

振動実測に基づく高層免震建物の建設段階における振動特性の変化

名古屋大学 工学部 環境土木・建築学科
 建築学コース 飛田研究室 佐藤龍汰

1.はじめに

地震調査研究推進本部の報告によると、2019年2月時点で、今後30年以内に南海トラフでM8~9クラスの地震が発生する確率が70~80%、首都圏でM7クラスの地震が発生する確率が70%程度とされている^{1),2)}。免震建物は、建築物をそのような大きな地震動から絶縁するというアイデアから生まれた。21世紀を迎える直前になると、軒高が60mを超える高層免震建物が都市部に建設され始めた。図1に既往の研究³⁾に用いられたデータベースに情報を追加した上で、高層免震建物の都道府県別の棟数を示す。図から高層免震建物は首都圏、近畿圏、東海圏の3都市周辺に集中していることが分かる。今後の日本では、更なる人口都市集中が予測されており⁴⁾、今後も高層免震建物は増加していくだろうと考えられる。

そのような背景から、来たる大地震に向けて今後建設される高層免震建物の安全性向上のためにも振動特性の分析は重要である。よって本論は、情報の蓄積を目的とした、高層免震建物の建設段階を追った振動特性の変化を分析する。

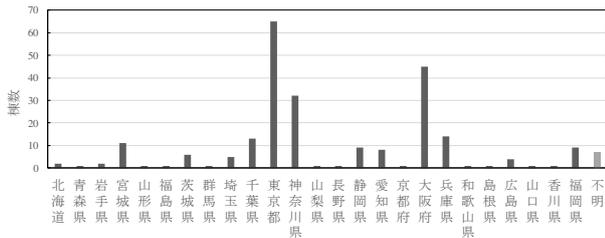


図1 都道府県別の高層免震建物棟数

2.対象建物・敷地の概要及び計測体制

対象建物は静岡県浜松市に位置する、高さ30階建ての高層免震建物である。詳細は以下の表1及び図2に記載する。

建物計測は建設段階を追って計5回行われた。表2に計測を行った時点における建物高さを示す。

表1 対象建物・敷地の概要

軒高	120.2m(地上30階、塔屋1階)
構造	RC造・純ラーメン構造・基礎免震
杭形式	場所打ちコンクリート杭
免震部材	鉛プラグ入り積層ゴム、天然ゴム系積層ゴム 弾性すべり支承
地盤卓越周期	3.8秒
免震周期	5.7秒(レベル1), 6.4秒(レベル2)
基礎固定時周期	2.5秒
水平クリアランス	850mm

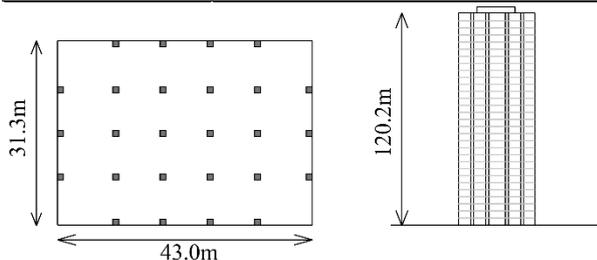


図2 対象建物の平面図及び立面図

表2 計測体制

計測回	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
建物高さ	14.5m	40.7m	70.1m	99.6m	118.3m

3.常時微動の分析結果

3.1 固有周期の変化

図3に建物高さと固有周期の関係について示す。固有周期は、免震層を含む固有周期(以下免震周期)と上部建物の固有周期の2つに分けた。免震周期は上層階のフーリエスペクトルから、上部建物固有周期は最上階/1階の伝達関数から求めた。図3から建物高さと固有周期はおおよそ比例関係にあることが確認できる。既往の研究⁵⁾では、1次固有周期が並進方向で $T = 0.015H$ 、ねじれ方向で $T = 0.011H$ となっている。よって対象建物は若干長い周期となったがほぼ同じ傾向を示した。2次固有周期は並進ねじれ共に1次のおよそ1/3倍であり、既往の研究⁵⁾とほぼ一致した。

