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) | 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) | 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 |
| 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 | 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/110009706612 |

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

Architectural Institute of Japan

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.



NII-Electronic Library Service

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[5]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。

① 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。

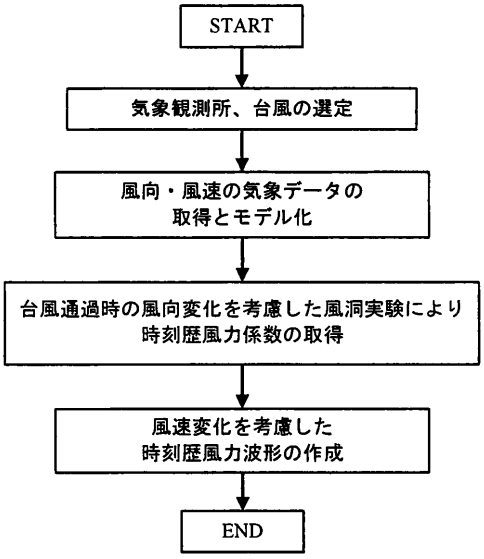



図 1　時刻歴風力波形作成のフローチャート

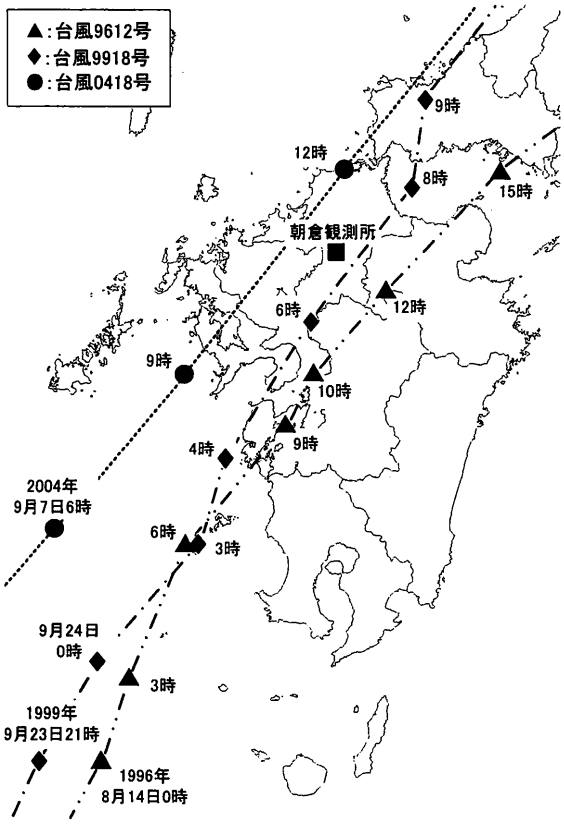



図 2　選定した台風の経路図



NII-Electronic Library Service

### 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。

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

$T$ 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 各台風の実験諸元

| | 計測時間 [s] | サンプリング数 | 最大風速の継続時間 [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 |

