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)	風力のサンプル数が超高層免震建築物の弾塑性風応答評価に及ぼす影響
Title(English)	INFLUENCE OF NUMBER OF WIND-FORCE SAMPLES ON RESPONSE OF HIGH-RISE BASE-ISOLATED BUILDING USING ELASTOPLASTIC MODEL
著者(和文)	齋藤元紀, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 大熊武司, 片桐純治, 北村春幸
Authors(English)	Genki Saito, Daiki Sato, Keisuke Yoshie, Takeshi Ohkuma, Junji KATAGIRI, Haruyuki Kitamura
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 22, No. 53, pp. 65-70
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 22, No. 53, pp. 65-70
発行日 / Pub. date	2017, 2
権利情報	日本建築学会
Relation	https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/23/53/23_65/_article/-char/ja/
Note	本文データは学協会の許諾に基づきJ-STAGEから複製したものである

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

日本建築学会技術報告集　第23巻　第53号，65-70，2017年2月
AIJ J. Technol. Des. Vol. 23, No.53, 65-70, Feb., 2017
DOI http://doi.org/10.3130/aijt.23.65

風力のサンプル数が超高層免震建築物の弾塑性風応答評価に及ぼす影響

INFLUENCE OF NUMBER OF WIND-FORCE SAMPLES ON RESPONSE OF HIGH-RISE BASE-ISOLATED BUILDING USING ELASTOPLASTIC MODEL

齋藤元紀 ――― ＊1　佐藤大樹 ――― ＊2
吉江慶祐 ――― ＊3　大熊武司 ――― ＊4
片桐純治 ――― ＊5　北村春幸 ――― ＊6

Genki SAITO ――― ＊1　Daiki SATO ――― ＊2
Keisuke YOSHIE ――― ＊3　Takeshi OHKUMA ――― ＊4
Junji KATAGIRI ――― ＊5　Haruyuki KITAMURA ――― ＊6

キーワード：
風力，時刻歴応答解析，多質点，アンサンブル平均，
超高層免震建築物

Keywords:
Wind force, Time-history analysis, Multi-degree of freedom, Ensemble average, High-rise base-isolated building

In estimating the wind-induced responses through time-history analysis based on stationary random process, its responsive value must be dealt with numerous numbers of statistics. However, the designing value is often determined from the small number of samples because of limited time and expense in practice. So, it is important and necessary to estimate dispersion of wind response from small number of samples.
In this paper, the influence on wind responses of elastoplastic multi-degree of freedom system model due to the difference in the number of samples used as an ensemble average is elucidated.

1　はじめに

耐風設計において，建築物の構造体は想定される最大の風外力に対して弾性挙動に収まるよう設計することが一般的である。しかし，近年免震建築物の高層化に伴い免震層が風荷重により塑性化する場合が想定されるため [2]，耐風設計においては塑性範囲も含めた風応答評価が必要となるケースが増えている。

弾塑性範囲における風応答評価には，時刻歴応答解析を用いた動的解析やエネルギー釣合に基づく応答予測手法 [3), 4)]などがある。時刻歴応答解析による風応答評価は，定常確率過程のモンテカルロシミュレーション法による評価であり，応答値は多数の応答の統計量として扱う必要がある。しかし，時間，費用には制限があり，限られた風力データのサンプル数から設計値を決定することが少なくない [5]。モンテカルロシミュレーション法では，サンプル数が多いほど期待値に近づくが，少ない場合には期待値からの誤差があることに注意しなければならず [6]，適切な応答のアンサンブル平均に必要なサンプル数を把握する必要がある。

このような背景から，文献 7)では 1 質点弾性系モデル，文献 8)では多質点弾性系モデルを用いてサンプル数の違いによるアンサンブル平均のばらつきを三角級数モデルにより作成した模擬風力波形を用いて検討している。また，文献 9)では風洞実験より得られる風力データを用いて検討している。しかし，塑性範囲も含めた超高層免震建築物を対象とした風力時刻歴波形のサンプル数による風応答のアンサンブル平均のばらつきの検討は未だ行われていない。

そこで本報では，風洞実験より得られた層風力のサンプル数が風応答およびエネルギー入力のアンサンブル平均に与える影響を，超高層免震建築物を想定した多質点弾塑性系モデルを用いて検討し，時刻歴応答解析による風応答評価を行う際の基礎資料を提示することを目的とする。

本報の構成を示す。まず，風洞実験から得られた層風力のばらつきを変動風力係数の変動係数に基づき評価する。次に，多質点弾塑性系モデルによる時刻歴応答解析を行う。なお本報では，風力のサンプル数が超高層免震建築物の弾塑性応答に及ぼす影響を評価する初期段階として，検討用風力は平均成分を含まない風方向および風直交方向に注目して，それぞれ単独で入力して検討を行う。

2　検討建築物および風外力の概要

2．1　検討対象建築物の概要

本報における解析モデルの概要を図 1 に示す。検討建築物は超高層免震建築物を対象とした高さ $H = 200$ m，上部構造の 1 次モードを直線 [10]とし，その下に免震層を設置した 11 質点せん断型モデルとする。構造減衰は上部構造のみの 1 次固有周期 ${}_{1u}T = 5.0$ s に対して，減衰定数 $\xi = 2$ %の剛性比例とし，免震層には内部粘性減衰を与

本稿は文献 1) に加筆修正したものである。

*1　東京工業大学総合理工学研究科人間環境システム専攻　大学院生
（〒226-8503　神奈川県横浜市緑区長津田町 4259）
*2　東京工業大学未来産業技術研究所　准教授・博士（工学）
*3　㈱日建設計構造設計部　博士（工学）
*4　神奈川大学工学研究所　客員教授・工博
*5　㈱泉創建エンジニアリング都市環境技術研究所　博士（工学）
*6　東京理科大学理工学部建築学科　教授・博士（工学）