以上のことから、常時微動に基づいて算出した対象建物の固有周期は、非免震建物とほぼ変わらないことが明らかになった。

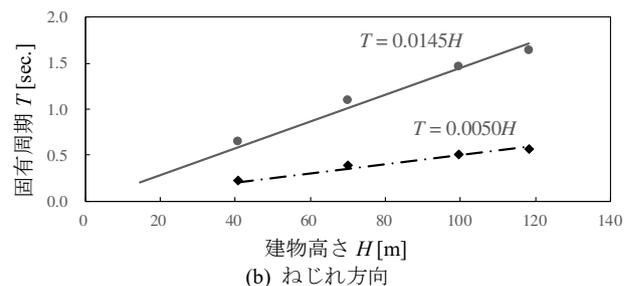
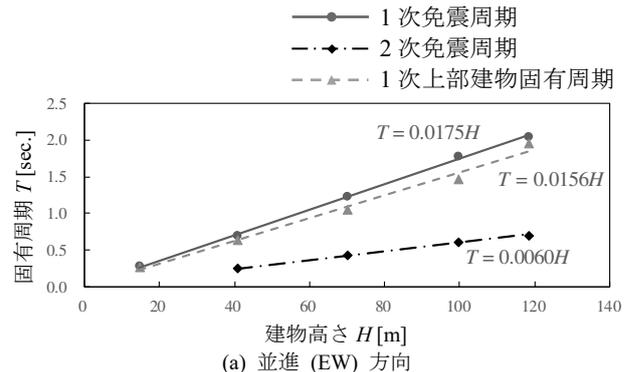


図3 建物高さと1次及び2次固有周期の関係

3.2 スウェイ率・ロッキング率の変化

上部建物の水平加速度に影響を及ぼしている成分の抽出を目的に、ロッキング率・スウェイ率の算出を行う。図4にロッキング・スウェイモデルを示す。表3に、各成分と上層階のスペクトル比から算出したロッキング率・スウェイ率等を建物高さごとに示す。建物が高くなるにつれ、免震層変形率と基礎スウェイ率が減少し、上部建物弾性変形率が増加している事が確認できる。基礎スウェイ率の減少と弾性変形率の増加は地盤との相互作用の特徴であり、免震層変形率は割合で表しているため減少していると考えられる。

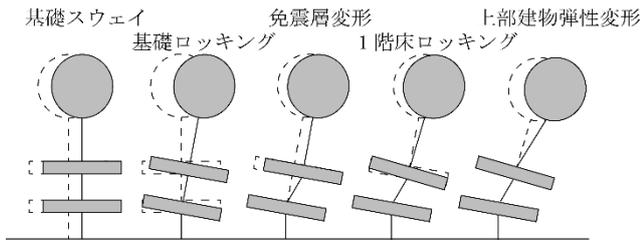


図4 スウェイ・ロッキングモデル

表3 ロッキング率・スウェイ率等の変化

計測回	第1回	第2回	第4回	第5回
建物高さ [m]	14.5	40.7	99.6	118.3
計測最上階	100%	100%	100%	100%
基礎スウェイ率	19%	3%	2%	1%
基礎ロッキング率	5%	4%	7%	6%
免震層変形率	40%	13%	10%	7%
1階床ロッキング率	41%	80%	3%	4%
上部建物弾性変形率			78%	81%
合計	106%	100%	101%	100%

3.3 減衰定数の変化

図5に建物高さごとの減衰定数を示す。減衰定数はRD法から算出した自由振動波形を用いた。なお、第1回はRD法による自由振動波形が適切に算出できなかったため、今回は除いた。図から、減衰定数は建物高さに拘らずEW, NS方向共に1~2%となっていることが確認できる。

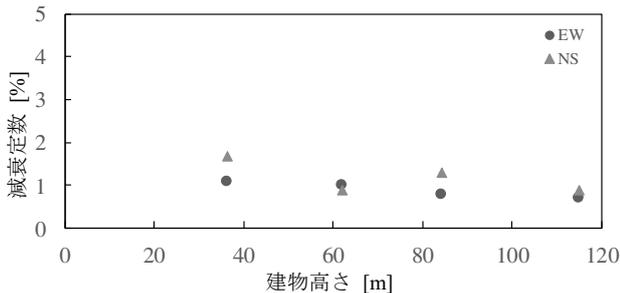


図5 減衰定数と建物高さの関係

4. 観測地震動の分析結果

4.1 観測地震概要

計測期間中に3つの地震動を観測することに成功した。表4に地震の概要を、図6に各地震動の対象敷地における加速度フーリエスペクトルを示す。表4及び図6から静岡県中部を震源とする地震では短周期成分が、残り2つの地震では長周期成分が優勢ということが確認できる。表5に各地震動における最大水平加速度を示す。いずれにおいても免震層変位が小さく、免震ピットから1階床にかけて加速度が増幅しており、免震効果が発揮されたとはいえない。

