T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	台風通過時に高層免震建築物に作用する風外乱の作成とその応答に関 する研究
Title	STUDY ON SIMULATION OF WIND EXCITATION ACTING ON A HIGH-RISE BUILDING WITH BASE-ISOLATION AND ITS RESPONSE UNDER TYPHOON PASSING
著者(和文)	
Authors	Makoto kanda, Tadamichi Yamashita, daiki sato
出典 / Citation	│ │構造工学論文集, Vol. 59B, ,pp. 427-433
Citation(English)	Journal of structural engineering, Vol. 59B, , pp. 427-433
発行日 / Pub. date	2013, 3
rights	
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/110009706612

構造工学論文集 Vol. 59B(2013年3月)

日本建築学会

台風通過時に高層免震建築物に作用する風外乱の作成と その応答に関する研究

STUDY ON SIMULATION OF WIND EXCITATION ACTING ON A HIGH-RISE BUILDING WITH BASE-ISOLATION AND ITS RESPONSE UNDER TYPHOON PASSING

扇 谷 匠 己*, 神 田 亮**, 山 下 忠 道***, 梁 川 幸 盛****, 佐 藤 大 樹*****. 原田浩之*****, 中村遼太郎******

Narumi OUGIYA, Makoto KANDA, Tadamichi YAMASHITA, Yukimori YANAGAWA, Daiki SATO, Hiroyuki HARADA and Ryotaro NAKAMURA

This paper describes simulation of wind excitation acting on a super-high-rise building with base-isolation based on wind tunnel test. And, the response of this building is simulated. The shift of wind direction is simulated for rotating the turn-table, and the variation of wind velocity is converted from the time scale in the considering. The response under simulated wind excitation is compared with the response under maximum wind speed of level 2 for 10 minutes. It is found out that the both maximum response of horizontal components don't have difference, but the torsional components have difference.

> Keywords : Shift of wind direction, Variation of wind velocity, Wind tunnel test, Typhoon, Super-high-rise building with isolation based 風向変化,風速変化,風洞実験,台風,超高層免震建築物

1. はじめに

近年、免震建築物の超高層化が進んできている。超高層免震建築 物において十分な免震効果を得ようとすれば、上部構造に対して免 震層の設計用せん断力(降伏せん断力係数)を低く設定する必要が ある。しかしながら、免震層の設計用せん断力を低く設定すれば、 極めて稀に発生するレベルの風荷重に対して降伏してしまう可能性 がある。そのため、風荷重による降伏が想定される場合には、免震 建築物に作用する風力波形を作成し、その応答をシミュレーション する必要があるが,一般的には10分間の1方向風力波形を用いて 検討しているのが現状である。しかしながら、免震部材は風の平均 成分によるクリープ現象や長時間の繰り返しなど、風荷重特有の部 材の非線形性^{1),2)}が見られるため、10分間の風力波形では十分に評 価することができない。また、1 方向の入力では、免震部材の力学 的な2軸連成の影響を十分に検証することができない。そこで、こ のような現象を検証するためには、継続時間の長い、風速変化を考 慮した波形かつ暴風時における風向変化を考慮した二方向入力下で

** 日 *** 3

の検討が必要となってくる。

風速変化や風向変化を考慮した風力波形作成に関する既往の研究 としては、これまで松井ら³により、実観測記録をベースに台風モ デルに基づくスケーリングを適用した台風時の風速を合成する方法 が提案されている。しかしながら、この研究では風速変化は再現し ているものの、風向変化については考慮していない。また、鈴木ら ⁴は,静止実験により風向毎に測定した風圧データをつなぎ合わせる ことで,風向変化を伴う時刻歴波形を作成する方法を提案している。 しかし、つなぎ合わせることを前提とした波形は滑らかな連続性を 有しているとは言い難い。

以上のことを踏まえて、本論文の目的は、 台風通過時に高層免震 建築物に作用する風力波形を作成すること、および、対象建築物の 風応答をシミュレーションすることである。作成される風力波形は、 風向変化を考慮しつつ,滑らかな連続性を有するものである。また, シミュレーションの結果より、台風通過時の風力波形による応答と 通常設計時に評価する継続時間 10 分間の波形による応答の違いな

