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)	超高層建物の風洞実験により得られた多層層風力に基づく風応答特性（その2）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
Title	
著者(和文)	平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 早田友彦, 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. 607-608
Citation(English)	, Vol. B-2, , pp. 607-608
発行日 / Pub. date	2011, 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/110009518917

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

Architectural Institute of Japan

日本建築学会大会学術講演梗概集
（関東） 2011年 8 月

超高層建物の風洞実験により得られた多層層風力に基づく風応答特性
（その 2）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

正会員 ○ 平井宏幸[*1]
同 吉江慶祐[*2]
同 佐藤大樹[*1]
同 早田友彦[*2]
同 北村春幸[*1]

風洞実験　モーダル風力　時刻歴応答解析
エネルギー入力　変動係数　アンサンブル平均

1. はじめに

前報（その 1）では，風洞実験により測定された風力のばらつきを調べた．引き続き，本報その 2 では，前報（その 1）で算出されたモーダル風力を直接用いて，時刻歴弾性応答解析を行い，応答値のばらつきを調べる．

2. 解析モデルと検討用風力

検討対象建物および想定振動モード形は，前報（その 1）と同様とする．解析には 1 次モードのみの風応答に注目し，水平 1 自由度の 1 質点系モデルとする（図 1）．本研究での解析パラメーターは，辺長比 D/B，振動モード形 β，減衰定数 ζ とする（表 1）．風外力は，風洞実験結果から前報（その 1）で作成したモーダル風力時刻歴波形を直接用いる．図中のモーダル質量 $\tilde{M}$，モーダル剛性 $\tilde{K}$ も振動モード形 β = 1, 0 のモーダル風力に対応するように設定した．検討用風力波形のサンプリング間隔は 0.05 sec とし，風洞実験結果から応答の評価時間部分が重ならないように 650 sec×70case を取り出した．本報では，解析開始時の過渡応答の影響を避けるため，各風力波形の先頭 50 sec にエンベロープを設けた後，固有周期 T_1 = 5.0 sec の 120 倍の 600 sec（10 分間）で応答を評価する．

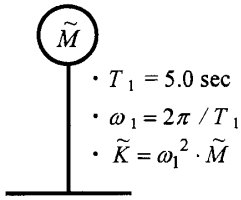


図 1 解析モデル

表 1 解析パラメーター

地表面粗度区分	Ⅲ
D / B	1.0, 1.5, 2.0, 3.0
β	0, 1
ζ	0.01, 0.10

表 2 アンサンブル数と case

アンサンブル数 (n)	1	5	10	20	30	40	50	60	70
case (m)	70	14	7	4	3	2	2	1	1

3. 応答及びエネルギー入力の変動係数

風洞実験結果から抽出した風力時刻歴波形を直接用いて応答の標準偏差およびエネルギー入力（全 70case）を算出し，前報（その 1）と同様に応答のばらつきを変動係数を用いて評価する．ここで，変動係数 $Cv(\sigma_R)$は (1) 式より算出される． なお，風力方向（風方向，風直交方向風力）および振動モード形状の違いによる応答のばらつきに変化は見られなかったので，以降，風方向風力入力時，振動モード形 β = 1 の応答のばらつきに注目していく．

$$Cv(\sigma_R) = rms(\sigma_R) / \mu(\sigma_R) \qquad (1)$$

ここで，$rms(\sigma_R)$：応答の標準偏差およびエネルギー入力（70case）の標準偏差，$\mu(\sigma_R)$:応答の標準偏差およびエネルギー入力（70case）の平均値を表す．

図 2 に風方向風力入力時，振動モード形 β = 1，辺長比 D/B = 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 時の減衰定数（ζ = 0.01, 0.10）毎に応答速度（標準偏差）およびエネルギー入力の変動係数を比較したものを示す．図中のモーダル風力の変動係数は前報（その 1）の結果である．なお，本研究でのエネルギー入力 E_{inp} は(2) 式より算出する．

$$E_{inp} = \int_0^{t_0} {}_1\dot{q}(t) \cdot {}_1\phi \cdot {}_1F(t)\,dt \qquad (2)$$

ここで，${}_1\dot{q}$：1 次のモーダル応答速度，${}_1\phi$：1 次の振動モード形，${}_1F$：1 次のモーダル風力を表す．

図 2 より，減衰定数が同条件下では，辺長比の違いによる変動係数の変化は殆ど見られないことが確認できる．図 2 (a)より応答速度に関して，ζ = 10.0% の変動係数は 10 % 程度と，ζ =1.0% に比べ半分程度ばらつきが小さくなり，モーダル風力の変動係数に近づくことが分かる．エネルギー入力の変動係数は応答速度と比較して，2.0 ~ 2.5 倍程度大きくなっていることが確認できる．エネルギー入力は応答速度の標準偏差の 2 乗に比例する [1] ので，この関係からエネルギー入力の変動係数が応答速度の変動係数より大きくなったと考えられる．

