

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24年6月25日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560607

研究課題名（和文） 浮き上がり活用型制振架構形式の展開に関する基礎研究

研究課題名（英文） Basic Study on Development of Response Controlled System with Uplift Mechanism

研究代表者

石原 直 (ISHIHARA TADASHI)

独立行政法人建築研究所・国際地震工学センター・主任研究員

研究者番号：50370747

研究成果の概要（和文）： 研究代表者らは基部で浮き上がりを許容した架構を対象に検討を行ってきたが、適用しやすい形状等に制約があった。本研究では「浮き上がり活用型制振架構」の適用範囲を拡大するべく、浮き上がり位置を高さ方向に調整した場合や、比較的ずんぐりとした建築物に適用した場合、また多スパンに適用した場合について、解析や振動台実験を通じてそれらの基礎的な振動特性と負荷低減効果を明らかにした。

研究成果の概要（英文）： To utilize the seismic-force reduction effect due to uplift to a wider range of buildings, three types of response controlled systems are investigated in this study. Those systems are (1) Systems allowed to uplift at mid-story, (2) Systems allowed to uplift with narrower span of column/support than the width, and (3) Systems with multi spans. For (1) and (2), analytical study is done using uniform shear-beam model to clarify those vibration characteristics and dynamic behaviors. Then shaking table tests are conducted to investigate the seismic responses and reduction effect by uplift motion. For (3), a self-centering structural system is proposed and seismic response analysis is carried out to investigate the multi-dimensional responses using an application example. The results show the distinctive higher-mode vibration and reduction effect due to uplift in those systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	0	1,500,000
2010年度	1,400,000	0	1,400,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	210,000	3,810,000

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：浮き上がり、架構形式、中間層、回転慣性、均一せん断棒、モード解析、振動台実験、地震応答解析

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、自重を復元力として活用しながら簡易かつ安価に地震時の負荷を低減させることを目的として、浮き上がり（片

足立ち）を積極的に許容した建築構造の研究をここ数年続けてきた。基部又は脚部で浮き上がりを許容した架構を対象に低減効果や動的挙動のメカニズムを明らかにしてきた

が、適用しやすい形状はスレンダーなもの、すなわち幅に対する高さの比（アスペクト比）が大きいものに限られること等の制約があった。自重を復元力として活用する「浮き上がり活用型制振架構」の適用範囲を拡大するためには、新たな架構形式の提案とその振動特性等の検討が必要と考えられた。

2. 研究の目的

本研究では浮き上がり活用型制振架構の適用範囲を拡大すべく、次の3つの架構形式を取り上げた（図1参照）。

- (i) “中間層”浮き上がり架構
- (ii) “広幅”浮き上がり架構
- (iii) “多スパン”浮き上がり架構

(i)及び(ii)は主に短辺方向が1スパンである場合を想定している。(i)はアスペクト比が比較的大きな構造に対して、浮き上がり機構の位置に設計上の自由度を持たせて、中間層において浮き上がりを許容することにより、建築物の上部のみが倒立振子機構となるものである。免震構造に中間層免震があるように、建築計画に柔軟に対応することを意図している。(ii)はアスペクト比が比較的小さい構造に対して、柱スパンや杭の支持スパンを意図的に狭めることにより浮き上がりを発生しやすくしたものである。(iii)は多スパン架構に浮き上がりを活用するための架構形式として提案するものである。

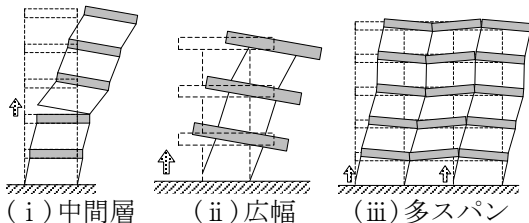


図1 3種の浮き上がり活用型架構

3. 研究の方法

(i)及び(ii)については、まずは均一せん断棒によるモデル化に基づいた解析的検討を行い、基礎的な振動特性等を明らかにした。その上で試験体を検討し、解析的検討により得られた特性を実験的に確かめるとともに、振動台実験により地震応答特性を把握した。

(iii)については、具体的な適用例を検討した上で、地震応答解析により地震時の負荷低減効果や多次元挙動の特徴を把握した。

4. 研究成果

本研究で得られた主な成果を示す。

(1) “中間層”浮き上がり架構

<主な成果>

① 解析的検討

図2に示すようなモデルを対象として、浮き上がり状態での固有値解析を行い、モード

形状等の振動特性を把握した（図3）。また浮き上がり中の動的挙動を検討し、ベースシア係数等の応答に対して高次モードが強く影響を及ぼすこと（図4）や、浮き上がり位置が上にあるほど下層部ではせん断力が増して上層部では低減することなどの特性を明らかにした（図5）。