*	(株) 長谷工コーポレーション 技術研究所 研究員・修士 (工学)	Haseko Corporation, Technical Research Institute, M. Eng.
*	日本大学生産工学部建築工学科 教授・博士 (工学)	Prof., Dept. of Architectural Eng., Collage of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.
* *	ダイナミックコントロールデザインオフィス(代表・博士 (工学)	Dynamic Control Design Office, Dr. Eng.
* *	(株) 構造計画研究所(防災ソリューション部)室長・修士 (工学)	Kozo Keikaku Engineering Inc. Disaster Prevention Solution Dept., M. Eng.
* *	東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士 (工学)	Department of Architecture, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
* *	三井住友建設 (株) 技術開発センター 主任研究員・博士 (工学)	Technology Development Center, Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd., Dr. Eng.
* *	日本大学大学院生産工学研究科 元大学院生・修士 (工学)	Graduate School of Industrial Technology, Nihon Univ., M. Eng.

どについて検討する。

なお、台風経路や建築物の立地点がどこであるかによって、風力 波形にはその特徴が表れる。そのため本論文では、実観測記録に基 づいて、風向・風速変化の時刻歴を作成することで、それらの特徴 をとらえた風力波形が作成できる一例も示す。

2. 時刻歴風力波形作成の概要

時刻歴風力波形の作成手順を図1のフローチャートに示す。本手 法は、風洞実験により得られた風力係数を基に風力波形を作成する。 通常の風圧実験では、実験中に実験風速や風向が変化するような実 験は特殊な場合を除いては行えない。しかし、風速変化や風向変化 を考慮する場合、それに対応したシミュレーションが必要である。 本手法では、境界層風洞にて実験を行うため、一定風向及び一定風 速下で実験を行わなくてはならない。そこで、風向変化については、 風圧実験時に一定の速度で風圧模型を回転させることで相対的に風 向変化を再現する。風圧模型は、設置しているターンテーブルと同 時に回転させる。一方、風速変化は得られた風力係数から風力波形 を作成する際に、風速変化に伴う風速スケールの変化を時間スケー ルで調整してデータを加工することで評価⁹するものとした。

2.1 風向・風速データのモデル化

継続時間の長い強風や風向変化風速変化を伴う強風イベントとし て、日本では台風が考えられる。台風の場合、風速は台風の接近と ともに上昇し、通過後減少する。風向は台風の経路と建築物の立地 点の関係から幾重にも変化する。本論文では、第1章で述べたよう な理由から、再現する風向・風速変化の時刻歴モデルを台風の気象 記録を参考に設定する。用いる記録に関する台風や気象観測所は、 以下に示す①、②のような条件に基づいて選定することとした。ま た、風向・風速変化の時刻歴モデルは気象データを参考に③、④に 示すようにモデル化した。

- 気象庁の定める台風クラスの中で「強い台風」以上の台風(ク ラス 5)
- ② 選定する観測所は、台風の通過経路により風向変化が異なるため、過去にクラス5以上の台風が中央、左側、右側を通過した記録を持つもの。
- ③ 風速の時刻歴モデルは、実観測記録(図3中の△)の内、対象 とする時間内の最大風速が再現期間500年相当(極めて稀に発 生する暴風)となるように基準化(図3中の□)した後、線形 にモデル化する(図3中の実線)。
- ④ 風向の時刻歴モデルは、実観測記録の風向変化(図3中の○) を線形にモデル化(図3中の点線)する。この際、③でモデル 化した風速の経時変化モデルにおいて、風速変化をしている時 間には風向は変化しないようにモデル化した。(風洞実験装置の ターンテーブルが等速にしか回転しないため)

上記に示した条件にあてはまる観測所として福岡県の朝倉観測所 を選定し、観測所の中央、右側、左側を通過する台風として台風 9612 号、台風 9918 号、台風 0418 号を選定した。図2に選定した観測所 の位置と選定した台風の経路を示す。風力波形を作成するにあたり、 継続時間については、観測地点に台風が最接近した時点の前後4時 間半 4とした。選定した台風の気象記録とモデル化した風速と風向 の時刻歴モデルを図3に示す。図より、a)、c)については台風の接



近とともに風速が増加し,通過した後は風速が下がる傾向となって いるが,b)については台風の中心が観測所の上空付近を通過してい るため台風の通過中に一旦風速が下がる時間帯がみられる。これは, 台風の目が通過したためであると考えられる。このように,一般的 な台風モデルとしてはa),c)に示すような風向風速変化のモデルが 考えられるが,疲労損傷などを検討する場合,b)のように風速が一 旦小さくなった後に改めて風速が上がるようなモデルに対する検討 も必要になる可能性もある。そのため,本論文では特性の異なる 3 つの台風の気象記録を参考にした風力波形の作成を試みる。

