

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	多質点系モデルを用いた変動風力を受ける超高層免震建物の上部構造の応答評価
Title	
著者(和文)	平井宏幸, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 鈴木悠也, 北村春幸
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol. B-2, No. , pp. 283-284
Citation(English)	, Vol. B-2, No. , pp. 283-284
発行日 / Pub. date	2010, 9
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008123859

多質点系モデルを用いた変動風力を受ける超高層免震建物の上部構造の応答評価

正会員○平井宏幸^{*1} 同 佐藤大樹^{*1} 同 吉江慶祐^{*2}
同 鈴木悠也^{*3} 同 北村春幸^{*1}風外力 多質点系 エネルギー入力
超高層免震建物 弾塑性応答

1. はじめに

現行の耐風設計では、建物が弾性挙動を示す範囲のみを対象としている。しかし、履歴型ダンパーを有する超高層免震建物では、風荷重によってダンパーが降伏するケースも考えられ、長時間作用する風荷重に対する弾塑性応答の評価の必要性が生じてきた。弾性時の風振動は1次モードが卓越するため、1質点系による検討が行われてきたが、弾塑性時における妥当性は明らかではない。基礎免震建物を対象とした研究¹⁾では、免震層の弾塑性応答と上部構造の弾性応答を足し合わせることで、弾塑性時の建物頂部応答を求めている。しかし、免震層の塑性化と上部構造応答の関係についての検討は十分とはいえない。

そこで本研究は、変動風力を受ける超高層免震建物を想定した多質点系モデルを対象として、免震層の塑性化の度合いと上部構造の振動性状の関係を明らかにすることを目的とする。併せてエネルギーにも着目して、構造物の弾塑性応答を検討する。

2. 解析条件

本研究で用いた解析対象モデルを図1に示す。上部構造は1次モードが直線のモデルとし、その下に免震層を設定した11質点せん断型モデルとした。なお、上部構造の減衰定数は $h=2\%$ の剛性比例とする。ダンパー、アイソレーター、免震層の復元力特性を図2に示す。免震層の諸元は次式を用いて決定される。なお、免震層の減衰はないものとする。

$${}_dQ_y = ({}_uW + {}_bW) \cdot {}_s\alpha_y \quad (1)$$

$${}_dK_1 = {}_d k_0 \cdot {}_dQ_y = {}_d k_0 \cdot ({}_uW + {}_bW) \cdot {}_s\alpha_y \quad (2)$$

ここで、 ${}_dQ_y$: ダンパーの降伏耐力、 ${}_uW$: 免震層の重量、 ${}_bW$: 上部構造の重量、 ${}_s\alpha_y$: 降伏せん断力係数、 ${}_dK_1$: ダンパーの初期剛性、 ${}_d k_0$: ダンパーの降伏耐力当たりの初期剛性。

本研究では、免震建物の弾性周期(剛性)を一定とし、 ${}_dQ_y$ の変化が上部構造の風応答に与える影響について考察する(図3)。まず、(1)式より ${}_s\alpha_y$ をパラメーターとして、 ${}_dQ_y$ を変化させる(表1参照)。次に、 ${}_dK_1$ を一定(免震建物の弾性周期を一定)にするため、(2)式より ${}_d k_0$ も変化させる(表1参照)。なお、 ${}_dK_1$ を一定とするために、 ${}_s\alpha_y = 0.02$ とした ${}_dQ_y$ と ${}_d k_0 = 36$ (kN/m/kN)を用いることとする。また、弾性時の応答も併せて評価する。

風外力は「建築物荷重指針・同解説」²⁾による風方向、風直交方向の変動風力のパワースペクトル密度をもとに、三角級数モデルにより模擬風力波形をシミュレートして用いた^{3),4)}。風速は再現期間500年に相当するレベル²⁾として、頂部風速 $U_H = 60.8$ (m/s)を設定した。模擬風力波形は1組につき上部構造10質点分の変動風力波形を0.01秒刻み95000ステップ(950秒)で30組作成した。エンベロープを前後50秒ずつ設け、300~900秒の10分間で応答を評

価する。頂部風力のパワースペクトル密度を図4に示す。図4において、斜線で囲まれた部分は本研究で用いた弾性固有振動数の範囲を意味する。作成した風外力を上部構造の10質点に入力し、免震層を含めた11質点せん断型モデルの時刻歴応答解析を行い、応答を求める。また、各応答は30組の応答のアンサンブル平均により評価した。なお、本研究において、風方向風力には平均成分を有さない変動成分のみを用いることとする。

