

最下層柱中間部浮き上がり架構の多質点モデルによる定常応答 (モデル質点数が定常応答に及ぼす影響)

正会員 小谷 直人<sup>\*1</sup> 同 緑川 光正<sup>\*2</sup> 同 石原 直<sup>\*3</sup>  
同 岡崎 太郎<sup>\*4</sup> 同 麻里 哲広<sup>\*5</sup>

ロッキング架構 応答解析 簡易モデル  
柱中間部浮き上がり

1. はじめに

地震時に建物が浮き上がることで被害が低減される場合があるという指摘<sup>(例えば1)</sup>を基に、意図的に浮き上がりを許容するロッキング架構が提案されている。このロッキング架構の簡易的な評価方法を確立するために様々な研究が行われている<sup>(例えば2)</sup>。しかし建物層数が多い場合、架構モデルのエネルギー応答は必ずしも置換した1質点モデルで予測することができない<sup>3)</sup>。本報告では、浮き上がりが発生する多質点モデルを対象に動的応答解析を行い、質点数が定常応答に及ぼす影響の検討結果を示す。

2. 解析モデル

解析モデルを図1に示す。解析モデルは10質点柱脚固定モデル(以下、10-fixモデル)、10質点1層中間部浮き上がりモデル(以下、10-upモデル)、1質点柱脚固定モデル(以下、1-fixモデル)、1質点柱脚浮き上がりモデル(以下、1-upモデル)の4つである。モデルのパラメータ、応答変位は図2に示すように命名した。各パラメータの値は、先行の研究<sup>3)</sup>を参考に、表1に示す値とした。浮き上がっていない状態(以下、非ロッキング状態)での1次固有周期は全モデルとも1.36secとした。1質点モデルの高さHは、10-fixモデルにおいて1次モード刺激関数が1となる高さとした。ただし、水平変位は10-fixモデル10層の1次モード刺激関数(1.27)を用い補正した。なお、上部構造は弾性とし、P-Δ効果は無視し、レイリー減衰モデルにより1次、2次モードに対する臨界減衰比をそれぞれ2%とした。10-lupモデルの浮き上がり時の運動方程式を式1に示す。

数学的方程式 (m, m, 5m) の行列とベクトルによる表現。式1の形式を保持して簡潔に記述する。

入力地震動は式2に示す正弦波とし、地震動周期Tを0.01sec刻みで変え解析をおこなった。解析時間は160secとしたが、そのうち150secから160ssecの間のみを定常応答とみなし解析結果に採用した。

v = 100 \* sin(2pi/T \* t) ... 式2

ただし v:速度(cm/s<sup>2</sup>)、t:時間(sec)、T:地震動周期(sec)

3. 解析結果

表2に各モデルの固有周期を、図3に10-upモデルの固有モードを示す。図4に、最大頂部相対変形を各モデルで比較した値を示す。1-upモデルと10-upモデルの最大頂部相対変形は概ね等しい。図5に、各モデルの最大ベースシアの比較をする。10-upモデルのベースシアは1-upモデルのベースシアよりも大きい値となる。例として10-upモデルのT=1.5secとした場合の層間変形時刻歴応答を図6に示す。ただし、横軸は浮き上がり終了時を0secになるようオフセット(オフ

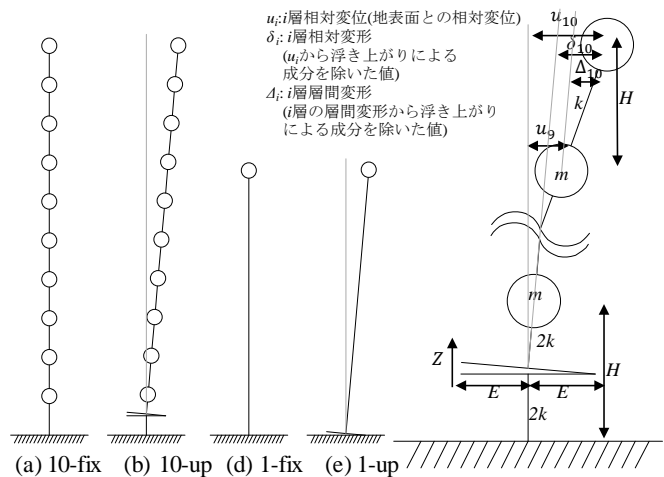


図1 解析モデル

図2 パラメータ概要図

表1 解析パラメータ

表2 固有周期(sec)

Table with 5 columns: Model, H (m), E (m), m (x10^4 kg), k (x10^5 N/m), Mode, 10-fix, 10-up, 1-fix, 1-up. Includes 1 and 10 mass point models.