*1　Graduate Student, Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology
*2　Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
*3　Nikken Sekkei Ltd., Dr. Eng.
*4　Prof. Emeritus, Institute of Technology, Kanagawa Univ., Dr. Eng.
*5　Urban Environment Research Center, Izumi Sohken Engineering Co., Ltd., Dr. Eng.
*6　Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

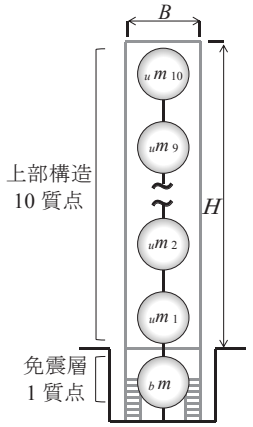


図 1　弾塑性解析モデル概要

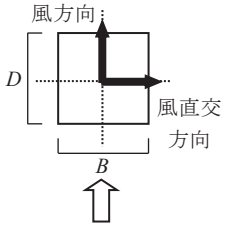
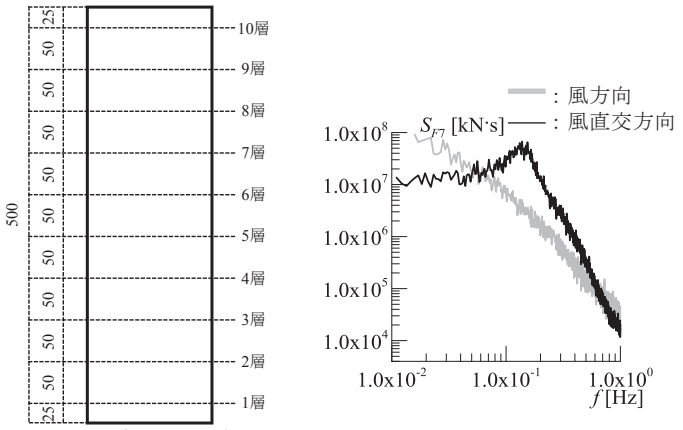


図 2　建築対象建築物の平面図と風向の定義



(a)　層風力の測定レベル(単位：mm)　(b)　上部構造 7 層層風力の PSD

図 3　風洞実験模型と風力特性

表 1　解析モデル諸元

モデル名			基準	BT	UW
平面形	A	[m^2]	1,600		
辺長比	D/B	[-]	1.0		
高さ	H	[m]	200		
上部構造 密度	${}_u\rho$	[kg/m^3]	175	175	312.5
上部構造 1次周期	${}_{1u}T$	[s]	5.0		
免震層 密度	${}_b\rho$	[kg/m^3]	2,551		
免震層 1次周期	${}_{1b}T$	[s]	6.0	8.0	6.0

えない。表 1 に解析モデルの諸元を示す。本報では 3 種類のモデルを用意した。表中左のモデルを基準モデルとし，他に基準モデルから免震層周期のみ ${}_{1b}T = 8.0$ s としたモデル(BT モデル)，上部構造重量のみ ${}_u\rho = 312.5$ kg/m^3 としたモデル(UW)を用いて検討を行った。図 2 に検討対象建築物の平面図と風向の定義を示す。上部構造は弾性とする。ダンパーは完全弾塑性型のバイリニアとして，ダンパーの降伏変位 ${}_d\delta_y = 0.028$ m とする。解析パラメータとしてダンパーの降伏せん断力係数 ${}_d\alpha_y$ (= 免震層におけるダンパーの降伏耐力 / 総重量，以下，ダンパー量) = 0.02，0.04，0.06，0.10 の 4 種類を用いる。免震層の諸元は(1) ~ (3)式より算出される。

$$ {}_{1d}K = ({}_uW + {}_bW) \cdot {}_d\alpha_y / {}_d\delta_y \tag{1} $$

$$ {}_{1f}K = 4\pi^2({}_uW + {}_bW)/({}_{1b}T^2 \cdot g) \tag{2} $$

$$ {}_{1b}K = {}_{1f}K + {}_{1d}K \tag{3} $$

ここで，${}_{1d}K$: 免震層におけるダンパーの初期剛性，${}_uW$: 上部構造総重量，${}_bW$: 免震層重量，${}_{1f}K$: 免震層におけるアイソレータの初期剛性，${}_{1b}T$: 上部構造を剛体とした場合の免震層の 1 次周期(以下，免震層周期)，g : 重力加速度，${}_{1b}K$: 免震層の初期剛性とする。

2．2　風力特性の概要および解析条件

本報では，建築物に作用する風力に風洞実験結果[11]を用いた。実験気流は「建築物荷重指針・同解説」[12]の地表面粗度区分Ⅲの気流を目標に作成された。実験模型は縮小率 1/400 として，高さ $H' = 0.5$ m, $D/B = 1.0$, 平面積 $A' = 0.01$ m^2 の角柱模型とし，層風力の測定は，図 3(a)に示す 10 層分測定した。なお，実験方法および実験条件の詳細に関しては文献 11)を参照されたい。本報における検討用風力は平均成分を含まない変動成分のみの風方向風力および風直交方向風力とする。風速は，再現期間 500 年に相当の頂部風速 $U_H = 63.8$ m/s