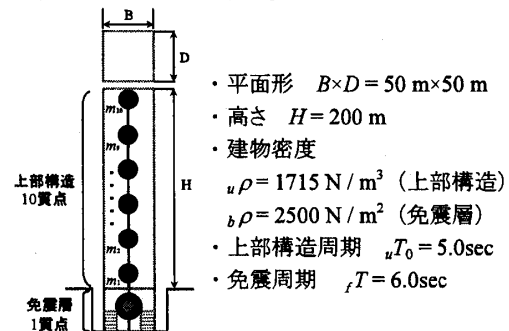


図1 解析対象モデル概要

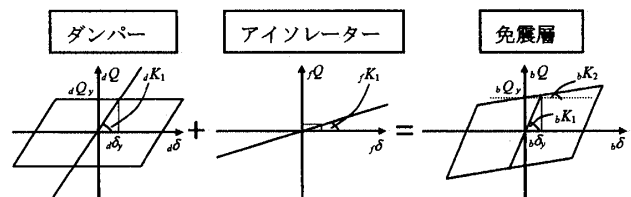


図2 免震層復元力特性

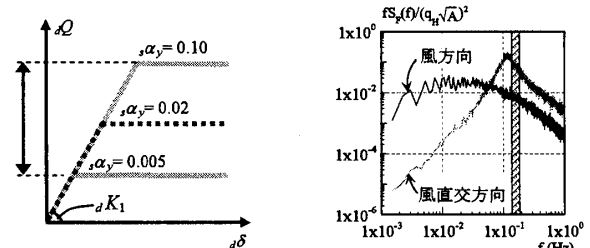


図3 ダンパー復元力特性 図4 頂部パワースペクトル密度

表1 解析パラメーター

${}_s\alpha_y$	0.005	0.006	0.007	0.008	0.01	0.015	0.02	0.025
${}_d k_0$	144.0	120.0	102.9	90.0	72.0	48.0	36.0	28.8
${}_s\alpha_y$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
${}_d k_0$	24.0	18.0	14.4	12.0	10.3	9.0	8.0	7.2

3. 時刻歴応答解析による弾塑性モデルの応答特性

本章では図3に示したように、 ${}_s\alpha_y$ をパラメーターとした弾塑性応答解析を行い、免震建物の弾性周期を一定とし、ダンパーの降伏耐力 ${}_dQ_y$ の変化が高層免震建物の上部構造の風応答に与える影響について検討する。図5に塑性率 μ_{rms} とダンパーの降伏変位 ${}_d\delta_y$ ($= {}_dK_1 / {}_dQ_y$)の関係

を示す。ここで塑性率 μ_{rms} とは、免震層の応答変位の標準偏差（以下、 rms と表記する）の免震層の降伏変位に対する比を意味する。図 5 より、風方向では $d\delta_y = 2.8\text{cm}$ 、風直交方向では $d\delta_y = 5.5\text{cm}$ 以上になると塑性率 μ_{rms} が 1 以下となり、あまり塑性化していないことが分かる。次にエネルギー応答を調べる。図 6 に、頂部加速度波形を用いて FDD 法⁵⁾より求めた等価周期 T_{eq} と 11 質点系モデルの固有値解析より算出した弾性周期 T_0 の比較を示す。図 7 に、塑性率 μ_{rms} の違いによるエネルギー入力の変化、図 8 に、 E_{input} に占める免震層の累積塑性ひずみエネルギー ${}_bW_P$ と上部構造の粘性減衰により吸収されるエネルギー ${}_uW_D$ の割合を示す。なお、風方向、風直交方向入力時の応答結果が同様な傾向であったので、以降、風方向入力時のみを示す。免震層の塑性率が大きくなると、等価周期 T_{eq} が長くなり（図 6）、図 4 から分かるように、エネルギー入力は大きくなる（図 7）。また、塑性率が大きくなると E_{input} に占める ${}_bW_P$ の割合は増加し、 ${}_uW_D$ の割合は減少する（図 8）。図 9 に応答変位の rms 値を示す。免震層の塑性率が大きくなると振動モードはロッキングモードからスウェイモードに移行するが、上部構造は直線モードを保ちながら振動していることが確認できる。ここで、ロッキングモードとは超高層建物の 1 次モードに代表される直線モード ($\phi(z) = z/H$)、スウェイモードとは免震建物の 1 次モードに代表される振動モード ($\phi(z) = 1$) を意味している。（図 10）。図 11 に各層の層間変形、免震層に対する速度（以下、相対速度と表記する）の rms 値を示す。塑性率が大きくなると上部構造の層間変位、相対速度は小さくなり（図 11）、それに伴って、 E_{input} に占める ${}_uW_D$ の割合も減少している（図 8）。また、 $\mu_{rms} = 3.0$ 以上になると ${}_uW_D$ は E_{input} の約 20% に収束する（図 8）。 ${}_uW_D$ が一定になると上部構造の応答も収束する（図 11）。以上の結果から、変動風力を受ける超高層免震建物の応答を評価する場合、高次モードの影響と免震層の塑性化によるモードの変化を考慮する必要があると考えられる。しかし、免震層の塑性率が大きくなっても、上部構造は直線モードを保ちながら振動することから（図 9）、上部構造を 1 質点と考え、2 質点系で超高層免震建物をモデル化することができると考えられる。

