

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	超高層免震構造物の多質点風応答性状について
Title	
著者(和文)	小川諒, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 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, , pp. 555-559
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 555-559
発行日 / Pub. date	2013, 8
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/110009682644

超高層免震建造物の多質点風応答性状について

正会員 ○小川諒* 同 吉江慶祐**
同 佐藤大樹*** 同 北村春幸****

風外力 多質点モデル 高次モード
確率密度関数 狭帯域性 免震

1. はじめに

近年、免震建物の高層化が進んでおり、風外力に対する建造物の弾塑性応答の予測・評価手法の開発の必要性が高まっている。建造物の弾塑性応答を評価するためには、一般的には時刻歴応答解析が必要であるが、計算量が膨大になることから、弾塑性風応答の確立統計的な応答予測手法の開発が必要となる。風外力に対する応答予測手法としては、吉江ら¹⁾が、応答変位ゼロクロスピーク値の確率密度関数の理論式を基にした予測式を用いて、1質点系を対象とした弾塑性系へのエネルギーの釣合いに基づく応答予測手法を提案した。この手法を超高層免震建物のような免震層の塑性化の程度に応じて振動モード形状が著しく変化する建造物に適用するために、本報では、1質点系で提案されている、ゼロクロスピーク変位の確率密度関数の予測式の多質点系への適用を検証する。

2. ゼロクロスピーク変位の確率密度分布

吉江ら¹⁾は、弾塑性系と等価線形系のエネルギー釣合式が近似的に等値であることを示し、等価線形系を用いて応答変位ゼロクロスピーク値確率密度分布を予測している。弾塑性系のゼロクロスピーク変位 x_i と対応する等価線形系のゼロクロスピーク変位 $eq\ x_i$ の関係は次式となる。

$$\frac{1}{2}k_{eq}eq\ x_i^2 = \begin{cases} \frac{1}{2}k_1 \cdot x_i^2 & (x_i \leq \delta_y) \\ \frac{1}{2}\alpha k_1 \cdot x_i^2 + (1-\alpha)k_1 \cdot \delta_y \cdot x_i - \frac{1}{2}(1-\alpha)k_1 \cdot \delta_y^2 & (x_i \geq \delta_y) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 k_{eq} ：等価バネ係数、 α ：剛性比。弾塑性系のゼロクロスピーク変位 x_i の発生確率 $p(x_i)$ と対応する等価線形系のゼロクロスピーク変位 $eq\ x_i$ の発生確率 $p'(eq\ x_i)$ が等しいとにおいて、

$$p(x_i)dx_i = p'(eq\ x_i)d\ eq\ x_i \quad (2)$$

等価線形系の $eq\ x_i$ はレーリー分布に従うので、弾塑性系の x_i の確率分布は (1) 式を x_i について解き、(2) 式に代入して求めることが出来る。3.2 節、図 6, 7 に提案式として示した破線は、以上のようにして求めた弾塑性系のゼロクロスピーク変位 x_i の確率分布の予測値である。

3. 多質点モデルでの検証

3.1 検証モデルと風外力の概要

本報では、上部構造を1次モードが直線のモデルとし(図1)その下に免震層を設定した11質点せん断型モデルとする。図2に対象モデルの概要を示す。上部構造の減衰定数は $h = 2\%$ の剛性比例とし免震層には内部粘性減衰を考慮しない。免震層の復元力特性を(3)、(4)式により求める。

$${}_d Q_y = ({}_u W + {}_b W) \cdot {}_d \alpha_y, \quad {}_d K_1 = {}_d Q_y / {}_d \delta_y \quad (3), (4)$$

ただし、 ${}_d Q_y$ ：免震層ダンパーの降伏耐力、 ${}_u W$ ：上部構造の重量、 ${}_b W$ ：免震層の重量、 ${}_d \alpha_y$ ：ダンパーの降伏せん断力係数、 ${}_d K_1$ ：ダンパーの初期剛性、 ${}_d \delta_y$ ：ダンパーの降伏変位(=0.028m)とする。 ${}_d \alpha_y = 0.02 \sim 0.1$ を0.02刻みとしてダンパーの降伏耐力および剛性を変化させて解析を行う。建造物に作用する風外力は風洞実験結果を用いた²⁾。頂部風速 $U_H = 63.8$ m/s (再現期間500年)を想定した。応答値は30波のアンサンブル平均により評価した。図3に検討建物の平面図と風向の定義を示す。検討用風力に風直交方向風力を用いる。