表 2　サンプル数と case の関係

サンプル数(n)	1	5	10	20	30	40	50	60
case 数(m)	60	12	6	3	2	2	1	1

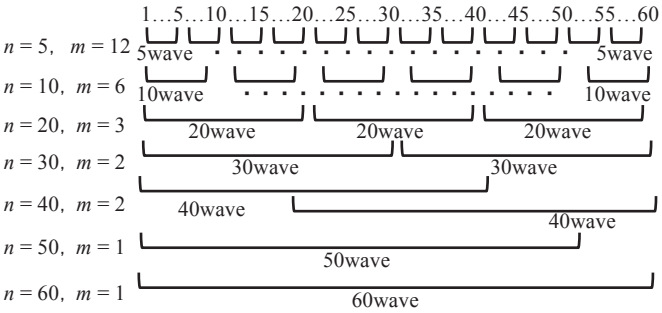


図 4　サンプル数と case の関係の概要

および 100 年相当の $U_H = 54.9$ m/s の 2 種類を用いる。図 3 に上部構造 7 層層風力のパワースペクトル密度 S_{F7} を示す。時刻歴応答解析に用いる検討用風力波系は，1 波につき 10 質点分の変動風力波形を 0.05 s 刻み 14,000 ステップで，全体の風力データから一部重なるように 700 s × 60 波を取り出した。各風力波形は，解析開始時の過渡応答の影響を避けるため先頭 50 s にエンベロープを設けた後，50 ~ 650 s の間(10 分)で各応答を検討する。

本報では，風洞実験より得られた層風力のサンプル数が応答のアンサンブル平均に与える影響を検討するため，サンプル数を 8 種類 (1，5，10，20，30，40，50，60)用いる。表 2 および図 4 に風洞実験により抽出した層風力のサンプル数 n と case 数 m の関係を示す。なお，case 数とは全 60 波から 1 ~ 60 波の各サンプル数で算出した標本集団を示す。例えば，サンプル数 $n = 5$，case 数 $m = 12$ とは，層風力のサンプル数 5 波でアンサンブル平均を行った結果が 12case あるということを示す。ただし，サンプル数 40 波の場合のみ，検討風力 60 波のうち，1 ~ 40 波および 21 ~ 60 波での結果を用いて検討しており，20 個の結果が重複している。

次に，解析に用いる層風力の風力特性を示す。(4)式よりサンプル数(n)における case 数(m)の風力に対する i 層層風力の変動風力係数 $C'^{(n,m)}_{Fi}$ を算出した。(5)式はサンプル数(n)における i 層の風力の変

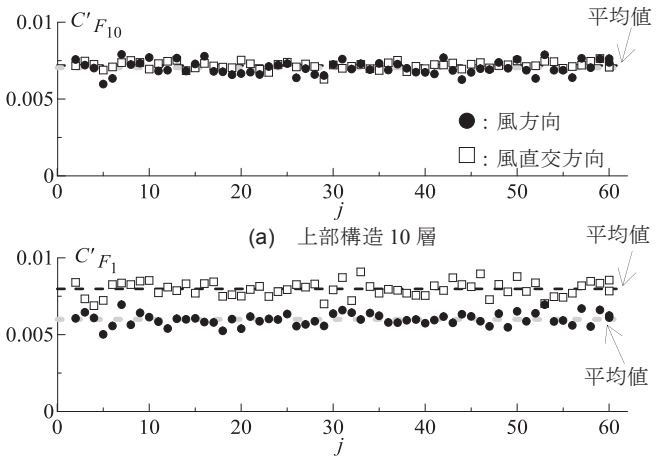


図 5 層風力の変動風力係数
(サンプル数 $n = 1$，case 数 $m = 60$)

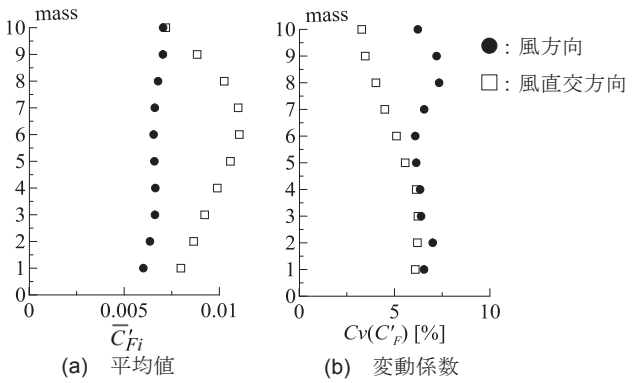


図 6 層風力の変動風力係数
(サンプル数 $n = 1$，case 数 $m = 60$)

動風力係数の平均値 $\overline{C'_{Fi}}^{(n)}$ を示す。

$$C'_{Fi}{}^{(n,m)} = \frac{\sigma_{Fi}{}^{(n,m)}}{q_{Hi} \cdot \sqrt{A} \cdot H} \tag{4}$$

$$\overline{C'_{Fi}}^{(n)} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} C'_{Fi}{}^{(n,j)} \tag{5}$$

ここで，$\sigma_{Fi}{}^{(n,m)}$ ：i 層における風力の標準偏差を示す。なお，j は case 数内(1 ~ m)での番号，右下添字の i (i = 1 ~ 10)は上部構造層数を表す。本節では層風力 1 波ごとの風力特性を検討するため，$n = 1$，$m = 60$ となっている。

