ERES VI, 査読有, 165-174, Bologna, 2007

[学会発表] (計 7 件)

(1) Midorikawa, M., Ishihara, T., Azuhata, T., Asari, T., Hori, H. and Kusakari, T.: Seismic behavior of steel rocking frames by three-dimensional shaking table tests," Joint Conference Proc. 7CUEE and 5ICEE, pp.1085-1090, Tokyo, 2010

(2) Deierlein, G. G., Ma, X., Hajjar, J. F., Eatherton, M., Krawinkler, H., Takeuchi, T., Midorikawa, M., Hikino, T. and Kasai,

K.: Seismic resilience of self-centering steel braced frames with replaceable energy-dissipating fuses - Part II: E-defense shake table test, Joint Conference Proc. 7CUEE and 5ICEE, pp.1079-1084, Tokyo, 2010

(3) Midorikawa, M., Ishihara, T., Azuhata, T., Hori, H., Kusakari, T. and Asari, T.: Three-dimensional shaking table tests on seismic response of reduced-scale steel rocking frames, Proc. of 3AESE, San Francisco, 2009

(4) Midorikawa, M., Toyomaki, S., Hori, H., Asari, T., Azuhata, T. and Ishihara, T.: Seismic response of six-story eccentrically braced steel frames with columns partially allowed to uplift, Proc. 14WCEE, Paper ID:S17-03-006, 2008

(5) Ishihara, T., Midorikawa, M. and Azuhata, T.: Modal analysis of uplifting behavior of buildings modeled as uniform shear-beam, Proc. 14WCEE, Paper ID:05-06-0116, Beijing, 2008

(6) Azuhata, T., Midorikawa, M. and Ishihara, T.: Earthquake damage reduction of buildings by self-centering systems using rocking mechanism, Proc. 14WCEE, Paper ID:05-06-0156, Beijing, 2008

(7) Azuhata, T., Ishihara, T. and Midorikawa, M.: Coupled vibration control system for slender buildings constructed closely in urban area, Proc. SPIE, Vol. 6529, 65293A-1-8, San Diego, 2007

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

小豆畑 達哉 (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

(H20: 連携研究者)

石原 直 (ISHIHARA TADASHI)
国土技術政策総合研究所・建築研究部・主任研究官

研究者番号: 50370747

(H20: 連携研究者)

麻里 哲広 (ASARI TETSUHIRO)
北海道大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 90250472

(3) 連携研究者