3.2 検証結果

図4に、 ${}_d \alpha_y = 0.06$ の場合の、免震層応答変位時刻歴波形を示す。図には波形を、準静的成分と共振成分に分離³⁾した波形を合わせて示している。境界振動数 f_{bound} は文

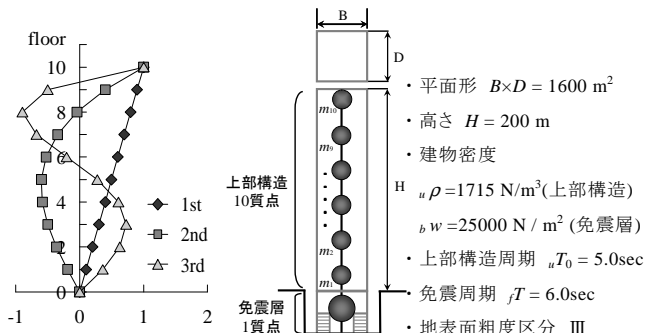


図1 振動モード分布 図2 弾塑性解析モデル概要

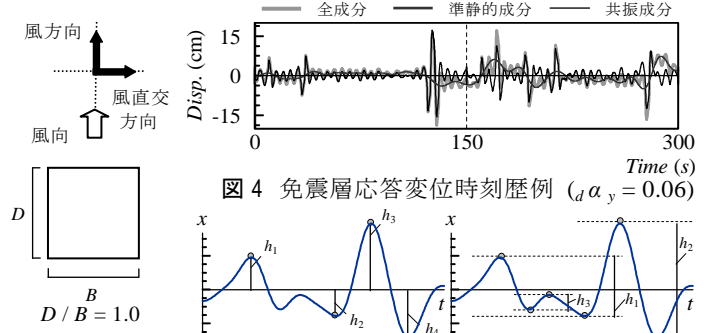


図3 検討建物の平面図と風向の定義 図4 免震層応答変位時刻歴例 (${}_d \alpha_y = 0.06$) 図5 振幅の概念図

献 3 を参考にし、多質点系モデルの弾性時 1 次固有振動数の 1/3 の振動数とする。免震層の応答変位は、準静的成分の振動を中心として、共振成分の応答が振動しており広帯域性の応答となっている。また、準静的成分のみで降伏変形 (2.8cm) を超えており、共振成分とは異なる、力の釣合による履歴吸収エネルギーを生じていると考えられ、応答変位を成分分離して評価する必要があることを確認した。さらに、免震建物のように、ある層が局部的に塑性化するような建築物に対しては、高次モードまで考慮した応答評価が必要である³⁾。本報では、応答変位の成分分離をし、必要に応じてさらに共振成分を 1, 2, 3 次共振成分に分解³⁾して、共振成分について評価を行う。また、確率密度関数の作成方法の違いによる、高次共振成分の影響を比較するために、ゼロクロスピーク変位とレインフロー法の 2 つの方法から確率密度関数を求めた。それぞれの方法による、抽出している振幅の概念図を図 5 に示す。

図 6 に、ダンパー量の違いによる免震層ゼロクロスピーク変位共振成分の確率密度分布を示す。図には塑性率 μ_{Rrms} を併せて示す。ここで、塑性率 μ_{Rrms} とは免震層の応答変位共振成分標準偏差 (以下、 $b\sigma_{xR}$ 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 6 のゼロクロスピークに着目すると、塑性化の小さい $d\alpha_y = 0.1$ において、確率密度分布は概ねレーリー分布に適合することが確認できる。塑性化の大きい $d\alpha_y = 0.04$ において、提案式は弾塑性応答結果と若干の差異が生じているものの、確率密度分布形をよく表しており、共振成分に着目すれば多質点系に適用可能であることがわかる。図 6 のレインフローに着目すると、ダンパー量の違いによる、提案式と確率密度分布の一致具合は、ゼロクロスピークと同程度であるが、ダンパー量に関わらず、極小変位に突出部分のあることがわかる。これはレインフロー法が高次共振成分を捉えやすいためである(図 5 参照)。以上の傾向は、他のダンパー量においても同様に確認できた。