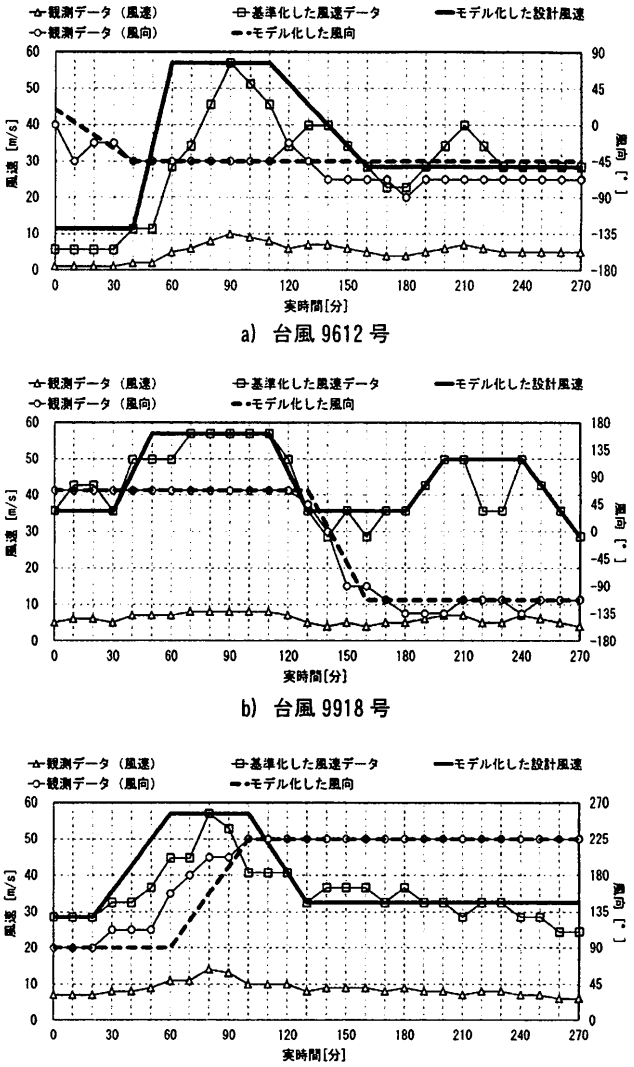
### 2.3 層風力係数の算定

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。

$$C_{fx(y)\,j} = \frac{\sum_{k=1}^{5}\left\{\left(P_k - P_k'\right)A_k\right\}}{\bar{q}_H \sum_{k=1}^{5} A_k} \tag{2}$$

$$C_{fm\,j} = \frac{\sum_{k=1}^{20}\left\{\left(P_k - P_k'\right)A_k \cdot l\right\}}{\bar{q}_H \sum_{k=1}^{5} A_k \cdot B} \tag{3}$$

$C_f$ ：層風力係数，$P(P')$ ：速度圧（向い合う面）[Pa]
$m$ ：捩れ方向，$x(y)$ ：X軸方向（Y軸方向）
$l$ ：重心位置からの距離 [m]，$A$ ：負担面積 [m²]
$B$ ：代表幅 [m]，$j$ ：層数（1～10層）
$\bar{q}_H$ ：基準速度圧 [Pa]，$k$ ：層毎の各測定孔数(5点)




a) 台風9612号

b) 台風9918号

c) 台風0418号

図3 風向風速の経時変化

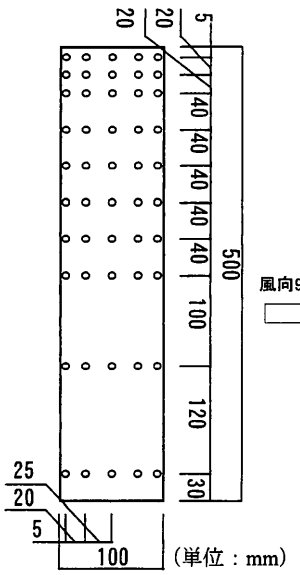



図4 風圧測定孔位置

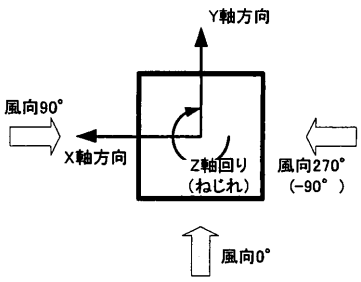



図5 軸の定義と風向角



NII-Electronic Library Service

### 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。

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

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

$F_{X(Y)}$ ：X軸方向風力(Y軸) [N]　，　$V_H$ ：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　，　$\rho$ ：空気密度 [kg/m³]

