

地震および強風による高層建築物の動的挙動

磐田市役所(研究当時 高知大学 理工学部) 非会員 諏訪部 凱哉 高知大学 正会員 ○野田 稔

1. はじめに

近年、日本国内における建築物の高層化や免震高層建築物の増加は、東北地方太平洋沖地震発生時に大阪府咲洲庁舎でみられた長周期地震動による大きな振幅を伴う構造物の振動¹⁾や、構造物に作用する風荷重の増大など引き起こす原因となっている。これまでに、地震と風のいずれかによる高層建築物の応答特性や免震構造の影響についての検討は報告されているが、これらの外力に対する構造物の動的挙動特性について直接検討した研究は少ない。そこで、本研究では時刻歴応答解析を用いて地震および風による高層建築物の動的挙動を比較するとともに、簡易的な免震高層建築物を想定し、各外力に対する免震構造の効果についても検討する。

2. 時刻歴応答解析の概要

本研究では、幅 B 、奥行 D ともに40[m]の正方形断面を有するRC造高層建築物を想定し、1層の高さを4[m]、解析モデル高さ H を40[m], 80[m], 120[m], 160[m], 240[m], 320[m]の6パターンとした。建物密度 ρ は250[kg/m³]とし、質量を高さ方向に一様に分布させた。また、各層の剛性を佐藤らによる算定式²⁾を用いて一次モードが直線になるように設定した。図1に各解析モデルの層剛性分布を示す。このとき、 H が240[m], 320[m]のモデルの剛性は、4層1質点としてモデル化したため、1層1質点で同質点数の解析モデルにおける層剛性の1/4になっている。さらに、減衰は減衰定数 h を2%とした剛性比例型によって決定し、せん断型多質点系モデルによって高層建築物をモデル化した。

解析モデルに作用させる外力として、地震加速度時刻歴波形と変動抗力時刻歴波形を作成した。地震加速度時刻歴波形については、設計用入力地震動作成技術指針³⁾で定められているレベル1地震動の設計用応答スペクトルから正弦波合成法で作成した。一方、変動抗力時刻歴波形は建築物荷重指針⁴⁾に示されている100年再現期待風速を用いてKármán型の変動風速のパワースペクトル密度から変動抗力のパワースペクトル密度を算定し、逆フーリエ変換によって時刻歴波形を作成した。また、本研究では、解析対象地点を鹿児島県枕崎市とし、地表面粗度区分をⅢと想定して気流条件を設定した。

3. 時刻歴応答解析の結果

図2に地震加速度時刻歴波形と H が320[m]の解析モデル(RC320)に作用させたときのRC320頂部における応答変位時刻歴波形、図3に抗力時刻歴波形とRC320頂部における応答変位時刻歴波形を示す。各図から、地震による高層建築物の応答では変位0[m]を中心として振動し、風による高層建築物の応答では平均抗力による静的変位を中心として振動している傾向がみられた。これらの傾向から、地震と風の自然現象としての特徴が高層建築物の応答に大きく反映されていることを確認できた。

続いて、 H と解析モデル頂部での無次元最大応答変位 δ_{\max}/H の関係を比較する。図4に H と地震および風による δ_{\max}/H の関係を示す。図4から、 H の増加によって地震による δ_{\max}/H は減少し、風による δ_{\max}/H は増加している傾向がみられた。また、各外力による δ_{\max}/H は、 H に対して直線的に変化している傾向がみられたため、一次関数で

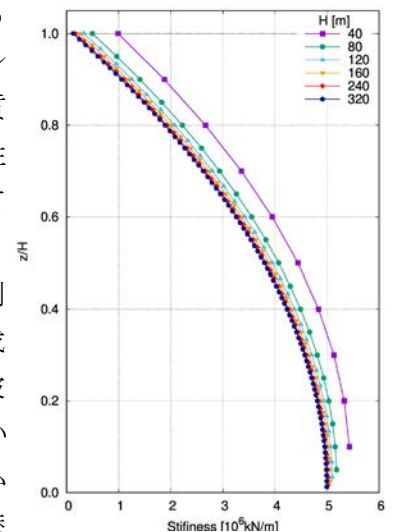


図1 層剛性分布

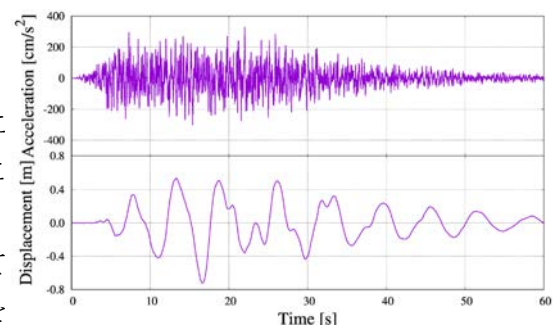


図2 地震加速度時刻歴波形と
応答変位時刻歴波形

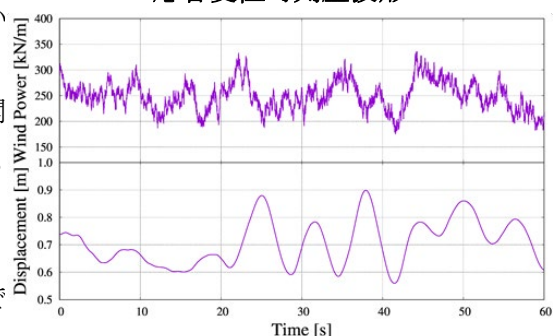


図3 抗力時刻歴波形と応答変位時刻歴波形

近似した結果、 $H=250[m]$ 付近で各外力による無次元最大応答値 δ_{\max}/H の大小関係が逆転する結果が得られた。

4. 免震高層建築物における時刻歴応答解析

次に、地震および風による免震高層建築物の動的挙動を検討するために、RC320の下部にばねと粘性減衰ダンパーによってモデル化した簡易的な免震層を設置した。このとき、免震層の剛性をRC320最下層の剛性の1/10または1/100とした2パターンの免震高層建築物(RC320-SI0.1, RC320-SI0.01)を想定して時刻歴応答解析を行った。