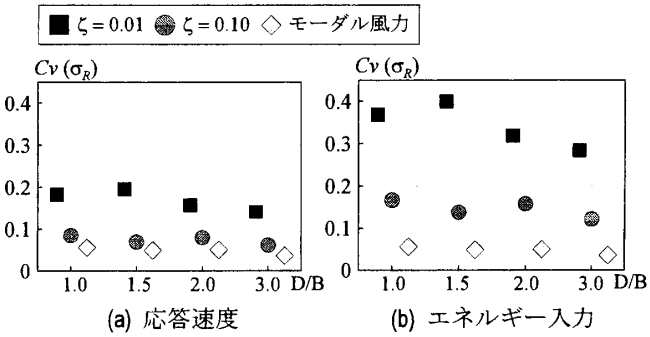


図 2 応答速度（標準偏差）およびエネルギー入力の変動係数

4. アンサンブル数の違いによる応答のばらつき

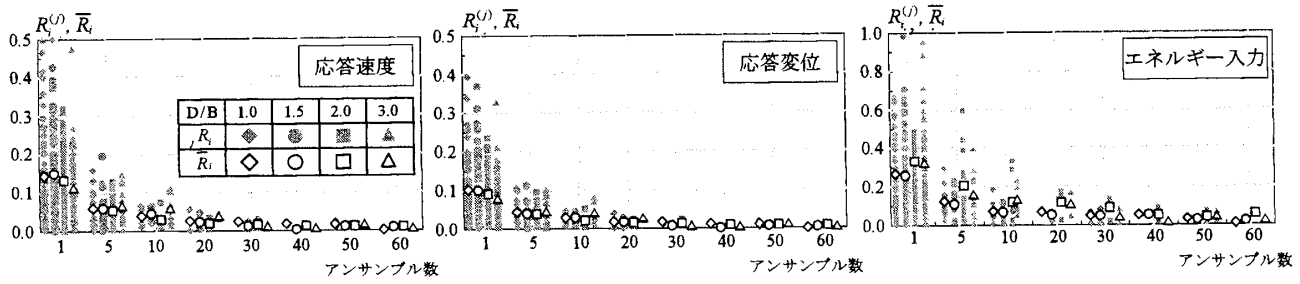
アンサンブル平均に用いる風力時刻歴波形数の違いによる応答値のばらつきを評価する（表 2）．図 3 に風方向風力入力時，振動モード形 β = 1，減衰定数別のアンサンブル数 n の違いによる応答速度，変位の標準偏差およびエネルギー入力のばらつきを示す．X 軸はアンサンブル数 n，Y 軸は基準となる応答値（n = 70 でのアンサンブル平均値）

Characteristics of Wind Induced Response of High Rise Buildings based on Multi Layer Wind Forces obtained from Wind Tunnel Test
Part2. Dispersing Ensemble Average of Response obtained from Time-history Analysis Subjected to Fluctuating Wind Force

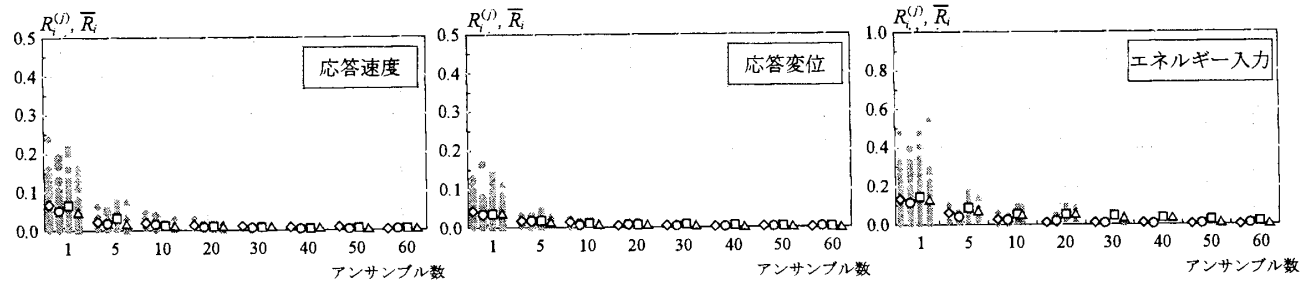
HIRAI Hiroyuki, YOSHIE Keisuke, SATO Daiki, HAYATA Tomohiko, KITAMURA Haruyuki

