T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	狭帯域性の変動風力を受ける超高層免震構造物の応答変位確率密度分布
Title(English)	
著者(和文)	小川諒, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸
Authors(English)	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典(和文)	日本風工学会誌, Vol. 38, No. 135, pp. 181-182
Citation(English)	, Vol. 38, No. 135, pp. 181-182
発行日 / Pub. date	2013, 4

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

狭帯域性の変動風力を受ける超高層免震構造物の応答変位確率密度分布

Probability Distribution Function of Response Amplitude for a Base-isolated High-rise Building Subjected To Narrow-Band Fluctuating Wind Force

○小川　諒[1)]　吉江　慶祐[2)]　佐藤　大樹[3)]　北村　春幸[4)]
Ryo OGAWA[1)]　Keisuke YOSHIE[2)]　Daiki SATO[3)]　Haruyuki KITAMURA[4)]

１．はじめに

近年，免震建物の高層化が進んでおり，風外力に対する構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。構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，実用的には，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。しかし，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構造物に適応するために，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。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 $p'({}_{eq}x_i)$ が等しいとおいて，

$$\frac{1}{2}k_{eq}\cdot{}_{eq}x_i^2=\begin{cases}\dfrac{1}{2}k_1\cdot x_i^2 & (x_i\le\delta_y)\\ \dfrac{1}{2}\alpha k_1\cdot x_i^2+(1-\alpha)k_1\cdot\delta_y\cdot x_i-\dfrac{1}{2}(1-\alpha)k_1\cdot\delta_y^2 & (x_i\ge\delta_y)\end{cases} \tag{1}$$

$$p(x_i)dx_i=p'({}_{eq}x_i)d\,{}_{eq}x_i \tag{2}$$

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 3, 4 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，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 1 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。図 2 に検討建物の平面図と風向の定義を示す。

$${}_dQ_y=({}_uW+{}_bW)\cdot{}_d\alpha_y \tag{3}$$

$${}_dK_1={}_dQ_y/{}_d\delta_y \tag{4}$$

ただし，${}_dQ_y$：免震層ダンパーの降伏耐力 (kN), ${}_uW$：免震

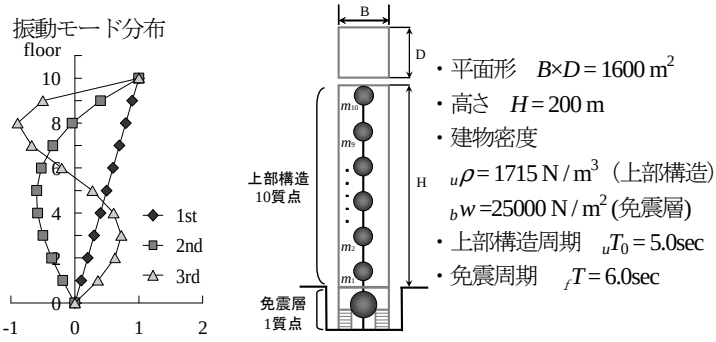

Figure1　Analysis model

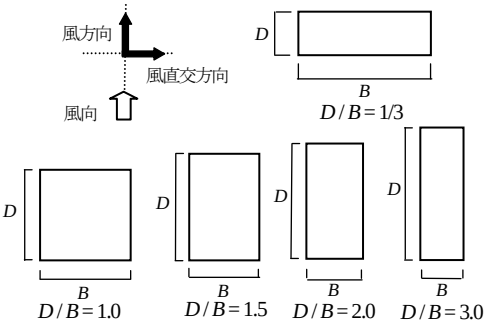

Figure2　Definition of Wind direction and Plan view

1)　東京理科大学理工学部建築学科　大学院生
Graduate Student , Tokyo University of Science
2)　株式会社　日建設計　博士（工学）
Nikken Sekkei Ltd. , Dr.Eng.
3)　東京理科大学　助教　博士（工学）
Assistant Professor, Tokyo University of Science, Dr.Eng.
4)　東京理科大学　教授　博士（工学）
Professor, Tokyo University of Science, Dr.Eng.