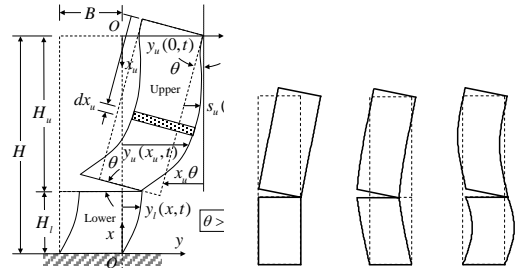


図2 対象モデル 図3 モード(1~3次)

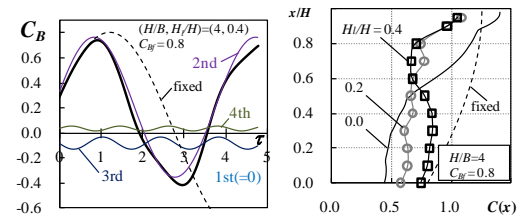


図4 ベースシア係数時刻歴 図5 層せん断力係数(最大値)

② 実験的検討

写真1に示すような2層と3層の間に浮き上がり機構のある6層の試験体を用いて、地震波を入力とした振動台実験を実施した。浮き上がり機構直上の3層で顕著な応答低減が見られ、入力が大きくなると下部や上部で応答が大きくなり、層せん断力係数は「く」の字の分布形状となることなどを明らかにした（図6）。

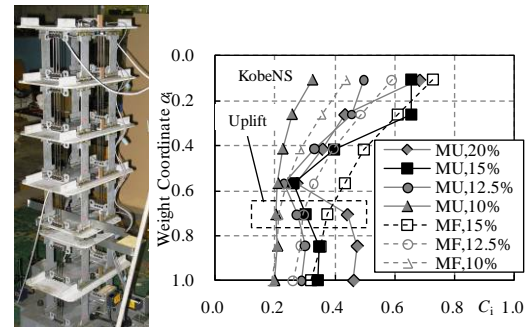


写真1 試験体 図6 層せん断力係数 (MU: 浮き許容, MF: 浮き拘束)

<成果の位置付け、今後の展望>

中間層で浮き上がりを生じる建築構造の動的挙動の基礎的な特性について検討した例は他になく、新規性のある成果であり、構造設計に資する基礎的な技術資料と位置付けられる。また振動台実験による検証を踏まえることで、一定の信頼性を確保している。

今後の課題としては、浮き上がり機構の具体的な仕様の提案、着地時の衝撃に対する下部の柱の設計方法、などが挙げられる。

(2) “広幅”浮き上がり架構

<主な成果>

① 解析的検討

梁等の部分的な変形・振動は無視し、特に浮き上がり挙動に対する回転慣性の影響に着目して、図7に示すモデルを対象とした検討を実施した。固有値解析からモード特性を把握した上で(図8)動的挙動を検討し、支点の間隔を狭めることによる負荷低減と変位増大の程度などを定量的に明らかにした(図9)。その結果、アスペクト比が2程度でも支点間隔を狭めることにより負荷を大きく低減しうることを明らかにするとともに、頂部水平変位等に影響するパラメータを特定した。

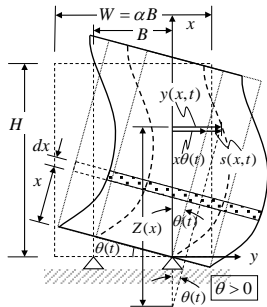


図7 対象モデル

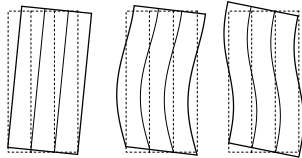


図8 モード(1~3次。アスペクト比は2。)

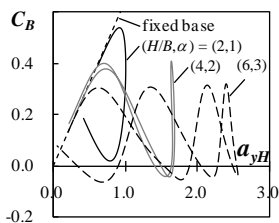


図9 ベース係数-頂部水平変位関係 (アスペクト比は2)

② 実験的検討

写真2に示すような2種の試験体を用いて地震波を入力とした振動台実験を実施した。回転慣性の大きい試験体(WU)と小さい試験体(NU)とは重量・剛性等が同じで、回転慣性の比はWU/NU=2.7倍である。図10に示すように層せん断力係数はWUの方が若干上回ったが、両者で大きな違いは見られなかった。この結果から、回転慣性の影響は小さいと言

え、ずんぐりした建築物に対しても浮き上がりによる負荷低減効果を十分に活用しうることを示した。

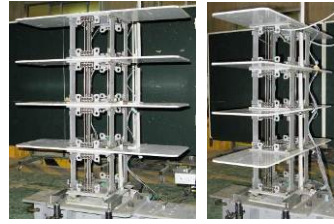


写真2 試験体(左:WU, 右:NU)

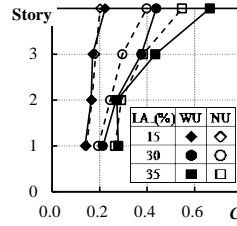


図10 層せん断力係数(最大値)

