

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 21 日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560707

研究課題名(和文) 浮き上がり許容建築構造の地震時損傷低減効果と必要耐力に関する基礎研究

研究課題名(英文) Fundamental study on damage reduction effect and required strength in buildings allowed to uplift

研究代表者

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・主任研究員

研究者番号：50370747

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：現実的に多い中程度の塔状比を主対象として、浮き上がり許容構造の上部構造に損傷を被る場合の振動特性や損傷低減のメカニズムについて理論・実験・数値解析によって検討した。その結果から損傷低減の程度を定量的に評価するとともに、基部固定に比べて損傷を大きく低減するためには、浮き上がり開始レベルに対して多少割り増した耐力を確保すればよいことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Structures allowed to uplift can reduce seismic forces in comparison with fixed ones. However, relatively high strength is required to avoid any damage due to higher modes' vibrations. Even if structures are allowed not only to uplift but also to go into elasto-plastic range, ductility demand may be reduced by potential energy in uplift motion. In this study, dynamic elasto-plastic behaviors accompanied by uplift are investigated by analysis and shaking table test. As a result, it is clarified that allowing uplift can reduce damage of structures. Required strength to avoid serious damage is a little bit higher than that of initiation of uplift.

研究分野：建築構造

キーワード：構造工学・地震工学 制震 浮き上がり 損傷低減 振動台実験

1. 研究開始当初の背景

浮き上がり許容建築構造は地震入力エネルギーの一部を位置エネルギーに変換することで簡易かつ安価に地震時負荷低減効果を得ようとするものであり、研究代表者らは上部構造を弾性に留めることを目標として解析的・実験的な検討を実施していた。その結果から現実的な耐力をもつ中程度の塔状比(幅に対する高さの比)の建築物では、浮き上がりを許容したとしても損傷(塑性化)を被る可能性が高いことが明らかになっていた。一方で、損傷を被るとしても、浮き上がりによって損傷の程度が軽減される可能性も考えられた。損傷を考慮した研究例はあるが、塔状比等のパラメータの影響等は必ずしも明らかにされていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究では現実的に多い中程度の塔状比を主対象として浮き上がり後に上部構造に損傷を被る場合について検討し、過度の損傷を避けるために浮き上がり許容建築構造に設定すべき適切な耐力、すなわち必要耐力を塔状比等のパラメータに応じて整理することで、基礎的な技術資料としてとりまとめることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では大別して1層モデルと多層モデルを対象とした検討を行う。研究方法として、1層モデルは理論的研究と実験的研究とし、多層モデルは数値解析的研究とする。1層モデルの理論的研究では定式化から始めて現象の考察と理解に重点を置きつつ動的挙動の特性の把握を行い、耐力と損傷の程度との関係を明らかにする。実験的研究では、理論的な検討を踏まえ、1層の試験体を作成し、振動台実験を実施する。多層モデルは、地震応答解析によって耐力と損傷の程度との関係を求めるとともに、高さ方向の損傷分布についても考察する。最後に、以上の検討結果を踏まえた必要耐力についてまとめる。

4. 研究成果

(1) 1層モデルを対象とした理論的検討

図1に示す1層モデルを対象として浮き上がりによる損傷等の抑制効果を検討した。

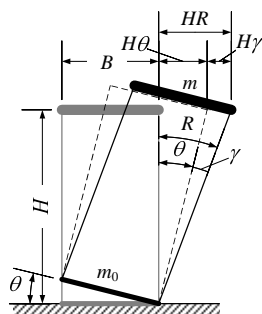


図1 対象モデル

上部構造の復元力はノーマルバイリニア

型とした。基部の水平移動や沈み込みはなく、微小変位・減衰なしとして、区分線形系のモード解析で計算を行った。静止状態から上部質点に初速度を与えた自由振動挙動を対象として、浮き上がりと上部構造の塑性化を伴う場合の基礎的な振動特性について考察した。また、塑性化する上部構造の最大変形について定式化を行い、基部固定の場合との比較を行った。

得られた主な知見は次のとおりである。

- [1] 上部構造が塑性化する場合でも、浮き上がり状態での弾性除荷による高次振動が顕著に現れる(図2)
- [2] 浮き上がり開始レベルよりも少し大きな耐力とすることで、塑性化を被りながらも基部固定に比べて最大変形(塑性率)は大幅に低減して損傷を緩和する効果を得られる(図3)。またその効果は塔状比が大きいほど顕著となる。