2.2 風洞実験概要

風洞実験は、日本大学生産工学部所有のエッフェル型境界層風洞 にて行った。実験気流は地表面粗度区分 II 相当の境界層乱流を縮尺 1/300 で再現した。風圧模型は、100×100×500 [mm] の正四角柱で、 図 4 に示すよう風圧測定孔を1面に 50 点、全 4 面で 200 点設けた。 実験風速は 10m/s、サンプリング周波数は 400Hz として計測を行っ た。参考にする各台風の緒元を表1に示す。風向変化はターンテー ブルに模型を固定し、一定のスピードで回転させることで再現して いる。回転させるスピードは、2.1 節にて、風向が変化する間は風 速の変化が一定となるようモデル化したため、式(1) によって回転に 要する実験上での時間を実時間から定めた。

$$T' = \frac{V}{V'} \times \frac{L'}{L} \times T \tag{1}$$

Т	実時間 [s]	,	T'	: 実験時間 [s]
L	実建築物の高さ [m]	,	L'	: 模型高さ [m]
V	平均風速 [m/s]	,	V'	: 実験風速 [m/s]

表1 各台風の実験	諸	$\overline{\pi}$
-----------	---	------------------

\sim	会」、湖山市主自自 [_]	サンプリング数 最大風速の		
	訂(則時间) [S]	サンノリンク毅	継続時間 [分]	
台風 9612 号	185. 2	74080	50	
台風 9918 号	242. 9	97160	60	
台風 0418 号	209. 2	83680	40	

2.3 層風力係数の算定

風洞実験により得られた風圧データを用いて式(2)よりX軸,Y軸 方向の層風力係数,式(3)より捩れ方向の層風力係数を算定する。軸 方向の層風力係数は、向い合う面の差圧を測定孔毎に求め、負担面 積をかけて算定した層風力を基準速度圧から得られる風力で除して 算定する。また、捩れ方向については、差圧から得られる風力に重 心位置からの距離を乗じて足し合わせ、各層の捩れモーメントを求 めたものを基準速度圧に層の面積、代表幅を乗じて求めたモーメン トで除して算定する。ここで、層風力係数は、風向が変化するため 図5のように構造軸、捩れ方向に対して評価する。

$$C_{f_{x(y)} j} = \frac{\sum_{k=1}^{5} \left\{ \left(P_{k} - P_{k}' \right) A_{k} \right\}}{\overline{q}_{H} \sum_{k=1}^{5} A_{k}}$$
(2)

$$C_{fin j} = \frac{\sum_{k=1}^{20} \left\{ \left(P_k - P'_k \right) A_k \cdot l \right\}}{\overline{q}_H \sum_{k=1}^{5} A_k \cdot B}$$
(3)

C_f	: 層風力係数	,	$P\left(P'\right)$: 速度圧 (向い合う面) [Pa]
m	: 捩れ方向	,	x (y)	:X 軸方向(Y 軸方向)
1	: 重心位置からの距離 [m]	,	A	: 負担面積 [m ²]
B	:代表幅 [m]	,	j	:層数(1~10 層)
qн	:基準速度圧 [Pa]	,	k	: 層毎の各測定孔数 (5 点)



2.4 風速変化に伴う時間スケールの換算

風外乱のシミュレーションでは、時刻とともに平均風速が変化す るので、一定風速で測定された風洞実験のデータをそのまま適用す ることはできない。シミュレーションデータの風速変化は式(1)に基 づいて時間スケールを変化させ評価する。すなわち、平均風速 Vが 変化し、風速スケール(V'/V)が変化すると、時間スケール(T/T') も変化する。実験では計測するサンプリング周波数は 400Hz と一定 であるが、実時間での時間刻みを変化させることで時間スケールを 調整して、風速変化に対応している。そのため、実験ではすべて一 定の時間刻みであるが、実スケールに変換すると風速変化に応じて 実時間刻みは変化する。