図 5 に上部構造 10 層の変動風力係数 $C'^{(1,60)}_{F10}$ および 1 層の変動風力係数 $C'^{(1,60)}_{F1}$ を示す。図中破線は風方向および風直交方向それぞれの変動風力係数 $\overline{C'_{Fi}}^{(60)}$ の平均値を示している。変動風力係数は，風方向，風直交方向共に case 数によらず概ね同程度であることが確認できる。また，この傾向は全層で同様であることを確認している。次に，層ごとに全 60 波における変動風力係数の変動係数 $Cv(C'_{Fi})$ を(6)式より算出した。

$$Cv(C'_{Fi}) = \frac{\sigma_{C'_{Fi}}}{\overline{C'_{Fi}}} \tag{6}$$

ここで，$\sigma_{C'_{Fi}}$ ：i 層における変動風力係数の標準偏差を表す。

図 6(a), (b)に全 60 波における変動風力係数の平均値 $\overline{C'_{Fi}}$ および変動係数 $Cv(C'_{Fi})$ の高さ方向分布を示す。それぞれの図に風方向および風直交方向の結果を示している。図 6(b)より変動風力係数の変動係数は，風方向風力で 6~8%，風直交方向で 3~6%程度であることが確認できる。

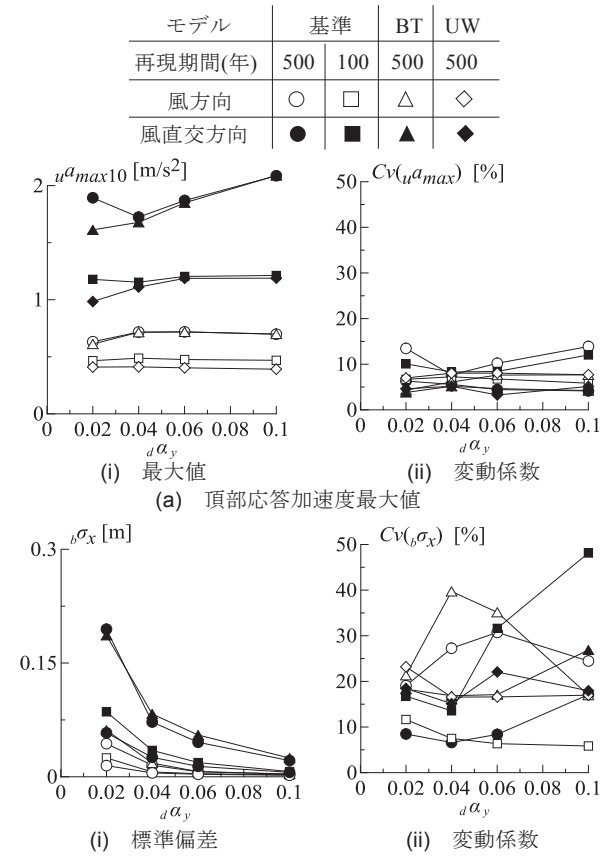


図 7 ダンパー量の違いによる応答値及び変動係数の変化
(サンプル数 $n = 60$，case 数 $m = 1$)

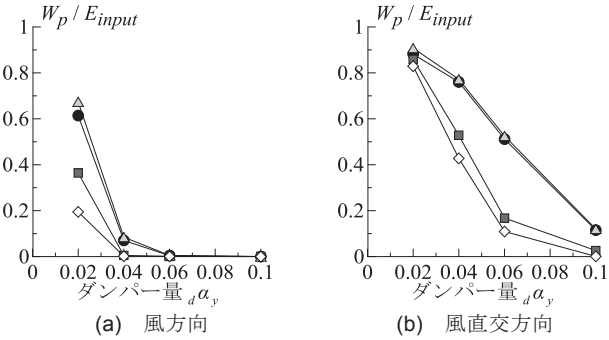


図 8 エネルギー入力に占める吸収エネルギーの割合
(サンプル数 $n = 60$，case 数 $m = 1$)

3 時刻歴風応答解析結果のばらつきの検討

3．1 応答の変動係数

本節では，全 60 波の風力波形を用いて時刻歴応答解析を行い，変

動係数により応答値のばらつきを検討する。ただし，再現期間 100 年の風力は基準モデルにのみ用い，BT モデルおよび UW モデルにおいては再現期間 500 年の風力を用いて解析を行った。次に，応答およびエネルギー入力のアンサンブル平均のばらつきを検討するため，それぞれについて変動係数を算出する。各応答の変動係数 $Cv(Z)$ は(7)式より算出した。なお，Z は各応答(頂部応答加速度最大値 ${}_u a_{max10}$，免震層層間変位標準偏差 ${}_b\sigma_x$，エネルギー入力 E_{input})を表している。

$$Cv(Z)=\frac{\sigma_Z{}^{(1,60)}}{\bar{Z}^{(1,60)}} \tag{7}$$

ここで，$\sigma_Z{}^{(1,60)}$：サンプル数 60 波における応答の標準偏差，$\bar{Z}^{(1,60)}$：サンプル数 60 波における応答の平均値を示す。

図 7(a)，(b)にサンプル数 60 波における頂部応答加速度の最大値および免震層層間変位の標準偏差を示す。また，図 8 にエネルギー入力 E_{input} に占める免震層が吸収したエネルギー W_p の割合を示す。図 7 より基準モデルの応答に関して，頂部応答加速度最大値および免震層層間変位標準偏差ともに，基準モデルと BT モデルは概ね同程度の応答となり，UW モデルが他モデルと比べ低い応答を示した。図 7(a)(ii)の頂部応答加速度最大値の標準偏差は，ダンパー量が同じ場合，モデルにより 2 倍程度異なるが全体的な値は 15%以下となっている。一方，図 7(b)(ii)の免震層層間変位標準偏差は，頂部応答加速度最大値とは異なり風方向および風直交方向，ダンパー量ごとに各モデルの変動係数に大きな変化が見られた。これは免震層の塑性化によるものと思われる。弾性状態の時の応答と塑性化する場合で応答の差が大きくなり標準偏差が大きくなったため変動係数が増加したと考えられる。一方，再現期間 100 年の風力向 ${}_d\alpha_y$ ＝ 0.04 ~0.10 において，免震層はほぼ弾性状態であり(図 8)，応答が安定しているため変動係数は 5 ~ 7%と低い値となった。以上のことから，多質点弾塑性系モデルにおいて免震層層間変位の変動係数は免震層の塑性化による影響を受け，応答のサンプル数 60 波の中で弾性応答にとどまる時と免震層が塑性化する場合が混在する場合において，変動係数が大きくなることが分かった。