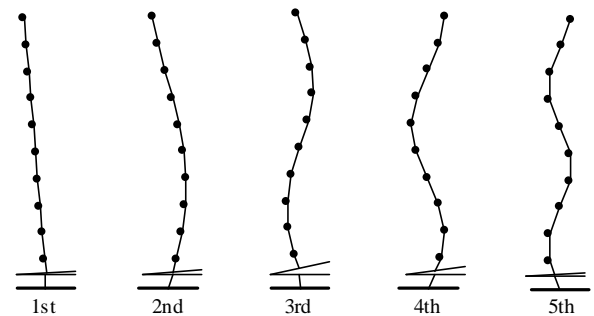


図3 固有モード図

セット量: 155sec)した。また、図7に非ロック状態時の変形図を示す。図6とあわせて、非ロック状態時に下層と上層の位相の逆転現象がみられる。これは浮き上がり終了時の急激な剛性変化により生じた高次モードによる影響と考察される。1次モードと高次モードによる変形の重ね合わせにより、ベースシアは浮き上がりの発生しない時間(0.37sec)に最大値をとる。図8に上部構造歪エネルギーと運動エネルギーの和(以下、蓄積エネルギーとする)の時刻歴応答を示す。変位をモード分解し算出したモード毎の蓄積エネルギーも合わせて示す。浮き上がりが発生しない間(0~0.4sec)の蓄積エネルギーの大半は、1次あるいは2次モード成分によるものである。(0sec時、1次モード成分は全体の82%、2次モードは全体の18%である。)一方、ロック状態時(0.4~0.8sec)、蓄積エネルギーは4次モード成分までが支配的であり、6次以上の高次モードはほとんど発生しない。ところで、浮き上がり時は図9に示すように、重力と上部構造復元力からつりあい変形を算定することができる<sup>4)</sup>。10-upモデルの場合、つりあい変形時の上部構造ひずみエネルギー量は187kN.mであり、内訳は2次モード52kN.m、3次モード95kN.m、4次モード26kN.m、5次モード3kN.mである。なお、浮き上がり時の1次モードは剛体回転成分であるため、上部構造歪エネルギーは発生しない。浮き上がり時の振動は、浮き上がり開始時の変位、速度の他、つりあい

変形の影響を大きく受ける。ロック状態時の蓄積エネルギーは4次モード成分までが支配的になるが、その理由はつりあい変形時の上部構造ひずみエネルギーも同様に4次モード成分までが支配的になるためである。

4. まとめ

- 1) 1質点モデルで算出した相対変形は、10質点モデルで算出した相対変形と概ね一致する。
- 2) 1質点モデルで算出したベースシアは、10質点モデルで算出したベースシアと比べて小さかった。これは主に浮き上がり後の再接地で誘発される高次モードの影響である。
- 3) 10-upモデルの時刻歴応答をモード分解すると、非ロック状態時は2次モード成分までが支配的となり、ロック状態時は4次モードまでの振動が支配的となる。

【参考文献】

- 1) 林康裕: 直接基礎構造物の浮き上りによる地震被害低減効果, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, pp.53-62, 1996.7
- 2) 石原直ほか: 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.2256-2235, 2014
- 3) 麻里 哲広ほか: 最下層柱中間部浮き上がり架構の簡易モデルによる地震応答 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.729-732, 2016.8
- 4) 茂木良宏, 岡山真之介: 接地と浮き上りを伴う自由振動系のモード分解とその振動特性, 日本建築学会構造系論文集, 第713号, pp.1013-1022, 2015.7