層の重量 (kN), ${}_bW$:上部構造の重量, ${}_d\alpha_y$:ダンパーの降伏せん断力係数, ${}_dK_1$:ダンパーの初期剛性 (kN/m), ${}_d\delta_y$: ダンパーの降伏変位 (= 0.028m) とする。${}_d\alpha_y$ = 0.02 ~ 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。

構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。検討用風力に風直交方向風力を用いる。

３．２　検証結果

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。境界振動数 f_{bound} は文献 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。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。

図 3 に，辺長比 D/B = 1.0 における，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_{Rms} を併せて示す。ここで，塑性率 μ_{Rms} 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 3, ゼロクロスピークに着目すると，塑性化の小さい ${}_d\alpha_y$ = 0.08 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 においては，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応可能であることがわかる。図 3, 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，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。以上の傾向は，他のダンパー量，辺長比においても同様に確認できた。図 4 に，図 3 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 3, 4, 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 3, 4, 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ことがわかる。この傾向は，他のダンパー量，辺長比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応する際，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ため，共振成分をさらに分解[3]して，レインフロー法を用いる必要があると考えられる。

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，辺長比の違いによらず，共振成分に関して，多質点系でも適応可能であることを示した。

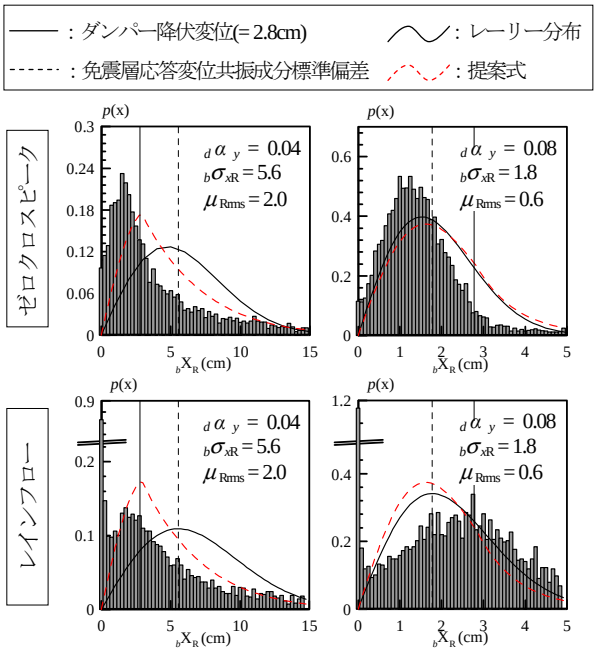

Figure 3　Probability Distribution Function of Response Amplitude (Resonance ingredient)

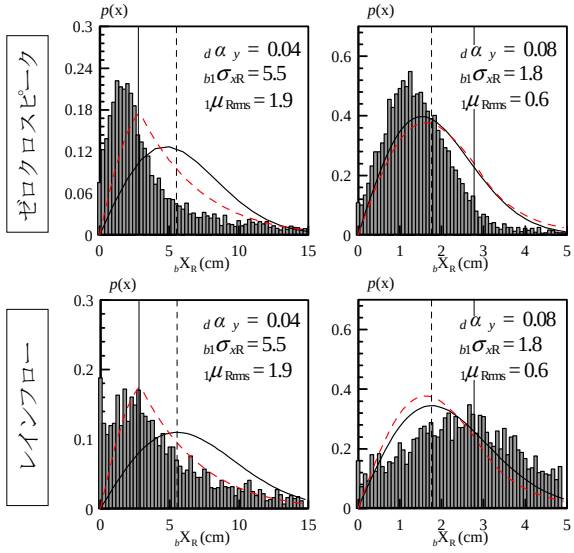

Figure 4　Probability Distribution Function of Response Amplitude (1st mode)

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） 吉江慶祐，北村春幸，大熊武司：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） 片桐純治，大熊武司，鶴見俊雄 ： 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） 平井宏幸，吉江慶祐，佐藤大樹，鈴木悠也，北村春幸：変動風力を受ける超高層免震建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. 12