4. まとめ

変動風力を受ける超高層免震建物を想定した多質点系モデルを対象として、塑性率による上部構造の振動性状を明らかにし、併せてエネルギーにも着目して弾塑性応答の関係を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 免震層の塑性率が大きくなると上部構造の応答が小さくなり、それに伴って上部構造の粘性減衰により吸収されるエネルギー ${}_uW_D$ も減少することを確認できた。
- 2) 塑性率が大きくなると、構造物の振動モード形状がロッキングモードからスウェイモードに移行することを確認した。しかし、上部構造は直線モードを保ちながら振動するので、2 質点系で超高層免震建物のモデル化が可能であることを示した。

謝辞

本研究は、神奈川大学大熊武司教授、(株) 泉創建エンジニアリング、(株) 日建設計、東京理科大学による新耐風設計法研究会の成果の一部です。

*1 東京理科大学

*2 株式会社 日建設計

*3 株式会社 シグマックス (元東京理科大学)

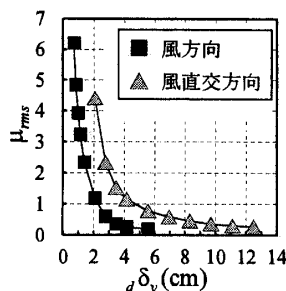


図 5 μ_{rms} と $d\delta_y$ の関係

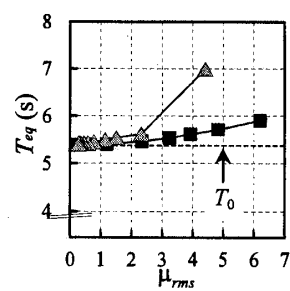


図 6 弾性周期と等価周期比較

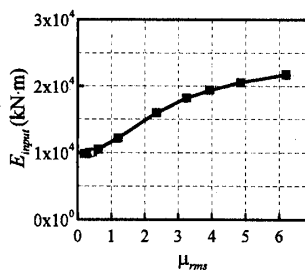


図 7 μ_{rms} による E_{input} の変化

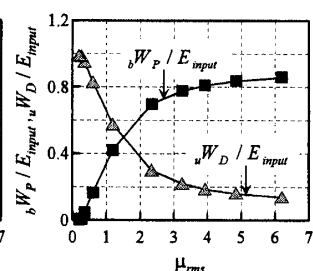


図 8 ${}_bW_P$, ${}_uW_D$ と E_{input} の比

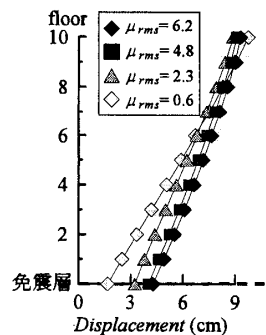


図 9 応答変位の標準偏差

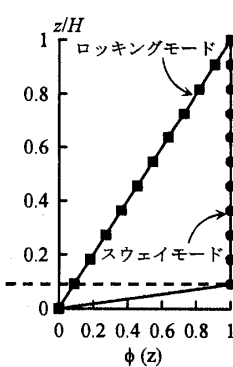


図 10 振動モード形概要

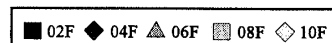


図 11 塑性率 μ_{rms} の違いによる応答の変化

参考文献

- 1) 安井八紀, 大熊武司, 丸川比左夫: クリープ変形を伴う免震建物の風応答性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第 619 号, pp.41-48, 2007.9
- 2) 日本建築学会: 建物荷重指針・同解説(2004), 2004
- 3) 星谷 勝: 確率論手法による構造解析, 鹿島出版会, 1973 年
- 4) 大熊武司, 丸川比佐夫, 丹羽秀聡, 寺本隆幸, 北村春幸, 吉江慶祐: 動的天秤データを利用した高層建物の風時刻歴応答解析, 第 12 回風工学シンポジウム論文集, pp.207-212, 1992 年 12 月
- 5) 鈴木悠也, 岡本有里子, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 北村春幸: 変動風力を受ける超高層建築物の多質点系モデルを用いた応答評価 (その 2), 2008 年度日本建築学会関東支部研究報告

*1 Tokyo University of Science.

*2 Nikken Sekkei Ltd.

*3 SIGMAXYS Ltd.