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。

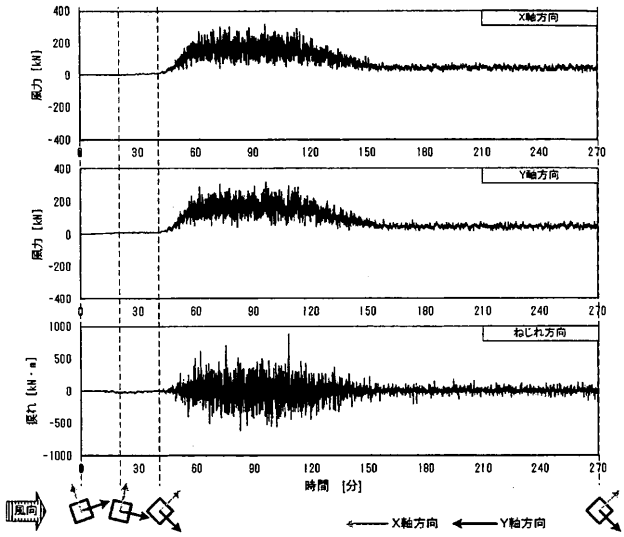



図6　台風9612号モデル波形

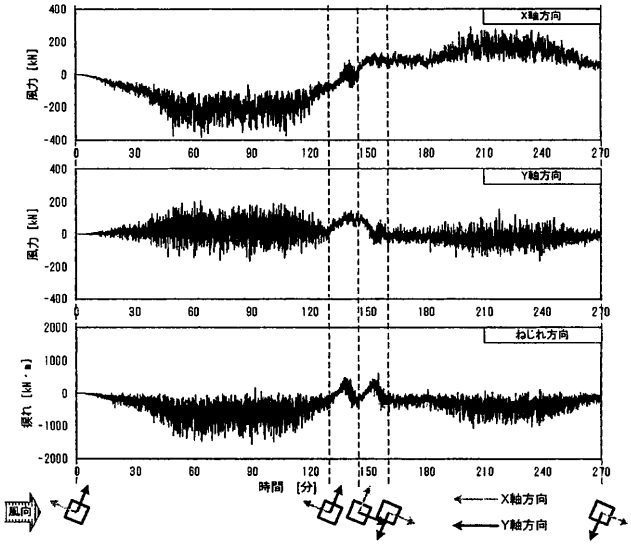



図7　台風9918号モデル波形

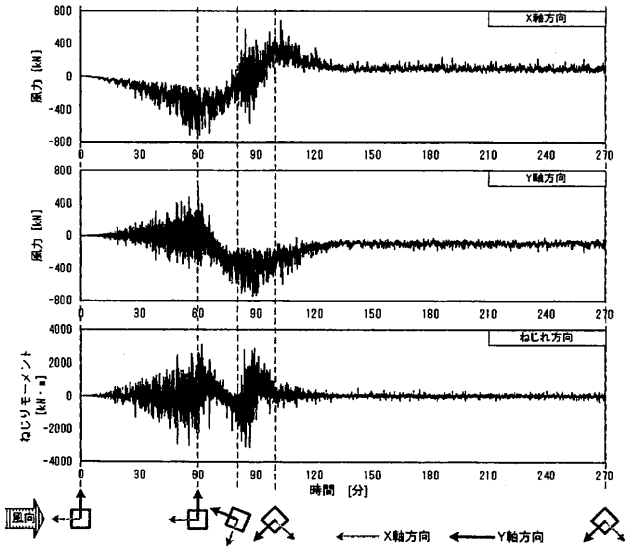



図8　台風0418号モデル波形



NII-Electronic Library Service

### 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: $\gamma = 0.4$）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

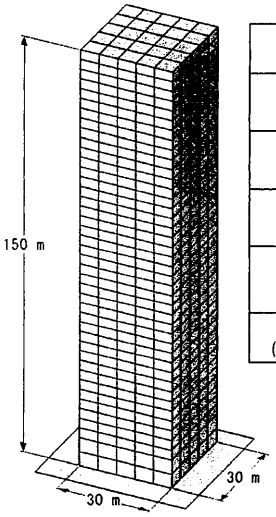



表 2　対象建築物の構造諸元

| | |
|---|---|
| 建築物総重量（免震層の直上部分） | 568506 kN |
| 建築物高さ［模型］ | 150 m［500 mm］ |
| 幅・奥行［模型］ | 30 m［100 mm］ |
| 弾性 1 次固有周期（基礎固定時） | 3.13 s |
| 等価固有周期（積層ゴムのせん断歪 200%時） | 5.42 s |
| 降伏後固有周期（免震層の完全降伏時） | 6.45 s |