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

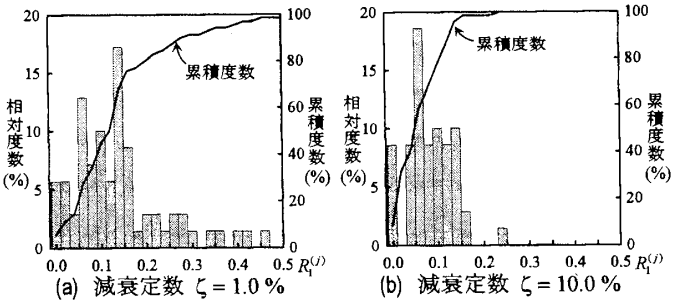


(a) 減衰定数ζ = 1.0 %



(b) 減衰定数ζ = 10.0 %

図 3 アンサンプル数の違いによるばらつきの変化（風方向風力入力時，振動モード形 β=1）



(a) 減衰定数 ζ = 1.0 %　(b) 減衰定数 ζ = 10.0 %

図 4 応答速度 $R_1^{(j)}$ の頻度分布（風方向, D/B = 1.0, β=1）

とのばらつき（(3) 式）を示す．エネルギー入力のばらつきの Y 軸は，他の応答値の 2 倍となっている．図中の白いプロット $\overline{R}_i$ は，(4) 式により求められ，各アンサンプル数でのばらつきの平均値を示す．

$$R_i^{(j)} = \frac{\left|\overline{x}_i^{(j)} - \overline{x}_{70}^{(1)}\right|}{\overline{x}_{70}^{(1)}},\ \overline{R}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_i^{(j)}}{m}\ (i=1\sim n) \qquad (3),(4)$$

ここで，$\overline{x}_i^{(j)}$: i 波でのアンサンプル平均値（ j 番目の case）である．なお，n と m の組み合わせについては表 2 参照のこと．

図 3 より辺長比の違いはアンサンプル平均値のばらつきに与える影響は小さいことが分かる．図 3(a)より，ζ = 1.0 %の応答速度に関して，n = 1 だけでは，最大で $R_1^{(j)}$ = 50 %，平均で $\overline{R}_1$ = 10 ~ 15 % 程度のばらつきを含む可能性があることが分かる．しかし，n = 5 では最大で $R_5^{(j)}$ = 25 %，平均で $\overline{R}_5$ = 5 ~ 10 % 程度となり，n = 1 の半分程度のばらつきに収束している．エネルギー入力の場合，n = 1 だけでは最大で $R_1^{(j)}$ = 70 ~ 98 %，平均で $\overline{R}_1$ = 30 % 程度のばらつきを有するが，n = 5 では最大で $R_5^{(j)}$ = 60 %, 平均で $\overline{R}_5$ = 15 ~ 20 % 程度となり，応答速度と同様，n = 1 の半分程度のばらつきに収束していることが分かる．応答速度，変位はアンサンプル数 n = 20 以上，エネルギー入力は n = 30 以上で，基準となる n = 70 でのアンサンプル平均値とほぼ 5 % 程度以内に収まることが分かる．図 3 (a), (b)より，減衰定数 ζ = 10.0%の応答速度，変位およびエネルギー入力の最大，平均でのばらつきは，アンサンプル平均に用いる風力波形数が同じ場合，ζ = 1.0% に比べて，半分程度に収束することが分かる．以上の傾向は，風直交方向風力入力時でも確認することができた．図 4 に風方向風力入力時，辺長比 D/B = 1.0，振動モード形 β =1 の応答速度 $R_1^{(j)}$ の頻度分布を減衰定数ζ = 1.0, 10.0% 毎に示す．ζ = 1.0%では全 70case の応答値の 80 % が $R_1^{(j)}$ < 20% となり（図 4 (a)），ζ = 10.0%では全 70case の応答値の 80 % が $R_1^{(j)}$ < 10%となっていることが分かる（図 4 (b)）．これより，図 4 からも減衰定数の大きい方が応答のばらつきは小さくなることが確認できる．

5. まとめ

風洞実験により測定された風力データを直接用いて時刻歴応答解析を行い，以下の結論を得た．

- 減衰定数 ζ = 10.0% の応答速度の変動係数は，ζ =1.0% に比べ半分程度小さくなり，風力の変動係数に近づくことが分かった．また，エネルギー入力の変動係数は応答速度と比較して，2.0 ~ 2.5 倍程度大きくなっていることを確認した．
- アンサンプル数の違いによる応答およびエネルギー入力のばらつきの度合いを辺長比・振動モード形状・減衰定数別に調べた．

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，東京理科大学北村研究室による新耐風設計法研究会の成果の一部です．特に，本研究を進めるにあたり，大熊武司教授，（株）泉創建エンジニアリングの丸川比佐夫博士，片桐淳治博士，鶴見俊雄氏からご指導を賜りました．ここに記して，感謝の意を表します．

参考文献

1) 吉江慶祐他：エネルギーの釣合に基づく平均成分を有する広帯域性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 608 号, pp.21-28, 2006. 10

*1 東京理科大学
*2 株式会社　日建設計

*1 Tokyo University of Science.
*2 Nikken Sekkei Ltd.

NII-Electronic Library Service