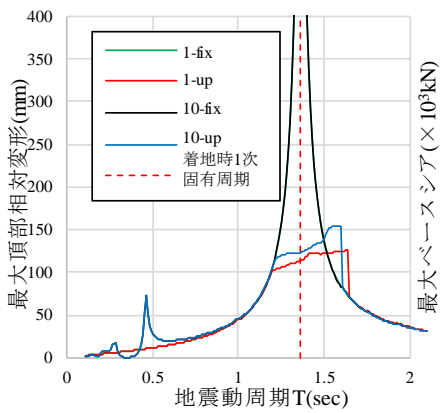


図4 最大頂部水平変形の比較

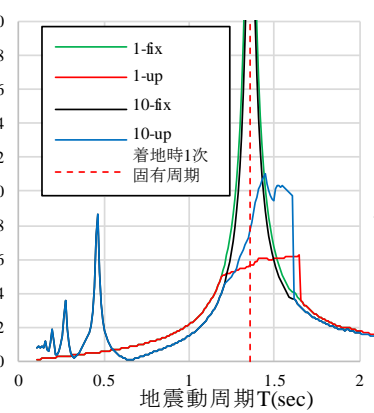


図5 最大ベースシアの比較

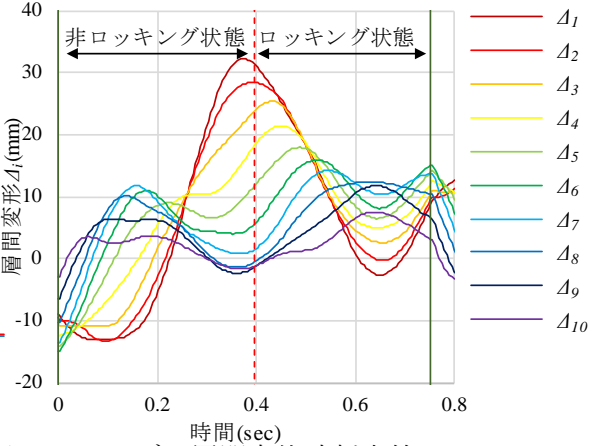


図6 10-upモデル層間変位時刻応答(T=1.5sec)

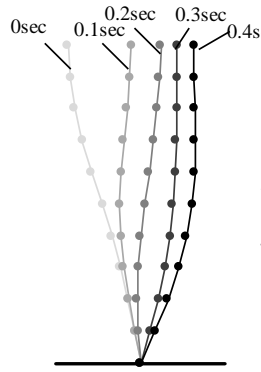


図7 変形状態図

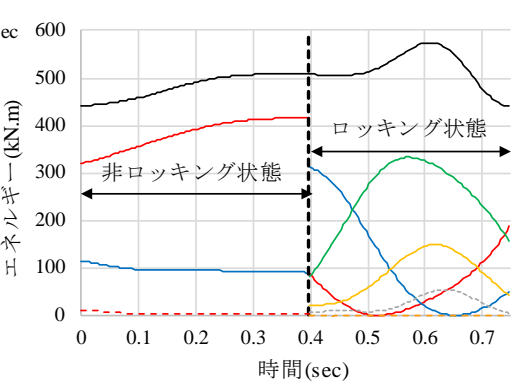


図8 上部構造蓄積エネルギー時刻歴応答(T=1.5sec)

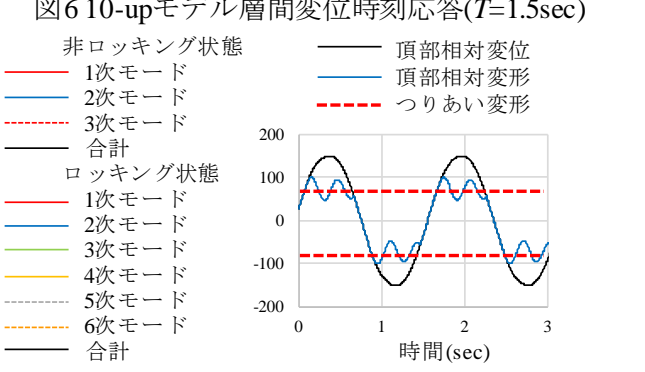


図9 つりあい変形概要図

\*1 一般財団法人ベターリビング 修士(工学)  
 \*2 建築研究所 理事長・工博  
 \*3 国土交通省国土技術政策総合研究所 室長・博士(工学)  
 \*4 北海道大学 大学院工学研究院 教授・Ph.D  
 \*5 北海道大学 大学院工学研究院 助教・博士(工学)

\*1 Tsukuba Building Research and Testing Laboratory Center for Better Living Ms. Eng.  
 \*2 President, Building Research Institute, Dr. Eng  
 \*3 Head, NILIM, MLIT, Dr. Eng.  
 \*4 Professor, Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Ph.D.  
 \*5 Asst. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.