図 7 に、図 6 で示した結果の、1 次共振成分に着目した確率密度分布を示す。図 6, 7, ゼロクロスピークを比較すると、ゼロクロスピーク変位を用いた確率密度関数は、高次共振成分の影響をほとんど受けないことがわかる。一方、図 6, 7, レインフローを比較すると、極小変位に見られた突出部は解消されているが、提案式と確率密度分布の一致具合は、高次共振成分の有無にかかわらず同程度であることがわかる。また、図 7, $d\alpha_y = 0.04$ に着目すると、確率密度関数の作成方法の違いによらず、提案式と分布系の一致具合は同程度であることがわかる。これらの傾向は、他のダンパー量においても同様に確認できた。以上より、提案式を多質点系に適用する際、共振成分をさらに分割しなくとも、ゼロクロスピーク変位の確率密度関数を用いることで、応答変位の最大値予測¹⁾をすることが可能だと考えられる。し

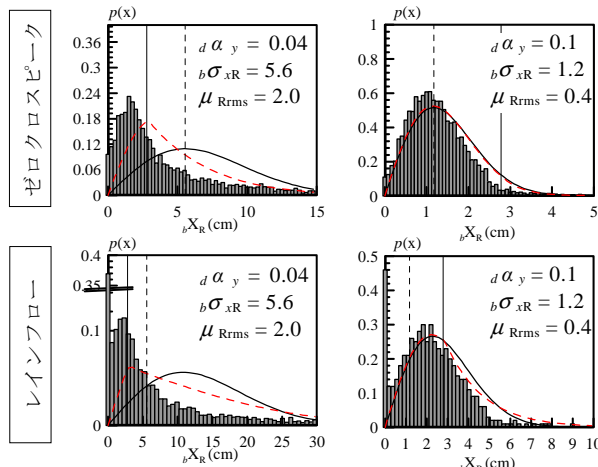


図 6 応答変位共振成分確率密度分布

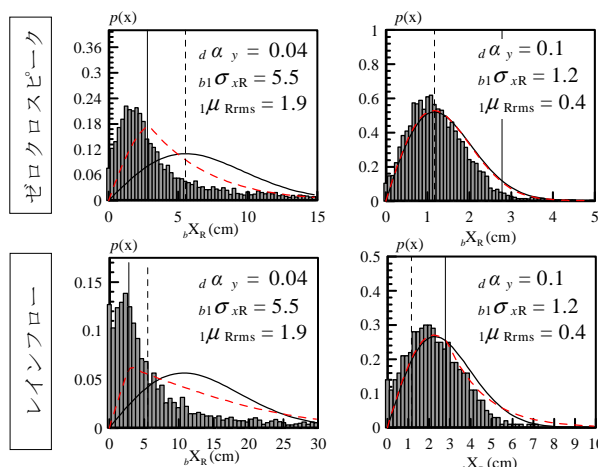


図 7 応答変位 1 次共振成分確率密度分布

かし、免震層の疲労を評価・予測する際には、高次共振成分の影響を考慮する必要がある。

4. まとめ

1 質点系で提案されている、ゼロクロスピーク変位の確率密度関数の予測式は、共振成分に関して、多質点系でも適用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。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉江ら：エネルギーの釣合いに基づく変動風力を受ける弾塑性構造物の応答予測手法, 日本建築学会構造系論文集第 589 号, pp.59-66, 2005.3
- 2) 片桐ら：高層免震建築物の一般化風力特性, 日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp.139 - 140, 2010.9
- 3) 平井ら：変動風力を受ける超高層建築物の高次モード応答特性, 日本建築学会技術報告集, 第 38 号, 2012.2

*東京理科大学大学院 **株式会社 日建設計
東京理科大学 助教 *東京理科大学 教授

* Tokyo Univ. of Science ** Nikken Sekkei Ltd.
*** Assistant Professor, Tokyo Univ. of Science **** Professor, Tokyo Univ. of Science