３．２　サンプル数の違いによる応答のアンサンブル平均の変化

本節では，サンプル数の違いによる応答のアンサンブル平均の変化を検討する。なお前章の結果より，各ダンパー量において，再現期間 500 年の風力を用いた基準モデルが最も大きい応答値を示していることから，本節以降において，解析モデルに関しては基準モデル，風力に関しては再現期間 500 年の解析結果に着目して検討していくものとする。

図 9 に各サンプル数における応答の解析結果をダンパー量ごとに示す。ここで，図 9 における Z (●，■，▲，◆)はサンプル数(n)，case 数(m)における各応答のアンサンブル平均(${}_u a_{max10}$， ${}_b\sigma_x$， E_{input})，$\bar{Z}$ (○，□，△，◇)はサンプル数(n)における各応答値のアンサンブル平均(${}_u\bar{a}_{max10}$， ${}_b\bar{\sigma}_x$， $\bar{E}_{input}$)を示す。図 9 より，サンプル数が増加するほど，各 case 数の応答値は平均値に近づく傾向が見られる。各応答値はそれぞれ図 9(a)風方向に比べ図 9(b)風直交方向の方が大きい値となっている。また，他のモデルにおいてもこれらの傾向がみられることを確認している。

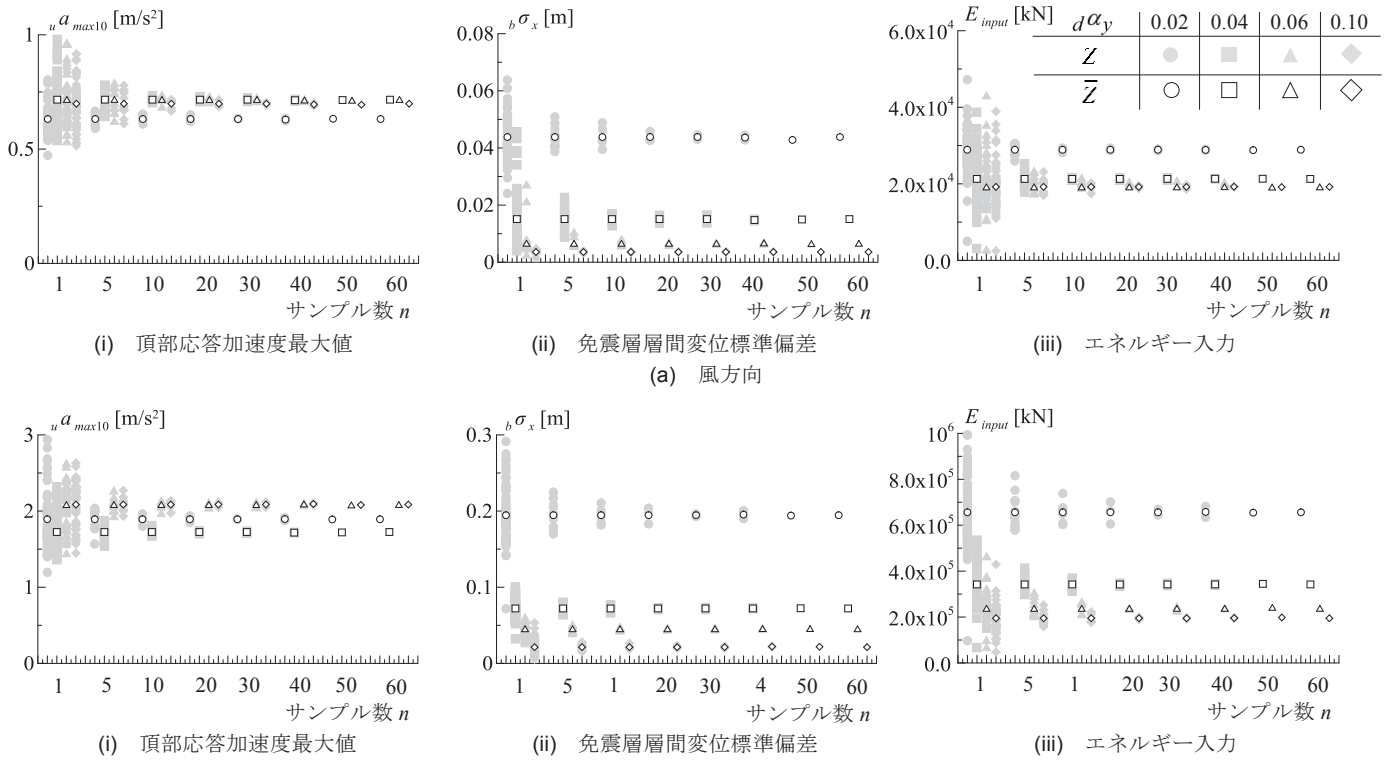


図 9　アンサンブル平均数の違いによる応答の変化(各 n について，左から ${}_d\alpha_y$ ＝ 0.02，0.04，0.06，0.10 の順)
(風力の再現期間 500 年，${}_{1b}T$ = 6.0 s，${}_u\rho$ = 175.0 kg/m³)