柱断面：Dx×Dy＝750×750～1100×1100 mm
梁断面：b×D＝650×750～700×2500 mm
コンクリート強度
柱：Fc＝36～70 N/mm²
梁：Fc＝36～42 N/mm²

図 9　対象建築物の概略図

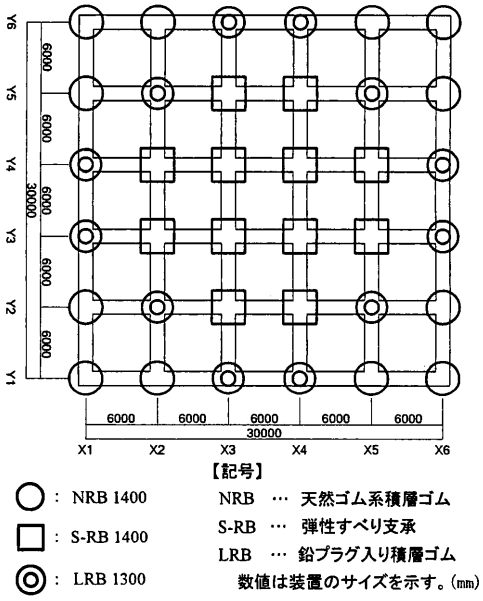



図 10　免震層の部材配置図　［単位：mm］

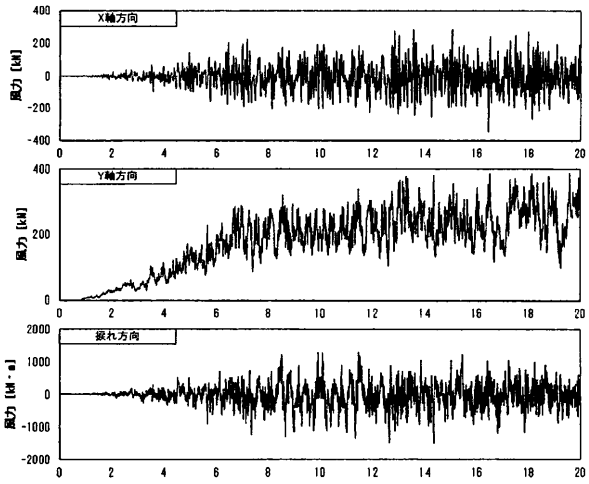



図 11　レベル 2 相当波形例



NII-Electronic Library Service

号のように，最大風速時に風向 180°（建築物に対して正対する風向）を通過することで，大きな風力が作用したためと考えられる。また，図 14 に示すレベル 2 相当波形の Y 軸方向最大変位と台風 0418 号の Y 軸方向最大変位が同程度となっていることは，表 3 に示すように，最大応答変位がほぼ各波形の最大風速となる時刻（図 3）に発生しており，台風 0418 号については，最大風速となる時刻に風向