表4 地震概要

地震No.	日付	計測回	震央地名	震央距離 [km]	深さ [km]	規模 [Mj]	浜松市震度
eq 1	2019/6/11 02:25	第2回	静岡県中部	50	29	4.0	1
eq 2	2019/7/30 5:37	第3回	八丈島東方沖	345	59	5.9	1未満
eq 3	2019/8/4 19:23	第3回	福島県沖	482	45	6.4	1

表5 各地震動における最大水平加速度

No.	地表面最大水平加速度 [gal]	免震ピット最大水平加速度 [gal]	1階最大水平加速度 [gal]	上層階最大水平加速度 [gal]
eq 1	1.56	0.92	1.64	2.10
eq 2	0.33	0.11	0.29	0.71
eq 3	0.84	0.76	1.18	2.45

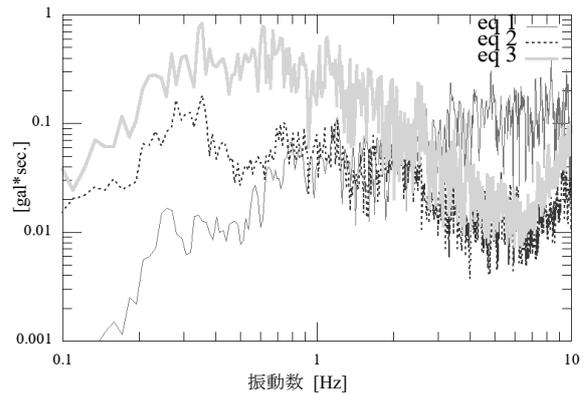


図6 各地震動の加速度フーリエスペクトル

4.2 微動時との比較

図7に各地震動時と微動時における1階/免震ピットと最上階/1階の伝達関数を示す。福島県沖を震源とする地震は他の地震とは違い、1階/免震ピットの振幅が微動時の約1/2となっている。これは免震層の影響だと考えられるが、4.1節で述べたようにこれは免震効果ではないと推測される。

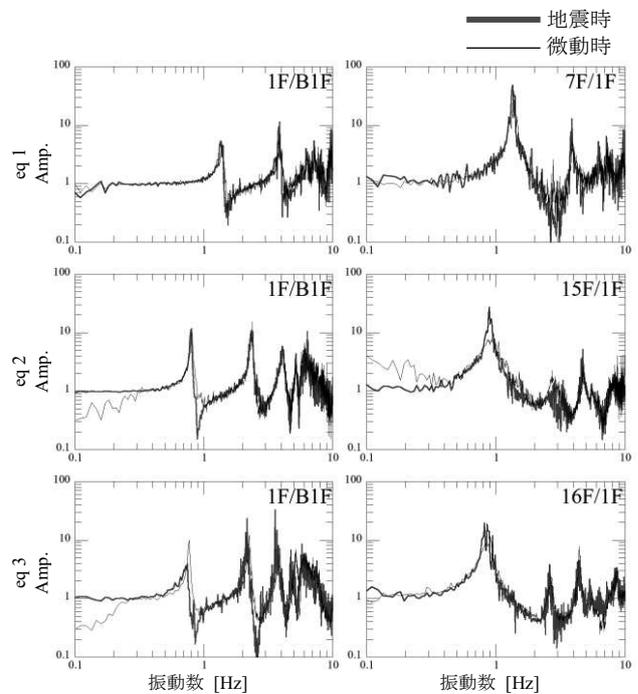


図7 地震時と微動時の伝達関数

5. まとめ

建物が高くなるにつれて周期が長くなっており、非免震建物と同様の傾向が得られた。また、基礎スウェイ率と免震層変形率が低下することが分かった。観測された地震動においては微動時とほぼ同じ振動特性を示した。

今後は南海トラフ地震等の大地震に向けた観測が課題となる。

参考文献

- 地震調査研究推進本部 「南海トラフの地震活動の長期評価」
- 地震調査研究推進本部 「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価」
- 田中佑治: 免震建物のデータベースと観測記録に基づく免震性能の現状分析, 名古屋大学修士論文, 2011
- 総務省 「都市部への人口集中、大都市等の増加について」
- 日本建築学会: 建築物の減衰, 2000