<成果の位置付け、今後の展望>

支持スパン等を意図的に狭めることにより、アスペクト比の比較的大きい建築構造に対しても浮き上がりによる負荷低減効果を活用しうることは事例によって検討されていたが、その一般的な振動特性や低減効果を定量的に把握したものは他になく、浮き上がり活用型架構の適用可能範囲を拡大し、明確化した点に新規性と技術的価値があると考えられる。

今後の課題としては、浮き上がり機構と上部構造の具体的な仕様の検討、などがある。

(3) “多スパン”浮き上がり架構

<主な成果>

10層3×1スパンの鉄骨造ラーメン構造(Fモデル)について、1階中間部に浮き上がり機構を挿入するとともに、中間スパンの梁の両端をピン接合とした架構(Rモデル)を適用例として取り上げた(図11)。Fモデルに大きな損傷(塑性化)が生じる変形領域に達してもRモデルは構造部材が弾性に留まることを静的解析(Pushover解析)により確認した。また3次元地震応答解析を行い、多スパン方向においても浮き上がりによる負荷低減効果が得られることを確認した(図12)。合わせて、1方向入力と3方向入力における応答を比較検討した。

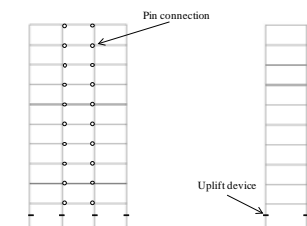
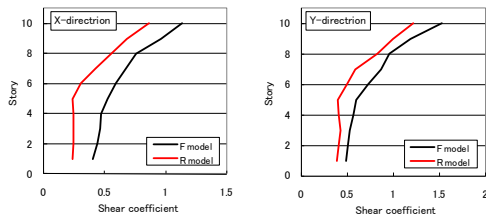


図11 Rモデル概要



(a)多スパン方向 (b)1スパン方向
図12 層せん断力係数(最大値)

<成果の位置付け、今後の展望>

適用例により多スパンにも有効な架構形式を提案するとともに、地震応答解析によって負荷低減効果等を明らかにしており、浮き上がり活用型架構の新たな形式としての可能性を示した。

今後の課題としては、浮き上がり機構等の仕様の詳細に関する検討、各種パラメータに対する低減効果の定量的評価、などがある。

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27件)

- ① T. Ishihara, T. Azuhata and M. Midorikawa : Modal Analysis of Dynamic Behavior of Buildings Allowed to Uplift at Mid-story, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, 査読無、2012 (掲載予定)
- ② T. Azuhata, T. Ishihara and M. Midorikawa : Multi-dimensional Earthquake Response of Self-Centering Building Structural System Using Uplift Mechanism, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, 査読無、2012 (掲載予定)
- ③ 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、査読無、2012 (掲載予定)
- ④ 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、第76巻、第667号、2011、1601-1610
- ⑤ 石原直、緑川光正、小豆畑達哉 : 中間層で浮き上がりが許容された多層建築物のモード解析、第60回理論応用力学講演会講演論文集、査読無、2011、0S12-7
- ⑥ 石原直 : 有効質量テンソルとその意義、第60回理論応用力学講演会講演論文集、査読無、2011、0S12-3
- ⑦ 石原直、小松豊、緑川光正、小豆畑達哉 :

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、査読無、2010、37-38

- ⑧ T. Ishihara, T. Azuhata and M. Midorikawa : Effect of Rotational Inertia on Dynamic Uplifting Behavior of Buildings Modeled as Uniform Shear-Beam, Proceedings of the 14th European Conference on Earthquake Engineering, 査読無、2010, Paper ID 801
- ⑨ 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、第17巻、2009、115-120

[学会発表] (計24件)

- ① 石原直、[雑誌論文] ①、15WCEE、2012年9月、ポルトガル・リスボン (発表予定)
- ② 小豆畑達哉、[雑誌論文] ②、15WCEE、2012年9月、ポルトガル・リスボン (発表予定)
- ③ 石原直、[雑誌論文] ③、日本建築学会大会、2012年9月、名古屋大学 (発表予定)
- ④ 石原直、[雑誌論文] ⑤、理論応用力学講演会、2011年3月8日、東京工業大学
- ⑤ 石原直、[雑誌論文] ⑥、理論応用力学講演会、2011年3月8日、東京工業大学
- ⑥ 小松豊、[雑誌論文] ⑦、日本建築学会大会、2010年9月、富山大学
- ⑦ 石原直、[雑誌論文] ⑧、14ECEE、2010年9月2日、マケドニア・オフリド
- ⑧ 石原直、[雑誌論文] ⑨、鋼構造シンポジウム、2009年11月、東京ファッションタウン

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原 直 (ISHIHARA TADASHI)

独立行政法人建築研究所・国際地震工学センター・主任研究員

研究者番号 : 5 0 3 7 0 7 4 7

(2) 研究分担者

小豆畑 達哉 (AZUHATA TATSUYA)

国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究部・室長

研究者番号 : 0 0 2 5 1 6 2 9

(3) 連携研究者

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 : 9 0 1 2 6 2 8 5