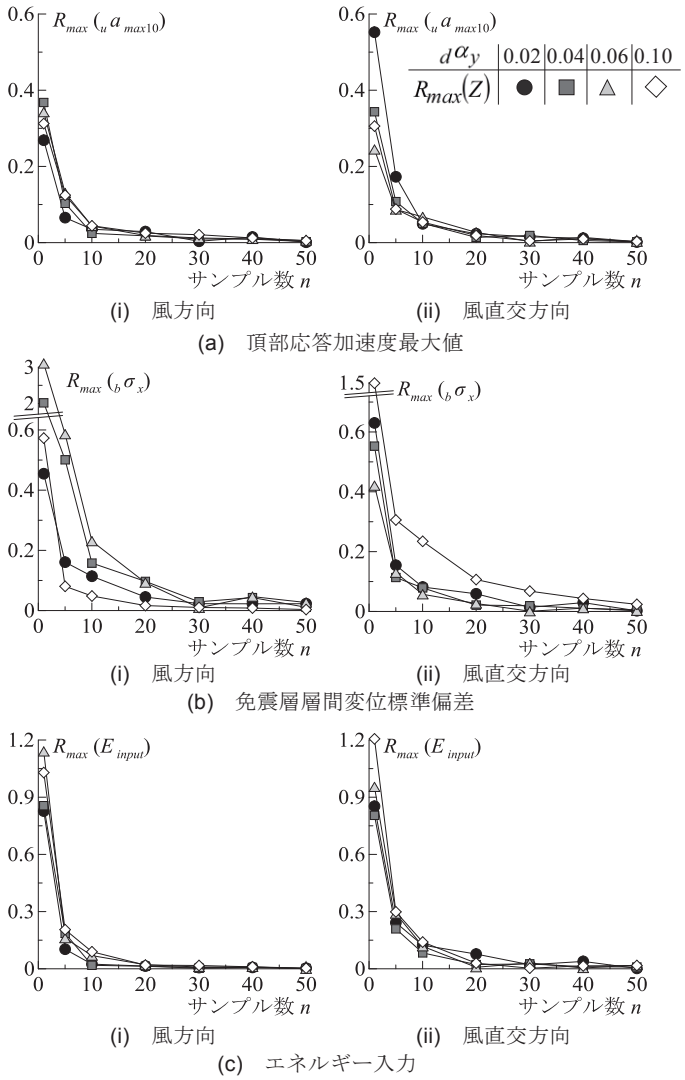
4　サンプル数の違いによる応答のアンサンブル平均のばらつき

各サンプル数における応答の平均値が，本報における最大のサンプル数である 60 波における応答値と概ね同程度であったことから，本章ではサンプル数 60 波における応答結果を基準値として扱い，各サンプル数における応答値のアンサンブル平均が基準値(60 波)からどの程度誤差(以下，ばらつき)を有するか検討する。基準値からのばらつきを表す指標として，文献 9)を参考にして，(8)式および(9)式を導入した。(8)式はサンプル数(n)および case 数(m)における応答値の基準値 $Z^{(60,1)}$ との誤差 $R(Z)^{(n,m)}$，(9)式はサンプル数(n)ごとにおける $R(Z)^{(n,m)}$ の平均値 $\overline{R}(Z)^{(n)}$ を示す。

$$R(Z)^{(n,m)} = \frac{\left| Z^{(n,m)} - Z^{(60,1)} \right|}{Z^{(60,1)}} \tag{8}$$

$$\overline{R}(Z)^{(n)} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} R(Z)^{(n,j)} \tag{9}$$

図 10 に頂部応答加速度最大値，免震層層間変位標準偏差およびエネルギー入力のサンプル数ごとにアンサンブル平均のばらつきの最大値 $R_{max}(Z)$，図 11 に平均値 $\overline{R}(Z)$ を風方向および風直交方向でそれぞれ示す。図 10(a)の頂部応答加速度最大値より，風方向の場合，サンプル数 $n = 1$ で基準値から最大 0.3 ~ 0.4 倍，$n = 10$ で最大 0.03 ~ 0.05 倍ばらつきがでることがわかる。風直交方向の場合，ばらつきは $n = 1$ で最大 0.3 ~ 0.6 倍，$n = 10$ で最大 0.05 倍程度の結果となった。風方向，風直交方向ともに，$n = 1$ の場合ダンパー量ごとにばらつきが異なるが，サンプル数が増加する程ダンパー量の違いによるばらつきの変化が小さくなり，$n = 10$ 以上ではほぼ同程度のばらつきとなった。図 10(b)の免震層応答変位標準偏差より，風方向の場合，基準値からのばらつきは $n = 1$ で最大 0.4 ~ 3.0 倍，$n = 10$ で最大 0.05 ~ 0.2 倍程度，風直交方向の場合，$n = 1$ で最大 0.4 ~ 1.5 倍，$n = 10$ で最大 0.05 ~ 0.2 倍程度の結果となった。風方向，風直交方向それぞれにおいて，ダンパー量ごとにばらつきに大きな差があり，風方向では ${}_d\alpha_y$ ＝ 0.04，0.06，風直交方向では ${}_d\alpha_y$ ＝ 0.10 のばらつきが増加しているがことがわかる。これは，ダンパー量ごとに免震層の塑性化の程度が異なることにより応答にばらつきがでたためと思われる。風方向 ${}_d\alpha_y$ ＝ 0.04，0.06 および風直交方向 ${}_d\alpha_y$ ＝ 0.10 の免