3. 時刻歴風力波形の作成

得られた風力係数と平均風速から式(4),式(5)を用いて時刻歴風 力波形を作成する。平均風速の変化に伴う時間スケールの変化によ り、時刻歴風力波形の時間刻みは一定とならないが,波形作成後に 線形補間により一定になるように調節している。作成した時刻歴風 力波形を図 6,7,8に示す。図は地表面高さ約100m(29 質点目) 位置における,X軸方向,Y軸方向の風力波形,捩れ方向のモーメ ント波形を示している。

$$F_{X(Y)}(t) = \frac{1}{2} \rho V_H^2(t) \cdot C_{f_X(y)}(t) \cdot A$$
(4)

$$F_M(t) = \frac{1}{2} \rho V_H^2(t) \cdot C_{fm}(t) \cdot A \cdot B$$
(5)

$F_{X(Y)}$:X軸方向風力(Y軸)[N]	,	<i>V_H</i> : 平均風速 [m/s]	
F _M	: 捩りモーメント [N・m]	,	t : 時刻 [sec]	
A	: 層の負担面積 [m²]	,	B :代表幅 [m]	
C_f	: 層風力係数	,	ρ :空気密度 [kg/m ³]	
				-

各図に示す波形は、図3に示す平均風速の変化に伴って風力が増 減し、風向変化することにより風力が正負に大きく変化しているの が確認できる。また、図7に示す台風9918号のように、観測所を台 風の目が通過するようなモデルでは、風速が台風の接近により上昇 し、最接近時には下降して通過後にまた上昇するといった現象が風 力波形にも表れている。さらに、最大風速時に風向変化が起こる場 合には、風向変化中に建築物が風向に対して正対(風向0°,90°な ど)する前後において、風力が正負に振れる現象が見られる。この 現象は特に、台風0418号のX軸方向風力波形における87分付近の 風向が180°になる前後に顕著に表れている。また風向変化が起こ っている時間帯に捩れ方向の波形が大きく正負に変化しているのが 確認できる。このように、本手法では選定した台風毎に設定した風 速変化や風向変化が作成した波形に表れているため、風向・風速変 化を考慮した風力波形の作成が可能であることを示した。

4. 風応答シミュレーション

上述の方法で作成した時刻歴風力波形を用いて,風応答解析を行 った結果について示す。



120

120 1 時間 [分]

図8 台風 0418 号モデル波形

90

90

 \otimes

150

210

210

240

ねじれ方向

240

Y軸方向

270

∞

180

180

X軸方向

-800

4000

・ 2000 (* ・ ドネ) -2000 -2000

■) ~ 也

30

30

4.1 対象建築物の概要

本解析で対象とする建築物は、図9に示すような建築物高さ150m, 42 階建物(階高は 1-2 階を 5.0m, 3-42 階を 3.5m)を想定したアス ペクト比5の RC 造純ラーメン架構の超高層免震建築物とし、構造 諸元を表2に示す。解析モデルは立体フレームモデルとして、柱は ファイバー要素、梁はビーム要素、梁部材の復元力特性は剛性逓減 型 Tri-Linear モデル (武田モデル: γ= 0.4) とした。また, 地震外 力 (EL CENTRO NS, TAFT EW, HACHINEHE NS, HACHINOHE EW, JMA KOBE NS の5波)に対して、柱・梁の主要構造部材が許容応力 度内に収まるように建物モデルを構築した。免震層は、図10に示す ように鉛プラグ挿入型積層ゴム(以下, LRB), 天然ゴム系積層ゴム (以下, NRB),弾性すべり支承(以下, S-RB)を配置した。各部 材の復元力特性は、LRB を修正バイリニア、S-RB をノーマルバイ リニア,NRBを線形バネとして扱い,水平2方向の外乱入力の影響 を考慮するために MSS モデルとした。そして、対象建築物の免震層 は、降伏せん断力係数が 0.02 となるように免震部材を配置した。尚、 上部構造の粘性減衰モデル ⁶については、風外力を対象としている ため免震層固定時の1次モードに対して1%とする初期剛性比例型 とし、免震層の減衰定数は地震応答解析時に用いられる粘性減衰モ デルと同様に0%とした。また、風外力は各層の中心(剛心)位置に 作用するように X 方向, Y 方向の並進 2 方向と捩れモーメントの 3 方向入力として風応答シミュレーションを行う。しかし、本研究で は、台風通過時の風向変化と風速変化を考慮した風力波形と一般的 な方法によって作成された風力波形による超高層免震建物の風応答 特性について検証することを主目的としているため、免震部材の材 料特性(クリープ現象の影響など)を考慮した風応答特性について は、今後の課題として順次検討を進めていく予定である。

