

1) 科学研究費助成事業

1) - 1 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

Fundamental study on damage reduction effect and required strength in buildings allowed to uplift

(研究期間 平成 24~26 年度)

建築生産研究グループ

Dept. of Production Engineering

国際地震工学センター

International Institute of Seismology and
Earthquake Engineering

石原 直

Tadashi Ishihara

小豆畑 達哉

Tatsuya Azuhata

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.

【研究目的及び経過】

浮き上がりを許容することにより地震時の負荷低減が見込めるが、高次振動の影響もあり、弾性範囲内に留めようとすると比較的大きな耐力が必要となる。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と共に上部構造に損傷（塑性化）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。

本研究では基礎的な検討として主に 1 層モデルを対象とした 2 次元の挙動・地震応答に関する理論的及び実験的検討を行った。また数値解析により多層建築物における損傷低減効果等についても検討した。

【研究内容】

(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。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

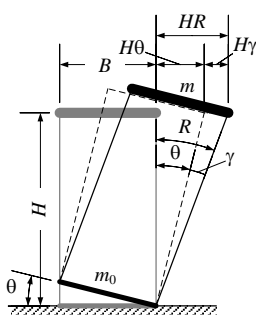


図 1 対象モデル

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。

(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。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。

(3) 多層モデルを対象とした数値解析的検討

図 2 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 3）。

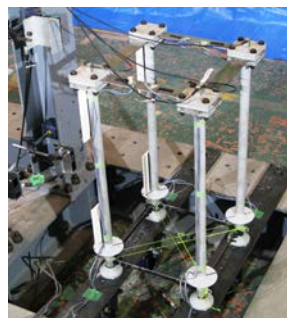
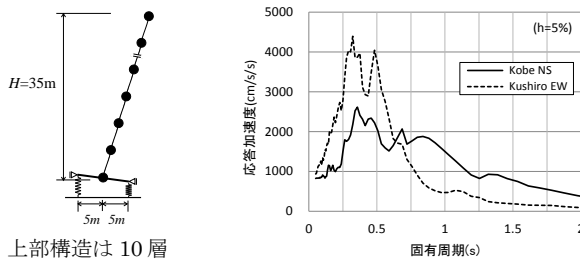


写真 1 試験体



上部構造は 10 層
図 2 解析モデル **図 3 加速度応答スペクトル**

[研究結果]

(1) 1 層モデルを対象とした理論的検討

1 層の理論的検討で得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 4)。
- [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 5)。またその効果は塔状比が大きいほど顕著となる。

[3] 位置エネルギーの復元性により残留変形も抑制される傾向にある。

(2) 1 層モデルを対象とした実験的検討

1 層の実験的検討で得た主な知見は次のとおりである。

- [1] (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 6)。
- [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る (図 7)。また (1)

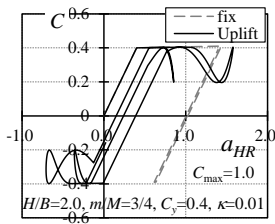


図 4 層せん断力係数～無次元頂部水平変位関係

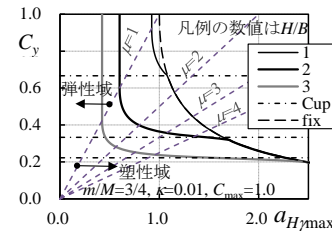


図 5 降伏層せん断力係数～無次元最大変形関係

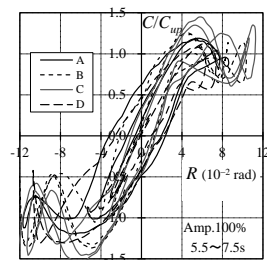


図 6 層せん断力係数～無次元頂部水平変位関係

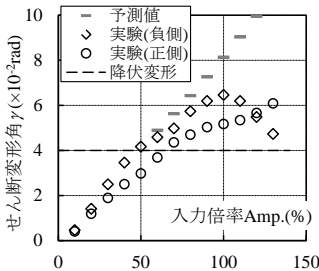


図 7 最大せん断変形角の実験値と予測値の比較

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。

(3) 多層モデルを対象とした数値解析的検討

多層の数値解析的検討で得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) [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。

(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) や残留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。

なお、本研究の成果は文献 1)～4)で公表済み又は公表予定である。

【参考文献】

- 1) 石原直、小豆畑達哉、ほか：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、pp.2226-2235、2014 年 12 月
- 2) 小豆畑達哉、石原直、ほか：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 I、pp.569-572、2014 年 3 月
- 3) 石原直、小豆畑達哉、ほか：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、2015 年 9 月 (投稿中)
- 4) 小豆畑達哉、石原直、ほか：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、2015 年 9 月 (投稿中)

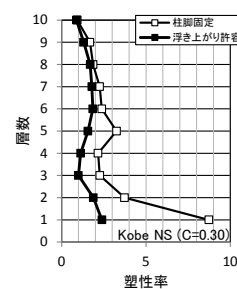


図 8 各層の塑性率

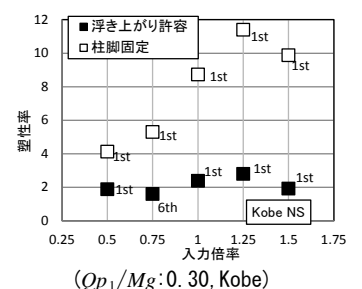


図 9 入力倍率と塑性率