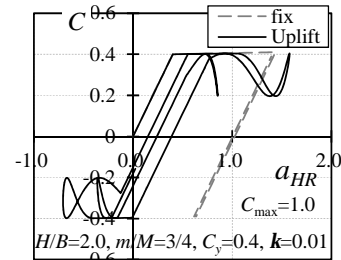


図2 層せん断力係数～無次元頂部水平変位関係

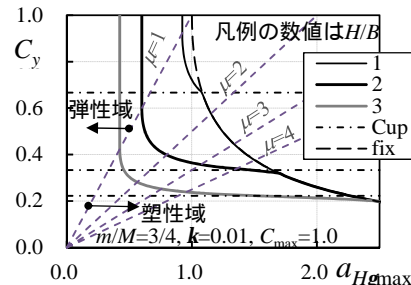


図3 降伏層せん断力係数～無次元最大変形関係

(2) 1層モデルを対象とした実験的検討

写真1に示す1層モデルの模型試験体を用いて、浮き上がりと塑性化を伴う1層モデルの地震時挙動について、振動台実験により検討した。

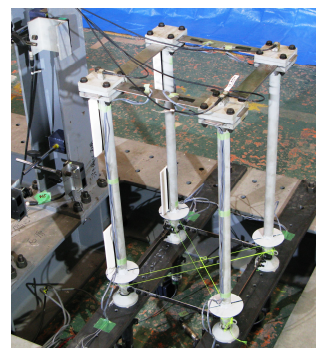


写真1 試験体

試験体は剛な柱と柔な梁からなる1層のラーメン架構で、水平2方向とも1スパンの4本柱構造である。実験パラメータとなる梁（フラットバー）の交換が容易になるよう、柱頭部分では鋼製のブロックに設けた溝に2方向の梁を通して、ボルトで締めつけて柱と梁を固定する形式とした。倒立円錐形の孔をもつ支承の上に、鋼製の半球（径25mm）を付けた柱脚部を固定せずに載せることで、水平力により浮き上がる仕組みである。柔な梁のみが層としての弾塑性復元力を担う。水平1軸加振として、入力波は1940 El Centro NS成分とし、先頭の20秒間のみを使用した。

1層の実験的検討で得られた主な知見は次のとおりである。

- 1[1]の弾性除荷による高次振動は、地震応答の実験でも確認された(図4)。
- [2]地震応答の振動台実験では入力地震動が大きくなっても弾塑性挙動の最大変形や変形の全振幅は一定の値に留まる傾向があった(図5)。また(1)の自由振動を基に定式化した最大変形は実験における地震時最大弾塑性変形の上限的な値となること、換言すれば地震応答では自由振動よりも損傷低減の効果が大きいことを示した。

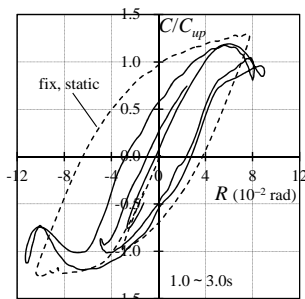


図4 層せん断力係数比～柱の傾斜角関係

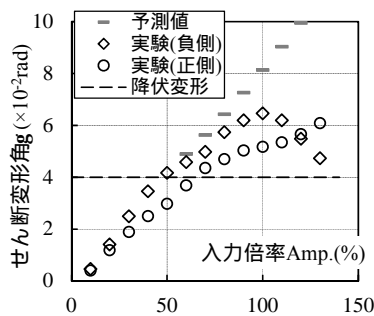


図5 最大せん断変形角の実験値と自由振動に基づく予測値の比較

(3)多層モデルを対象とした数値解析的検討

図6に示す10層の解析モデルを対象に検討を行った。復元力は上部構造の各層では2次剛性比0.01のノーマルバイリニア、鉛直バネ(支持バネ)では引張力を負担しない非線形弾性とした。柱脚固定時の1次固有周期は1.0sec、ロッキング時の1次固有周期は1.03secである。入力地震動は水平1軸のみとして、特性の異なる2波を用いた(図7)。