4.2 風応答特性

本節では、観測地点の左側、中央、右側を通過した台風の風向・ 風速変化を参考に作成した3つの風力波形による風応答解析結果を 示すとともに、比較対象として、一般的な方法によって作成された 継続時間の短い風力波形による風応答解析の結果も併せて示す。こ の継続時間の短い風力波形は、静止風圧実験結果を極めて稀に発生 する風に相当する再現期間500年相当に基準化した波形(以下、レ ベル2相当波形:図11)とする。尚、この波形は静止風圧実験の結 果を用いており風向は変化させておらず、常に風向0°として実験 を行っている。そのため、X軸方向は風直交方向、Y軸方向は風方 向となっている。また、この波形は継続時間20分の波形を作成し、 そのうちの初めの10分間を余弦(正弦)波に基づく重み関数により 0から始まるように加工し、最大応答値の評価は後ろの10分間を対 象としている。

前章で作成した3つの台風モデル(風力波形)による最大応答変 位,最大応答加速度を図12,13に、レベル2相当波形による最大応 答変位を図14に示す。尚,これらの図は、各層の重心位置での最大 値となっており、左側にX軸方向、右側にY軸方向の最大応答値を 示している。また、表3には、免震層の最大応答変位とその発生時 刻について示している。

これらの図より,図 12,13 では最大応答変位と最大応答加速度の どちらにおいても台風 0418 号波形を用いた場合の応答が最大とな っている。この現象は,最大風速時の風向が関係しており台風 0418



Ó

X3 【한문】

S-RB

図10 免震層の部材配置図 [単位:mm]

10 12

10

図 11 レベル 2 相当波形例

6000

X2

6000

X1

C : NRB 1400

: S-RB 1400

() : LRB 1300

X釉方向

2

(動方能

捩れ方向

400

200

-200

- 400

400

2000

1000

a -1000

-2000

Ξ o

[12] 200

Ð

0

6000

NRB … 天然ゴム系積層ゴム

… 弾性すべり支承

LRB … 鉛プラグ入り積層ゴム

数値は装置のサイズを示す。(mm)

14 16

6000



16

18 20

æ ²⁵

n

━ 重心

北近 25 編

→-隅角部1

加速度 [cm/s²]





NH

n

→重心

-近 25 編

n

図14 レベル2相当波形の最大応答変位

n

━-隅角部1

加速度 [cm/s²]

Y軸方向

-----隅角部2

Y軸方向

蜜位 [can]

X軸方向

X軸方向

変位 [cm]

図13 台風3経路の最大応答加速度







台風199918号 ━━ 台風199612号 ━━ 台風200418号 ━━ 台風199918号 ━━ 台風199612号

表3 免震層の最大変位と発生時刻

	X軸方向			Y軸方向		
	最大変位 (cm)	時間 (分)	風向	最大変位 (cm)	時間 (分)	風向
台風 9612 号	12.5	111.8	315°	10. 3	114. 5	315°
台風 9918 号	19.8	64.2	67.5°	7.6	64.0	67. 5°
台風 0418 号	20. 7	60.8	92. 7°	24. 7	88.9	187. 5°





図 16 台風 9918 号波形の最大応答変位



図17 台風 0418 号波形の最大応答変位

180°を通過することで、一時的にレベル2相当波形と同じ条件の風向・風速になるためと考えられる。

次に、台風通過時における風向変化と風速変化を考慮した風力波 形による超高層免震建築物の風応答特性について検証する。超高層 免震建築物の風応答特性については、重心位置での最大応答変位に 加え X1-Y1 通り(隅角部 1)と X6-Y6 通り(隅角部 2)の最大応答 変位について示すものとし、図 15、図 16、図 17 に前章で作成した 各台風波形による最大応答変位を示す。また、これらの各図におい ては、重心位置と隅角部1、隅角部2の応答値がほぼ同程度であれ ば、並進応答に対する捩れ応答の影響は小さいものと考えられる(捩 れ応答が小さいという訳ではない)。図 15 に示す台風 9612 号波形の 場合では、重心位置と各隅角部での最大応答がほぼ同程度になって おり、並進応答に対する捩れ応答の影響はあまり見られない。しか しながら,図16,図17に示す台風9918号波形,台風0418号波形 の場合には、重心位置と隅角部の応答に差異が見られ、図16の台風 9918号波形のX軸方向については、とくに顕著な傾向となっており、 並進応答に対する捩れ応答の影響が大きくなっていることが確認で きる。これらの挙動は、図6~8の中で、捩れ成分の風力波形が正負 に大きく変化している台風モデルを用いた場合に、捩れ応答の影響 がとくに大きくなる傾向を示し、高層免震建築物のような高さ方向 の剛性に極端な強弱がある建築物や立体的に不整形な建築物など風 力の捩れ成分の影響を大きく受けるような建築物の場合には、 風 向・風速変化を有する風力波形を用いることが望ましい。