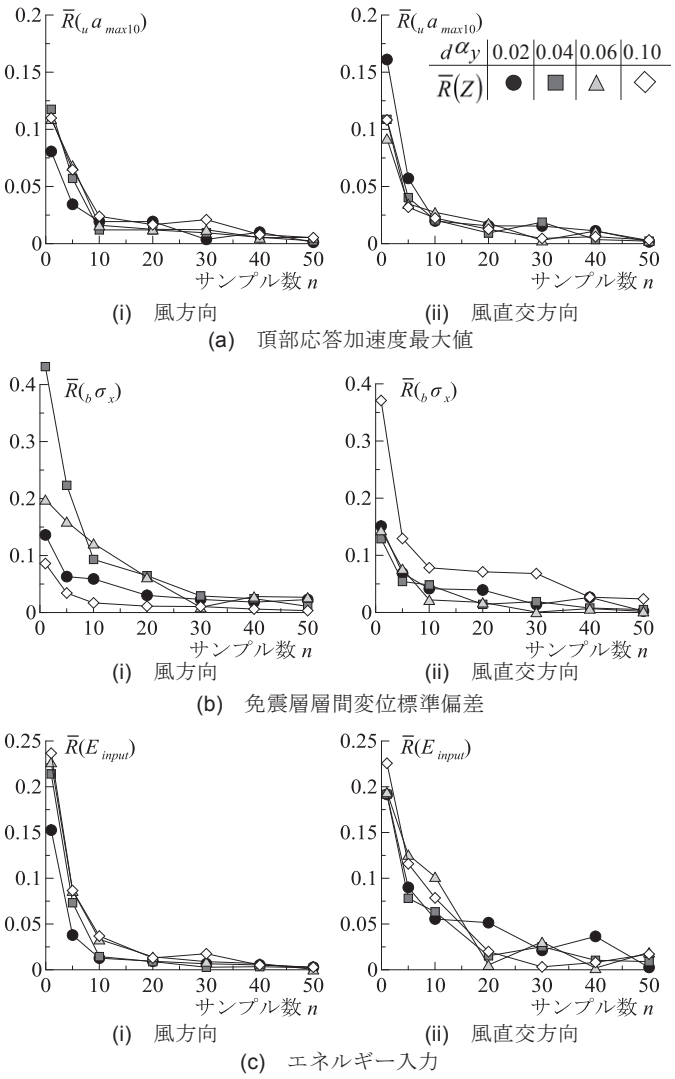
(i)　風方向　(ii)　風直交方向

(a)　頂部応答加速度最大値

(b)　免震層層間変位標準偏差

(c)　エネルギー入力

図 10　応答のアンサンブル平均のばらつきの最大値
(風力の再現期間 500 年，${}_{1b}T = 6.0$ s，${}_u\rho = 175.0$ kg/m^3)



(i)　風方向　(ii)　風直交方向

(a)　頂部応答加速度最大値

(b)　免震層層間変位標準偏差

(c)　エネルギー入力

図 11　応答のアンサンブル平均のばらつきの平均値
(風力の再現期間 500 年，${}_{1b}T = 6.0$ s，${}_u\rho = 175.0$ kg/m^3)

震層層間変位は，弾性状態の時と塑性化しているときが混在しており，応答に差がでたためばらつきが増加したと考えられる(図 8 参照)。図 10(a)頂部応答加速度最大値の結果と比較すると，ダンパー量が同じ場合，免震層層間変位標準偏差のばらつきのほうが大きい結果となった。図 10(c)のエネルギー入力より，風方向の場合，基準値からのばらつきは $n = 1$ で最大 0.8 ~ 1.2 倍，$n = 10$ で最大 0.08 ~ 0.12 倍程度，風直交方向の場合，$n = 1$ で最大 0.8 ~ 1.2 倍，$n = 10$ で最大 0.1 ~ 0.15 倍程度の結果となった。図 10(a)頂部応答加速度最大値と同様に，$n = 10$ 以上でダンパー量にかかわらず，ばらつきは概ね同じ値となった。

図 11(a)頂部加速度最大値のアンサンブル平均の基準値からのばらつきは，風方向の場合 $n = 1$ で平均 0.12 ~ 0.08 倍，$n = 10$ で平均 0.08 ~ 0.03 倍程度，風直交方向の場合，$n = 1$ で平均 0.4 ~ 1.5 倍，$n = 10$ で平均 0.05 ~ 0.2 倍程度の結果となった。図 10(a)ばらつきの最大値と比べ平均値は 1 / 3 程度の値となった。また，平均値は最大値と同様の傾向がみられた。図 11(b)免震層層間変位標準偏差のアンサンブル平均のばらつきは，風方向の場合 $n = 1$ で平均 0.1 ~ 0.4 倍，$n = 10$ で平均 0.36 ~ 0.12 倍程度，風直交方向の場合，$n = 1$ で平均 0.4 ~ 1.5 倍，$n = 10$ で平均 0.05 ~ 0.2 倍程度となり，$n = 1$ で最大値と比べ 1 / 4 程度の値となった。図 11(c)エネルギー入力のアンサンブル平均のばらつきは，風方向の場合 $n = 1$ で平均 0.15 ~ 0.25 倍，$n = 10$ で平均 0.03 ~ 0.08 倍程度，風直交方向の場合，$n = 1$ で平均 0.18 ~ 0.24 倍，$n = 10$ で平均 0.05 ~ 0.1 倍程度となり，$n = 1$ で最大値と比べ 1 / 5 程度の値となった。これらの結果よりサンプル数 $n = 1$ では，応答のアンサンブル平均のばらつきは最大で基準値から 0.3 ~ 3.0 倍，平均でも 0.08 ~ 0.4 倍と大きいため，層風力 1 波で解析を行う際は応答値のばらつきに注意が必要であると思われる。なお，基準値からのばらつきを 0.05 倍まで許容する場合，頂部応答加速度最大値で $n = 30$，免震層応答変位標準偏差で $n = 40$，エネルギー入力で $n = 30$ あるとよいと思われる。また，文献 7)で確認されている 1 質点弾塑性系においてサンプル数 $n = 10$ で 0.1 程度のばらつきがあることと比較すると多質点弾塑性系においても概ね同程度のばらつきが見られることがわかった。また，文献 9)における弾性モデルの結果と比較すると，加速度，エネルギー入力については概ね同程度の値となり同様の傾向が見られたが，免震層層間変位標準偏差に関しては本報の方がばらつきは大きい結果となった。これは本報が弾塑性モデルを用いているため，免震層の変位は塑性化の影響によりばらつきが大きくなったためと思われる。全体的な傾向として，風向が同じ場合は，免震層層間変位標準偏差のばらつきがもっとも大きく，頂部応答加速度最大値およびエネルギー入力のばらつきは概ね同程度になること，基準値であるサンプル数 $n = 60$ の応答値からばらつきを 0.05 倍以内に抑えるためには，頂部応答加速度最大値で $n = 30$，免震層層間変位標準偏差で $n = 40$，エネルギー入力で $n = 30$ 必要であることが確認できた。なお，上記の傾向は再現期間 100 年の風力を用いた基準モデル，BT モデルおよび UW モデルにおいても同様の傾向が見られることを確認している。