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° |

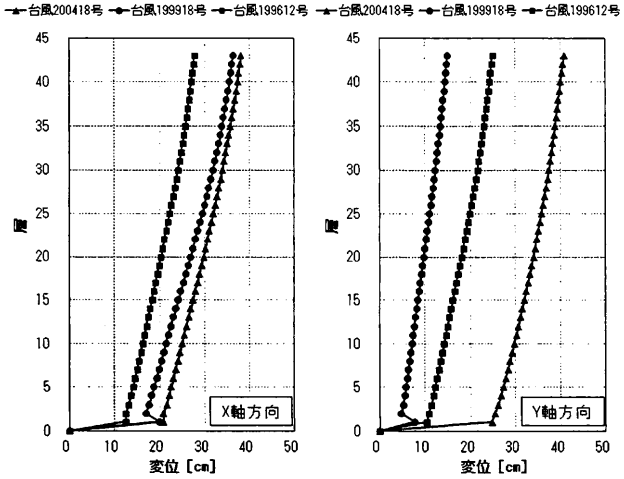



図 12　台風 3 経路の最大応答変位

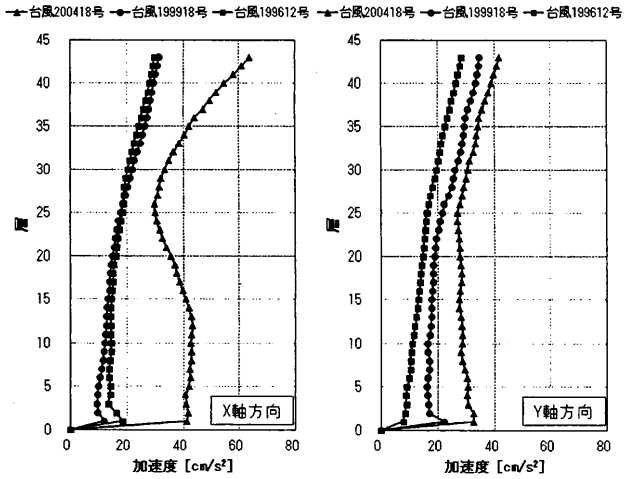



図 13　台風 3 経路の最大応答加速度

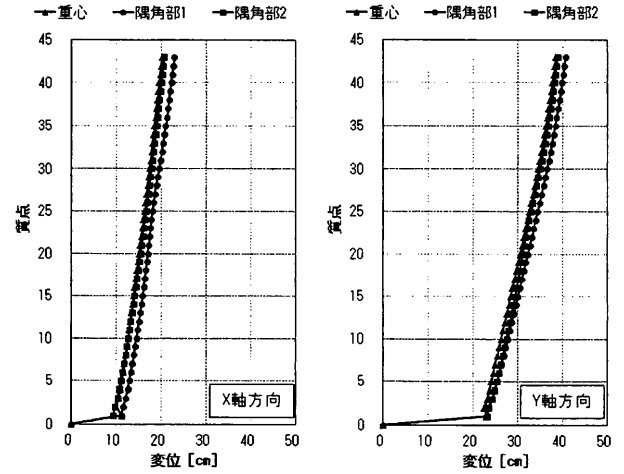



図 14　レベル 2 相当波形の最大応答変位

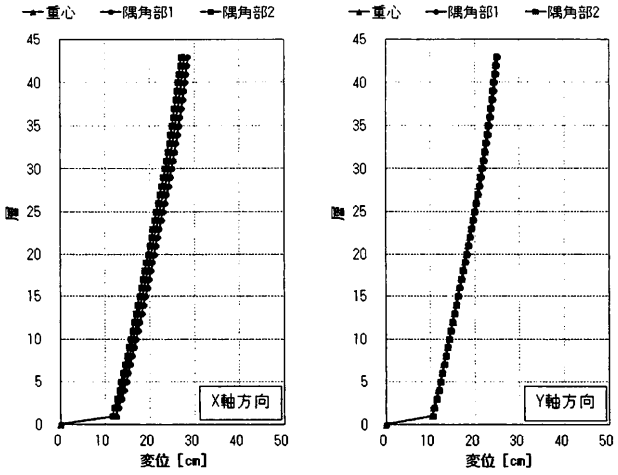



図 15　台風 9612 号波形の最大応答変位

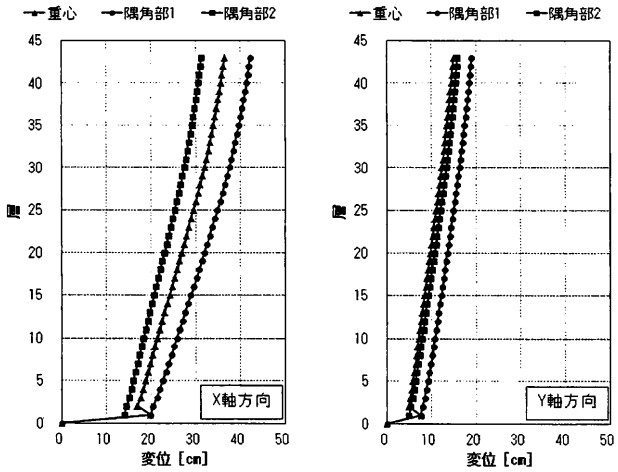



図 16　台風 9918 号波形の最大応答変位

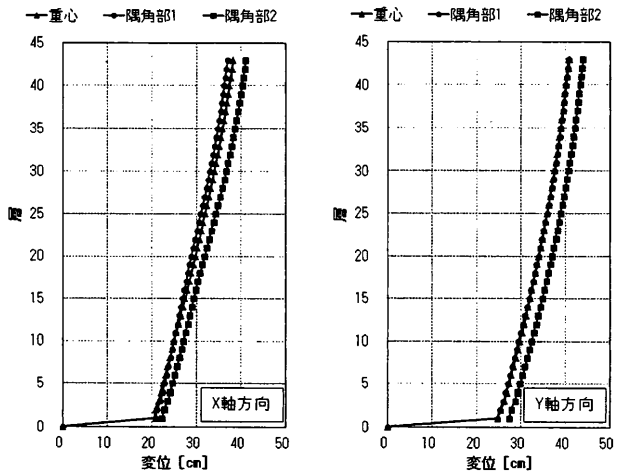



図 17　台風 0418 号波形の最大応答変位



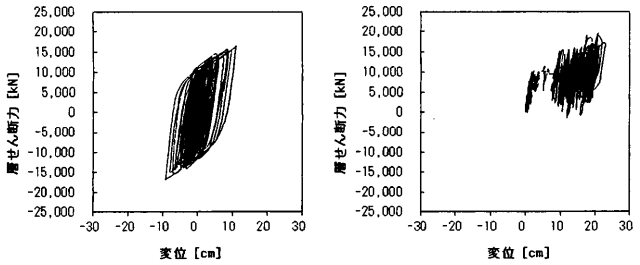
NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

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。

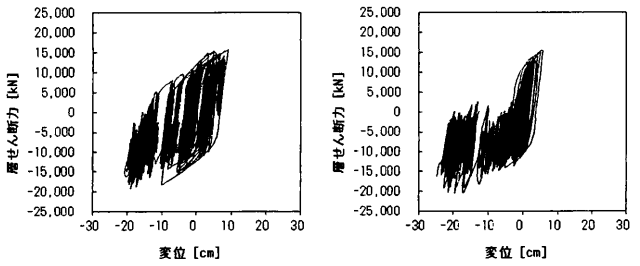
次に，台風通過時における風向変化と風速変化を考慮した風力波形による超高層免震建築物の風応答特性について検証する。超高層免震建築物の風応答特性については，重心位置での最大応答変位に加え X1-Y1 通り（隅角部 1）と X6-Y6 通り（隅角部 2）の最大応答変位について示すものとし，図 15，図 16，図 17 に前章で作成した各台風波形による最大応答変位を示す。また，これらの各図においては，重心位置と隅角部 1，隅角部 2 の応答値がほぼ同程度であれば，並進応答に対する捩れ応答の影響は小さいものと考えられる（捩れ応答が小さいという訳ではない）。図 15 に示す台風 9612 号波形の場合では，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。




(X 軸方向)　(Y 軸方向)

**図 18　レベル 2 相当波形による免震層の荷重-変形関係**




(X 軸方向)　(Y 軸方向)

**図 19　台風 0418 号波形による免震層の荷重-変形関係**

## 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：鉛プ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：クリープ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
10) 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



NII-Electronic Library Service