図18にはレベル2相当波形,図19には台風0418号波形入力時の 免震層における荷重-変形関係(X軸方向,Y軸方向)を示す。これら の図より,台風0418号波形では,Y軸方向のみならず,作用する風 向に応じてX軸方向にも風の平均成分の影響が見られるが,レベル 2相当波形による解析では,暴風時の特徴であるこれらの動的挙動 を十分に反映させることができないことがわかる。



5. まとめ

本論文では,風洞実験により風力波形を作成し,その波形を用い た超高層免震建築物の風応答シミュレーションを行った。その結果, 以下のような知見が得られた。

- ・本手法を用いれば、風向変化を考慮しつつ、滑らかな連続性を有 する台風通過時の風力波形を作成できることを示した。
- ・台風の実観測記録に基づいて風向・風速変化の時刻歴モデルを作成することで、台風経路などによって風力波形上に特徴が表れる 一例を示した。今回の作成例に限られるが、風力波形に表れた特徴とは次のようなことである。台風の目が真上を通過するような モデルでは、風速が台風の接近により上昇し、最接近時には下降 して通過後にまた上昇するといった現象が風力波形に表れた。また、観測所の左側を通過するモデルでは、通過時に風力が著しく 変化すし、右側を通過した時には、台風の接近と共に風力が増大し、通過後減少する現象が風力波形に表れた。
- ・継続時間の短い一般的な風力波形と風向・風速変化を考慮した長時間の風力波形では、風向と風速の条件が同じであれば、水平方向の最大応答変位は同程度となることが確認できる。
- ・ 捩れ応答は、各風向変化の台風モデルにより差異がみられた。そのため、捩れ応答の影響が大きい建築物では、風向変化を考慮した風力波形の作成が重要である。
- ・風向変化と風速変化を考慮した風力波形は、平均成分の影響や2
 方向入力下における2軸連成の影響を検討可能であり、超高層免 震建築物や免震部材の安全性を検証する有効な風力波形となる。

今後の展望として,九州,四国,紀伊半島などの台風銀座と呼ば れる地域だけでなく,関東地方や日本海沿岸,さらには東北,北海 道などにある観測所の記録を用いて風力波形を作成し,その特徴を 調べるとともに,高層免震建築物の風応答への影響について調べて いくつもりである。

参考文献

- 1) 竹中康雄,飯塚真巨,鈴木雅靖,吉川和秀、山田和彦:鉛ブラグ型積層 ゴムを考慮した高層免震建築物の風応答簡易評価法、日本建築学会構造 系論文集 第561号, pp. 89-94, 2002.11
- 2) 安井八紀,大熊武司,丸川比佐夫:クリーブ変形を伴う免震建築物の風 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
- 3) 松井正宏,大熊武司,田村幸雄:経験的風況特性を用いた仮想台風による風速時刻歴の生成方法,日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp. 115-116, 2009.8
- 4) 鈴木雅靖,竹中康雄,近藤明洋,飯場正紀,大熊武司,松井正宏:高層 免震建築物の風応答時刻歴解析による検討(その3風向変化を伴う3方 向風力時刻歴波形の作成),日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.613-614,2011.8
- 5) 辻田修,丹羽秀聡,大熊武司,和田章:弾塑性構造物の風応答性状ならびにその予測に関する研究-その3提案予測手法の風速変化に対する適用性,日本建築学会構造系論文集第493号,17-22,1997.3
- 6) 日本建築学会:建築物の減衰 第1版, 2000
- 7) 日本建築学会:建築物荷重指針·同解説 第4版, 2004
- 8) 柴田明徳:最新耐震構造解析 第1版,森北出版株式会社, 1981
- 9) 日本建築学会:免震構造設計指針 第1版, 1989
- 日本建築センター:評定・評価を踏まえた高層建築物の構造設計実務, 2002