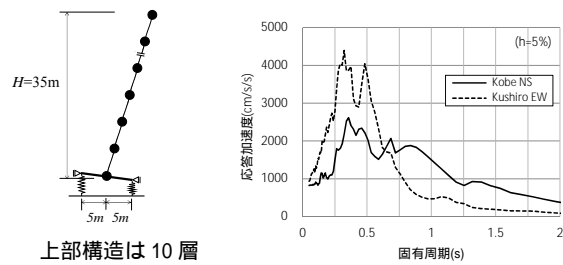


図6 解析モデル

図7 加速度応答スペクトル

得られた主な知見は次のとおりである。

- [1]多層建築物でも各層の最大変形(塑性率)は浮き上がりによって低減される(図8)。
- 2[2]の1層の実験と同様に、入力地震動が大きくなっても最大変形(塑性率)は一定の値に留まる傾向がある(図9)。
- [3]高次モードが強く励起される地震動に対しては浮き上がりによる損傷低減効果は得られにくい。

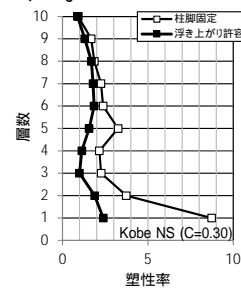


図8 各層の塑性率

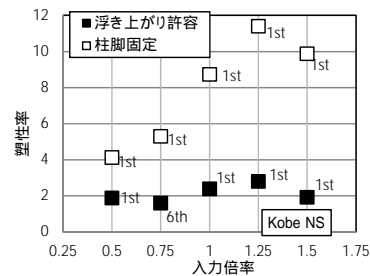


図9 入力倍率と塑性率

(4)まとめ

以上の検討から、浮き上がり許容構造において損傷(最大変形)を基部固定に比べて大きく低減するためには、浮き上がり開始レベルに対して多少割り増した耐力を確保すればよいことを明らかにした。浮き上がりによって損傷が低減する傾向は定性的には知られていたが、そのメカニズムを理論的に考察した上で定量的な評価を行ったことや、実験や数値解析により自由振動と地震応答又は1層と多層の類似性や相違点を検討したことは、浮き上がりと上部構造の損傷を同時に許容した建築物の構造設計を考える上で有用な技術資料になるものと考えられる。

なお、本研究に関連して、多次元挙動のモードにおける有効質量の性質に関する考察、浮き上がり機構の応用例等についても検討を行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 17 件)

石原直、小豆畑達哉、緑川光正: 浮き上がりによる損傷と残留変形の抑制効果に関する基礎研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(掲載決定) 査読無、2015
小豆畑達哉、石原直、緑川光正: 浮き上がりと上部構造の塑性化を伴う1層モデルの振動台実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(掲載決定) 査読無、2015
小豆畑達哉、石原直、緑川光正: 多層モデルに対する浮き上がりによる地震損傷低減効果に関する検討、日本建築学会関東支部研究報告集、査読無、pp.569-572、2015

石原直、小豆畑達哉、田尻清太郎、緑川光正: 浮き上がり許容構造の動的弾塑性挙動と損傷低減効果に関する1層モデルの解析と実験、第14回日本地震工学シンポジウム論文集、査読無、pp.2226-2235、2014

石原直: 有効質量テンソル 多次元モードの慣性質量と主軸、日本建築学会構造系論文集、査読有、第78巻、第691号、pp.1553-1558、2013

DOI: 10.3130/aijs.78.1553

T. Ishihara, T. Azuhata, M. Midorikawa: Modal Analysis of Dynamic Behavior of Buildings Allowed to Uplift at Mid-story, Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, 査読無, Paper No.4635, 2012

http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_4635.pdf

T. Azuhata, T. Ishihara, M. Midorikawa: Multi-dimensional Earthquake Response of Self-Centering Building Structural System Using Uplift Mechanism, Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, 査読無, Paper No.1960, 2012

http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1960.pdf

[学会発表](計 10 件)

[雑誌論文]の (予定)

[雑誌論文]の (予定)

[雑誌論文]の

[雑誌論文]の

[雑誌論文]の

[雑誌論文]の

[雑誌論文]の

6. 研究組織

(1)研究代表者

石原 直 (ISHIHARA, Tadashi)

(独) 建築研究所・建築生産研究グループ・主任研究員

研究者番号: 50370747

(2)研究分担者

小豆畑 達哉 (AZUHATA, Tatsuya)

(独) 建築研究所・国際地震工学センター・上席研究員

研究者番号: 00251629

(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・特任教授

研究者番号: 90126285