5　まとめ

本報では，風洞実験より得られた層風力(平均成分を含まない風方向および風直交方向)のサンプル数が頂部応答加速度，免震層層間変位およびエネルギー入力のアンサンブル平均に与える影響を，超高層免震建築物を想定した 11 質点弾塑性系モデルを用いて検討した。限られた範囲ではあるが以下に得られた知見を示す。

(1) サンプル数 60 波における頂部応答加速度最大値の変動係数は，風力の再現期間，風方向および風直交方向，ダンパー量によらず概ね同程度の大きさとなった。

(2) サンプル数 60 波における免震層層間変位標準偏差の変動係数は，塑性化の影響を受けるので，応答が弾性状態と塑性状態の両方を示す場合において変動係数が増加することを確認した。

(3) 応答のアンサンブル平均の基準値(本報においてはサンプル数 60 波の応答結果)からのばらつきは，頂部応答加速度最大値が最も小さく，免震層層間変位標準偏差が最も大きい値を示した。

(4) 基準値からのばらつきを 0.05 倍程度考慮する場合，頂部応答加速度最大値ではサンプル数 30 波，免震層層間変位標準偏差では 40 波，エネルギー入力では 30 波以上サンプル数をとる必要があることを確認した。

(5) 弾性モデルの場合と比較して弾塑性モデルのばらつきは，加速度，エネルギー入力においては同程度となったが，免震層変位は塑性化の影響により弾塑性モデルの方が大きくなることを確認した。

謝辞

本研究は，神奈川大学大熊武司客員教授，(株)泉創建エンジニアリング，(株)日建設計，東京理科大学北村研究室，東京工業大学佐藤研究室による新耐風設計法研究会の成果の一部です。本研究を進めるにあたり，(株)泉創建エンジニアリングの丸川比佐夫博士，鶴見俊雄氏，(株)日建設計の早田友彦氏からご指導を賜りました。ここに記して，皆様には深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 齋藤元紀，佐藤大樹，吉江慶祐，大熊武司，片桐純治，北村春幸：アンサンブル平均数が風応答評価に及ぼす影響(その 2　超高層免震建築物の風応答評価)，日本建築学会学術講演梗概集，2016.8
2) 日本免震構造協会：免震建築物の耐風設計指針，2012.9
3) 吉江慶祐，北村春幸，大熊武司：エネルギー釣合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，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.59- 66，2005.3
4) 鈴木悠也，佐藤大樹，吉江慶祐，北村春幸：エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける超高層免震建物の応答予測手法，日本建築学会学術講演梗概集，B-2，pp281-282，2010.7
5) 佐藤大樹，齋藤元紀，吉江慶祐，大熊武司，片桐純治，北村春幸：アンサンブル平均数が風応答評価に及ぼす影響(その 1　既往論文に基づくアンサンブル平均数の調査)，日本建築学会学術講演梗概集，2016.8
6) 西村宏昭，高森浩治，中川尚大：外装材用ピーク風圧係数のばらつき，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.5- 6，2011.8
7) 吉江慶祐，北村春幸，大熊武司，和田章：時刻歴風応答解析におけるアンサンブル平均のばらつき，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.233 - 234，2005.9
8) 佐藤大樹，鈴木悠也，吉江慶祐，北村春幸：変動風力を受ける超高層免震建築物の応答評価に関する研究(その 1　風応答評価に及ぼすアンサンブル平均のばらつきの検討および高次モードの評価)，日本建築学会学術講演梗概集，B-2，pp.927 - 928，2009.9
9) 平井宏幸，吉江慶祐，佐藤大樹，片桐純治，鶴見俊雄，北村春幸，大熊武司：風洞実験より得られた層風力のサンプル数が高層建築物の時刻歴応答評価に及ぼす影響，日本建築学会技術報告集，pp.489 – 494，2012.6
10) 佐藤大樹，笠井和彦，田村哲朗：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 635 号，pp.21-28，2006.10
11) 丸川比佐夫，大熊武司，北村春幸，吉江慶祐，鶴見俊雄，佐藤大樹：風洞実験に基づく高層建物の多層層風力によるエネルギー入力性状(その 2　矩形高層建築物に作用する層風力特性)，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.193-194，2010.7
12) 日本建築学会：建築物荷重指針･同解説，2015.2

[2016 年 5 月 31 日原稿受理　2016 年 7 月 1 日採用決定]