まず、免震高層建築物の上部構造全体の変形を検討する。図2、図3で示した地震加速度時刻歴波形および抗力時刻歴波形をRC320-SI0.1とRC320-SI0.01に作用させたときの、免震層の1つ上に位置している点に対する解析モデル頂部の応答相対変位時刻歴波形(RC320-SI0.1:青線、RC320-SI0.01:赤線)を図5に示す。図5から、免震層を設置することで地震に対する上部構造の変形は抑制されていることがわかった。また、風に対しては振動する周期は変化したが、免震層の設置によって上部構造の変形は抑制されないという結果が得られた。

次に、免震層の有無による無次元最大応答相対変位 D_{\max}/H の変化を検討した。図6に、RC320、RC320-SI0.1、RC320-SI0.01における地震および風による D_{\max}/H を示す。図6から、地震では免震層の剛性を小さくすることで D_{\max}/H が小さくなり高層建築物の振動を抑制していることがわかるが、風では免震層の有無および剛性の大小によらず、 D_{\max}/H はほとんど変化せず高層建築物の振動を抑制しない傾向がみられた。

5. まとめ

本研究では、時刻歴応答解析を用いて地震および強風による高層建築物の動的挙動特性について検討した。時刻歴応答解析結果から、地震および風の自然現象としての特性が高層建築物の動的挙動特性に大きく反映されていることはわかり、中心位置が異なる振動をする結果が得られた。また、簡易的な免震層を導入した免震高層建築物における時刻歴応答解析の結果から、免震層の剛性を小さくするほど地震に対する免震高層建築物の振動は抑制される結果が得られた。しかし、風に対する免震高層建築物の振動は、免震層によって振動は抑制されず、免震層の変位を考慮するとより過大な変形を引き起こすことが考えられる。

以上の結果から、特に高層建築物に対して耐震設計と耐風設計の両方を考慮して設計することの重要性を改めて確認することができた。今後は、実在建築物に近い解析モデルによって、実現象に近い条件で検討し、実際の現象に対する議論を進めていく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、科研費(19H02410)の助成を受けて実施された。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 大阪府，咲洲庁舎の安全性等についての検証結果(平成23年5月)，<https://www.pref.osaka.lg.jp/otemaemachi/saseibi/bousaitai.html>
- 2) 佐藤大樹，笠井和彦，田村哲郎，「粘弾性ダンパーの振動数依存性が風応答に与える影響」，日本建築学会構造系論文集 第74巻，pp.75-82，2009.
- 3) 建設省建築研究所，財団法人日本建築センター，設計用入力地震動作成技術指針(案)平成3年度成果報告書，平成4年
- 4) 日本建築学会，建築物荷重指針・同解説，2015.

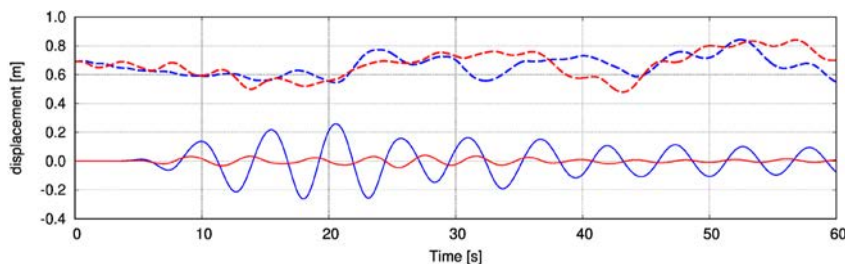


図5 免震高層建築物における
応答相対変位時刻歴波形(実線:地震, 点線:風)

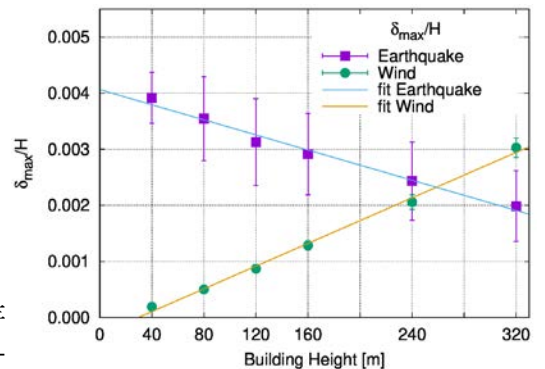


図4 解析モデル高さ H と
無次元最大応答変位 δ_{\max}/H の関係

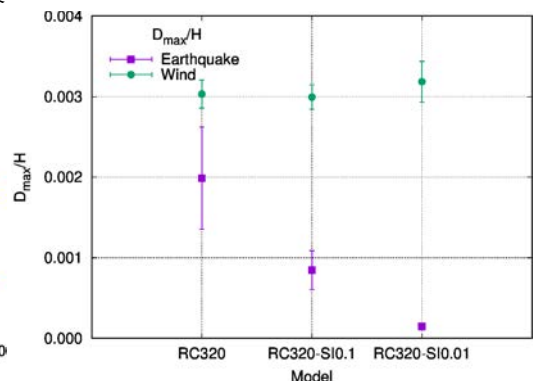


図6 免震層の有無による
最大応答相対変位 D_{\max}/H の変化